

0

TRAITÉ

SUR

LA POUDRE

LES CORPS EXPLOSIFS

ET

LA PYROTECHNIE

PAR LES DOCTEURS

J. UPMANN & E. VON MEYER

OUVRAGE TRADUIT DE L'ALLEMAND

REVU ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉ

PAR

E. DÉSORTIAUX

INGÉNIEUR DES POUDRES ET SALPÊTRES
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

AVEC 8 PLANCHES ET 123 GRAVURES

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1878

Chem 7508.78



DEGRAND FUND B

PRÉFACE.

En 1874 paraissait à Brunswick un traité sur les explosifs, formé par la réunion d'un certain nombre de livraisons de la *Technologie chimique* de Bolley et comprenant deux parties distinctes : la *Poudre*, par le docteur J. Upmann; les *Corps explosifs et la Pyrotechnie*, par le docteur E. v. Meyer (*).

L'édition française de cet ouvrage, que nous publions aujourd'hui, a été complètement remaniée et mise au courant des importants travaux dont les explosifs ont été l'objet dans ces dernières années. Nous l'avons divisée en quatre parties : la première, pour la poudre ; la seconde, pour les corps explosifs ; la troisième, pour la pyrotechnie ; la quatrième, pour la bibliographie, les tables et les planches.

Les procédés de fabrication usités à l'étranger, et par-

(*) *Das Schiesspulver, die Explosivkörper und die Feuerwerkerei.* Bearbeitet von Dr. J. UPMANN und Dr. E. v. MEYER. In zwei Abtheilungen. Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn. 1874.

ticulièrement en Angleterre, ont été développés dans de notables proportions. Tout ce qui se rapporte à la fabrication française a été revu et complété avec le plus grand soin.

Parmi les parties ajoutées ou entièrement renouvelées, nous citerons : l'extraction, la fabrication et le raffinage du salpêtre; l'extraction et le raffinage du soufre; la description des systèmes de carbonisation par les cylindres mobiles et par la vapeur d'eau surchauffée, des meules et des tonnes de trituration, des presses hydrauliques, des appareils de grenage, de séchage, etc.; les chapitres relatifs aux poudres à gros grains et aux généralités sur la fabrication de la poudre; toute la partie théorique du chapitre des propriétés mécaniques de la poudre (force, potentiel, formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes, etc.); enfin, le chapitre relatif à la mesure des pressions intérieures.

La liste et la description des substances explosives autres que la poudre ont été complétées, notamment en ce qui concerne la fabrication du coton-poudre comprimé et celle des dynamites.

La troisième partie a également reçu les développements que comporte l'état actuel de la pyrotechnie.

Le texte primitif de l'ouvrage allemand a été doublé, et le nombre des gravures augmenté de près de moitié. Les planches et les tables ont été ajoutées. Enfin, l'index bibliographique a été enrichi d'un grand nombre de renseignements se rapportant à des publications françaises et étrangères.

Il nous reste à exprimer ici toute notre gratitude aux personnes dont le bienveillant concours nous a permis de mener à bonne fin la tâche que nous nous étions imposée.

E. D.

Saint-Ponce, près Mézières, oct. 1878.

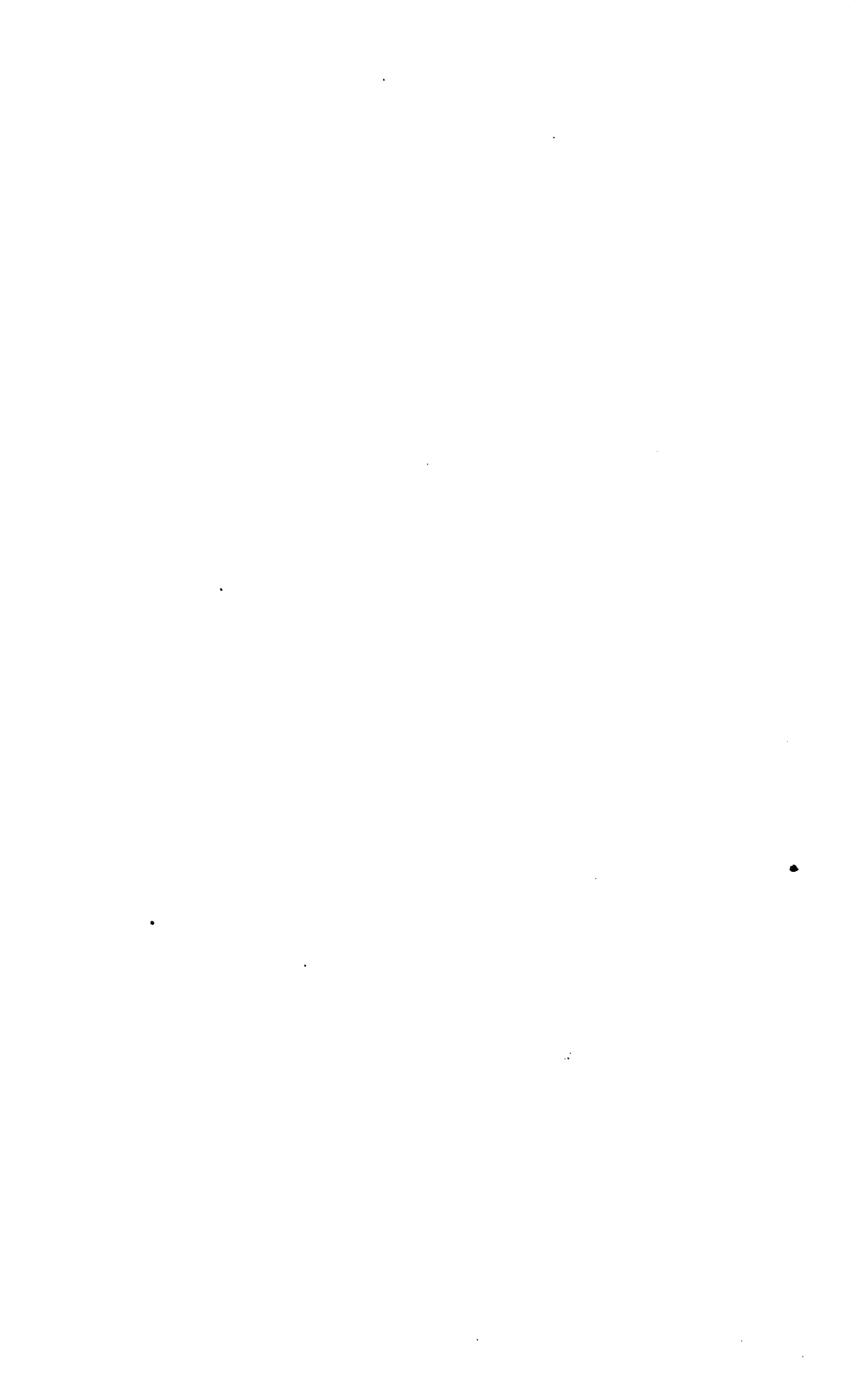


TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES



TABLE ANALYTIQUE

DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

LA POUDRE.

HISTORIQUE.	Pages 3
---------------------	------------

SECTION I.

LES MATIÈRES PREMIÈRES.

CHAPITRE I.

SALPÊTRE.

§ I. GÉNÉRALITÉS.	15
I. Historique.	15
II. Propriétés générales du salpêtre.	16
III. Théorie de la nitrification.	18
a) Par l'azote de l'air.	18
b) Par la décomposition de l'ammoniaque.	20
§ II. EXTRACTION DU SALPÊTRE BRUT.	23
I. Gites naturels de salpêtre.	24
a) Salpêtre de Ceylan.	24
b) Salpêtre des Indes.	25

	Pages
II. Nitrères naturelles et artificielles.	27
A. Conditions pratiques à réaliser.	27
B. Sources de salpêtre.	29
<i>a)</i> Salpêtre des murailles.	29
<i>b)</i> Salpêtre des bords de la Seine.	30
<i>c)</i> Salpêtre de Hongrie.	31
<i>d)</i> Salpêtre de Suisse.	32
<i>e)</i> Salpêtre de Longpont.	33
<i>f)</i> Salpêtre de Suède.	33
<i>g)</i> Nitière artificielle du baron de Way.	34
C. Lessivage des matériaux salpêtrés.	36
<i>a)</i> Lavage des terres.	37
<i>b)</i> Composition de la lessive.	39
<i>c)</i> Traitement de la lessive.	39
<i>d)</i> Évaporation de la liqueur.	41
§ III. FABRICATION DU SALPÊTRE BRUT.	44
I. Source d'acide nitrique : nitrate de soude.	44
A. Extraction du salpêtre du Chili.	44
<i>a)</i> Propriétés du nitrate de soude.	44
<i>b)</i> Gisements du salpêtre du Chili.	45
<i>c)</i> Composition du caliche.	47
<i>d)</i> Lessivage et évaporation.	47
<i>e)</i> Composition des eaux-mères.	49
<i>f)</i> Composition du salpêtre du Chili.	49
B. Épreuves du nitrate de soude brut.	50
<i>a)</i> Dosage des matières étrangères.	50
<i>b)</i> Dosage de l'acide nitrique (appareil Schläsing).	52
II. Sources de potasse.	53
A. Préparation des composés potassiques.	53
<i>a)</i> Chlorure de potassium du commerce.	53
<i>b)</i> Potasse du commerce.	60
<i>c)</i> Carbonate de potasse pur et potasse caustique.	64
B. Épreuves du chlorure de potassium et des potasses du commerce.	65
<i>a)</i> Par l'acide perchlorique (Schläsing).	66
<i>b)</i> Par l'hyposulfite de chaux et le chlorure de bismuth (Carnot).	68
<i>c)</i> Par le chlorure de platine.	70
<i>d)</i> Par le sulfate d'alumine (Balard).	71
<i>e)</i> Par le nitrate d'argent.	71
<i>f)</i> Par refroidissement de la dissolution (Gay-Lussac).	71
<i>g)</i> Procédé de Mohr.	72
<i>h)</i> Procédé d'Esselens.	72
<i>i)</i> Essai alcalimétrique (Gay-Lussac).	73
<i>j)</i> Procédé d'Anthon.	73
<i>k)</i> Procédé de Pagenstecher.	74
<i>l)</i> Procédé de Sérulas.	74
<i>m)</i> Procédé de Frémy.	75

	Pages
III. Fabrication du salpêtre.	75
A. Par le nitrate de soude et le chlorure de potassium.	75
<i>a)</i> Principe de la fabrication.	76
<i>b)</i> Transformation.	76
<i>c)</i> Cristallisation et premier lavage.	77
<i>d)</i> Lavage des sels.	78
<i>e)</i> Épreuve des eaux-mères.	78
<i>f)</i> Épreuve des sels de cuite.	79
<i>g)</i> Autres procédés de fabrication par les chlorures.	79
B. Par le nitrate de soude et le carbonate de potasse.	80
<i>a)</i> Procédé de Wöllner.	81
<i>b)</i> Procédé russe.	82
<i>c)</i> Procédé Gentele.	82
C. Par le nitrate de soude et la potasse brute.	83
D. Par le nitrate de soude et la potasse caustique.	84
§ IV. ÉPREUVES DU SALPÊTRE BRUT.	84
I. Dosage direct du salpêtre.	85
<i>a)</i> Méthode du cfaîrçage (Bottée et Riffault).	85
<i>b)</i> Méthode de la fusion (Schwartz).	87
<i>c)</i> Méthode du point de cristallisation (Huss).	87
II. Dosage de l'acide nitrique.	90
<i>a)</i> Procédé Gay-Lussac.	90
<i>b)</i> Procédé Persoz.	91
<i>c)</i> Procédé Reich.	92
<i>d)</i> Procédé Gossart.	92
<i>e)</i> Procédé Pelouze.	92
<i>f)</i> Procédé Schläsing.	94
III. Analyse complète d'un salpêtre.	95
<i>a)</i> En France.	95
<i>b)</i> A la poudrerie de Spandau.	96
§ V. RAFFINAGE DU SALPÊTRE.	100
I. Lavage du salpêtre brut.	101
II. Fonte du salpêtre.	101
<i>a)</i> A Lille.	101
<i>b)</i> A Wetteren.	102
<i>c)</i> A Spandau.	104
<i>d)</i> A Waltham-Abbey.	104
<i>e)</i> En Suède.	104
III. Cristallisation du salpêtre.	105
<i>a)</i> A Lille et à Wetteren.	105
<i>b)</i> A Spandau et à Waltham-Abbey.	106
IV. Lavage du salpêtre.	106
<i>a)</i> A Lille et à Wetteren.	106
<i>b)</i> A Spandau et à Waltham-Abbey.	107
V. Séchage.	108
<i>a)</i> A Lille et à Wetteren.	108
<i>b)</i> A Spandau et à Waltham-Abbey.	109
VI. Refroidissement, pesage et embarillage.	109
VII. Traitement des eaux de cuite.	110

	Pages
VIII. Traitement de divers résidus salpêtrés.	111
<i>a)</i> Écumes et croûtes.	111
<i>b)</i> Balayures et poudres avariées.	112
§ VI. ÉPREUVES DU SALPÊTRE RAFFINÉ.	112
I. Épreuves réglementaires.	112
<i>a)</i> En France (Instruction du 7 décembre 1818).	112
<i>b)</i> A Spandau.	113
II. Dosage du nitrate de soude.	114
<i>a)</i> Analyse spectrale.	114
<i>b)</i> Épreuve d'humidité.	114
<i>c)</i> Procédé de Wild.	114
<i>d)</i> Procédé de Reinsch.	114
<i>e)</i> Procédé de Nöllner.	115
<i>f)</i> Procédé de Toel et Hoyer.	115
<i>g)</i> Procédé d'Anthon.	115

CHAPITRE II.

SOUFRE.

§ I. GÉNÉRALITÉS.	118
I. Propriétés.	118
II. État naturel.	119
§ II. EXTRACTION DU SOUFRE BRUT.	120
I. Gisements de soufre à l'état natif.	120
<i>a)</i> Dépôts de Sicile.	121
<i>b)</i> Dépôts de Cracovie.	123
<i>c)</i> Dépôts de Croatie.	123
<i>d)</i> Dépôts de la Romagne.	124
<i>e)</i> Dépôts d'Espagne.	124
<i>f)</i> Solfatares.	124
II. Traitement des minerais sulfureux.	126
<i>a)</i> Séparation du soufre par liquation (Sicile).	126
<i>b)</i> Extraction du soufre par sublimation.	133
<i>c)</i> Traitement des minerais par le sulfure de carbone.	134
<i>d)</i> Traitement des talamoni.	134
<i>e)</i> Fours de Cracovie.	135
<i>f)</i> Composition, prix de revient et statistique.	136
§ III. ÉPREUVES DU SOUFRE BRUT.	137
I. A la raffinerie de Marseille.	137
II. A Spandau et à Wetteren.	137
§ IV. RAFFINAGE DU SOUFRE.	138
I. A la raffinerie de Marseille.	138
<i>a)</i> Appareil de Michel.	139
<i>b)</i> Réchauffeur de Feissat et Parry-Signoret.	139
<i>c)</i> Appareil de Lamy (1844).	140
<i>d)</i> Appareil de Court et Déjardin (1832).	141
<i>e)</i> Coulage du soufre raffiné.	143

	Pages
II. En Allemagne.	144
<i>a)</i> Dans les raffineries.	144
<i>b)</i> A la poudrerie de Spandau.	145
III. Dans les Indes orientales.	145
§ V. ÉPREUVES DU SOUFRE RAFFINÉ.	146

CHAPITRE III.

CHARBON.

§ I. GÉNÉRALITÉS SUR LES BOIS ET LES CHARBONS.	147
I. Propriétés générales des diverses essences de bois.	148
<i>a)</i> Inflammabilité des diverses essences (Proust).	148
<i>b)</i> Rendement en charbon des diverses essences (Violette).	149
<i>c)</i> Réception des bois.	152
<i>d)</i> Conservation des bois.	153
II. Théorie de la carbonisation.	155
<i>a)</i> Rendement en charbon (Violette).	155
<i>b)</i> Composition des charbons (Violette).	158
<i>c)</i> Marche de la carbonisation et aspect des produits.	160
<i>d)</i> Densité du charbon (Violette).	161
<i>e)</i> Hygrométrie du charbon (Violette).	161
<i>f)</i> Conductibilité du charbon (Violette).	162
<i>g)</i> Solubilité du charbon.	163
<i>h)</i> Inflammabilité du charbon (Violette).	163
<i>i)</i> Force de décomposition (Violette).	164
§ II. SYSTÈMES DE CARBONISATION.	164
I. Procédé des meules.	165
II. Procédé des fosses.	165
III. Procédé des fours.	166
IV. Procédé des chaudières.	167
V. Procédé danois.	168
VI. Procédé des cylindres.	169
A. Système des cylindres fixes.	169
<i>a)</i> Appareils français.	169
<i>b)</i> Appareils russes et allemands.	171
<i>c)</i> Appareils anglais.	171
<i>d)</i> Appareils suédois et italiens.	172
<i>e)</i> Dispositions générales des cylindres fixes.	172
<i>f)</i> Chargement et opération (France et Allemagne).	173
<i>g)</i> Déchargement et triage (France et Allemagne).	175
<i>h)</i> Résultats généraux.	176
B. Système des cylindres mobiles.	177
<i>a)</i> Description des appareils.	178
<i>b)</i> Fonctionnement des appareils	181
<i>c)</i> Résultats généraux.	184
C. Propriétés générales des charbons distillés.	184
<i>a)</i> Composition du charbon des cylindres fixes.	184

	Pages
b) Résultats comparatifs des divers systèmes de carbonisation.	186
c) Absorption de gaz et d'humidité et inflammation spontanée.	187
d) Conditions de l'inflammation spontanée.	188
e) Causes de l'inflammation spontanée.	190
VII. Procédé de carbonisation par la vapeur d'eau surchauffée. . .	191
A. <i>Système Violette.</i>	191
a) Appareil d'Esquerdes.	192
b) Appareils de Wetteren et de Dresde.	195
c) Propriétés des charbons et rendements.	195
B. <i>Système Gossart.</i>	199
a) Appareil à circulation continue du calorique.	199
b) Marche de la distillation.	202

CHAPITRE IV.

DOSAGE.

§ I. POUDRES DE GUERRE.	205
§ II. POUDRES DE CHASSE.	208
§ III. POUDRES DE MINE.	209

SECTION II.

FABRICATION DE LA POUDRE.

CHAPITRE I.

FORMATION DE LA GALETTE.

§ I. TRITURATION, MÉLANGE ET GALETAGE EN UNE SEULE OPÉRATION.	213
I. Par les pilons.	213
a) Appareils.	213
b) Opérations.	216
II. Par les marteaux.	216
III. Par les meules.	217
A. <i>Appareils.</i>	217
a) Description générale.	217
b) Meules françaises.	220
c) Meulés russes, belges et anglais.	224
B. <i>Travail des meules.</i>	225
a) Humidité des matières.	225
b) Vitesse des meules et durée de la trituration.	226
c) Travail consommé par les meules.	228
C. <i>Opérations.</i>	230
TRITURATION.	231
I. Par les pilons.	232

	Pages
II. Par les meules.	232
III. Par les tonnes.	233
A. <i>Appareils</i>	233
a) Anciennes tonnes en bois et en cuir.	233
b) Tonnes allemandes en bois et en cuir.	234
c) Tonnes françaises en cuir.	235
d) Tonnes françaises en fer.	236
e) Appareils italiens.	236
f) Appareil de Champy.	236
B. <i>Opérations</i>	237
a) En France.	237
b) En Allemagne.	239
c) En Autriche, en Danemark, en Russie et en Italie.	240
§ III. MÉLANGE ET GALETAGE EN UNE SEULE OPÉRATION.	240
I. Par les pilons.	240
a) En France.	240
b) En Allemagne, en Autriche et en Danemark.	242
II. Par les meules.	243
a) Poudres de chasse (France).	243
b) Poudres de guerre (France).	245
§ IV. MÉLANGE.	246
I. Par les tonnes.	247
a) En France.	247
b) En Allemagne, en Suède, en Italie et au Bengale.	248
c) En Angleterre.	248
II. Par les meules.	249
a) En Angleterre et dans les Indes orientales.	250
b) En France.	250
§ V. GALETAGE.	251
I. Préparation de la matière à galeter.	251
a) Appareils d'humectage (Italie et Allemagne).	251
b) Appareils de concassage (France et Angleterre).	252
II. Galetage à la presse.	253
A. <i>Presses à vis</i>	253
B. <i>Presses hydrauliques</i>	254
a) Anciennes presses.	254
b) Presses anglaises.	255
c) Presses françaises.	257
d) Presses italiennes.	258
e) Presses russes chauffées à la vapeur.	259
C. <i>Laminoirs</i>	260
III. Comparaison des galetages aux meules et à la presse.	261
§ VI. CONCLUSION.	262

CHAPITRE II.

FORMATION DU GRAIN.

	Pages
§ I. HISTORIQUE.	264
§ II. GRENAGE DES POUDRES ORDINAIRES.	267
I. Grenoir à retour.	267
a) Grenoir allemand.	267
b) Grenoir français.	270
c) Grenoir russe.	272
II. Tonne-grenoir.	272
III. Grenoir à cylindres.	274
a) Grenoir anglais.	274
b) Grenoir américain.	278
c) Grenoir français.	279
§ III. GRANULATION DES POUDRES AGGLOMÉRÉES.	280
§ IV. GÉNÉRALITÉS.	282
I. But et résultats du grenage.	282
II. Comparaison des divers modes de grenage.	283

CHAPITRE III.

SÉCHAGE, ÉPOUSSETAGE ET ASSORTISSAGE PRÉALABLES.

§ I. SÉCHAGE PRÉALABLE OU ESSORAGE.	285
I. En France et en Italie.	285
II. En Allemagne, en Russie et en Danemark.	286
§ II. ÉPOUSSETAGE ET ASSORTISSAGE PRÉALABLES.	287

CHAPITRE IV.

LISSAGE.

§ I. APPAREILS.	289
§ II. OPÉRATIONS.	291
§ III. GÉNÉRALITÉS.	294

CHAPITRE V.

SÉCHAGE.

§ I. SÉCHAGE NATUREL.	297
§ II. SÉCHAGE ARTIFICIEL.	298
I. Séchage à l'air chauffé directement.	298
II. Séchage à la vapeur ou à l'eau chaude.	299
A. Travail des sécheries.	300
a) Mode d'utilisation de la chaleur.	300
b) Durée du séchage.	30
c) Débit du ventilateur et pression de l'air.	30

	Pages
B. <i>Appareils et opérations.</i>	306
<i>a) En France et en Italie.</i>	306
<i>b) En Allemagne et en Russie.</i>	309
<i>c) En Angleterre.</i>	310
III. <i>Séchage à l'air froid.</i>	311
IV. <i>Séchage dans le vide.</i>	312

CHAPITRE VI.

ÉPOUSSETAGE, ASSORTISSAGE ET ÉGALISAGE.

§ I. EPOUSSETAGE.	313
I. <i>En France.</i>	313
II. <i>En Allemagne.</i>	314
III. <i>En Angleterre.</i>	315
§ II. ASSORTISSAGE ET ÉGALISAGE.	317

CHAPITRE VII

MÉLANGE.

§ I. EN FRANCE.	319
§ II. EN ALLEMAGNE.	320

CHAPITRE VIII.

EMBARILLAGE ET EMPAQUETAGE.

§ I. EN FRANCE.	322
§ II EN ALLEMAGNE.	324
§ III. EN ANGLETERRE.	326
§ IV. EXPÉRIENCES DE PIOBERT, DE FADÉIEFF ET DE GALE.	327

CHAPITRE IX.

EMMAGASINAGE.

§ I. MAGASINS A POWDRE.	329
§ II. EMMAGASINAGE ET ÉPREUVES DE ROULEMENT.	332

CHAPITRE X.

TRANSPORTS.

§ I. TRANSPORTS PAR VOIE DE TERRE.	334
§ II. TRANSPORTS PAR EAU.	336

CHAPITRE XI.

CHARGES COMPRIMÉES.

	Pages
§ I. EXPÉRIENCES AMÉRICAINES.	337
§ II. PROCÉDÉS DE BROWN ET DE DOREMUS.	338
§ III. EXPÉRIENCES AUTRICHIENNES, ANGLAISES ET FRANÇAISES.	340

CHAPITRE XII.

POUDRES A GROS GRAINS.

§ I. GÉNÉRALITÉS.	342
§ II. POUDRES ORDINAIRES A GROS GRAINS.	344
I. Poudre mammoth.	344
II. Poudre pebble.	345
III. Poudres de Wetteren.	347
IV. Poudres françaises.	349
V. Poudre à dés et poudre plate.	351
VI. Poudres diverses.	353
a) Poudres autrichiennes.	353
b) Poudres progressives suédoise et italienne.	353
c) Poudres américaines.	355
§ III. POUDRES MOULÉES.	355
I. Poudres cakes perforées.	355
II. Poudres prismatiques.	357
III. Poudre pellet.	360
IV. Poudre hexagonale.	362
V. Poudres moulées au caoutchouc.	362

CHAPITRE XIII.

GÉNÉRALITÉS SUR LA FABRICATION DE LA POUDRE.

§ I. TABLEAU D'ENSEMBLE DE LA FABRICATION.	364
I. Poudres françaises.	364
a) Poudres de guerre (pilons ou meules).	364
b) Poudres de chasse (meules).	366
c) Poudres de mine (tonne de granulation, presses ou meules).	367
d) Poudres de commerce extérieur (pilons, presses ou meules).	368
II. Poudres allemandes (Spandau et Dresde).	369
a) Poudres de guerre de l'ancien armement (tonnes et presses).	369
b) Nouvelle poudre à fusil (meules et presses).	369
III. Poudres autrichiennes (Stein).	370

	Pages
IV. Poudres russes (Ochta)	370
<i>a</i>) Poudres de l'ancien armement (meules et presses).	370
<i>b</i>) Nouvelle poudre à fusil (meules et presses).	371
V. Poudres belges (Wetteren).	371
VI. Poudres anglaises (Waltham-Abbey).	371
VII. Poudres italiennes (Fossano et Scafati).	372
VIII. Poudres espagnoles (Grenade).	372
§ II. PRODUCTION ET CONSOMMATION.	373
I. Fonctionnement des appareils.	373
<i>a</i>) Travail consommé.	373
<i>b</i>) Débits et rendements.	374
II. Prix de revient des produits.	375
III. Usage et consommation.	376
§ III. DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES POUDRERIES ET DES USINES A POUVRE.	379
I. Plan d'ensemble d'une poudrerie.	379
II. Construction des bâtiments.	380
III. Instructions générales.	383

SECTION III.

PROPRIÉTÉS DE LA POUVRE.

CHAPITRE I.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE LA POUVRE.

§ I. ASPECT EXTÉRIEUR.	386
§ II. DURETÉ DES GRAINS.	387
§ III. GROSSEUR DES GRAINS.	387
§ IV. DENSITÉ.	389
I. Densité gravimétrique.	389
<i>a</i>) En France et en Belgique.	391
<i>b</i>) En Allemagne, en Angleterre, en Russie et en Italie.	392
II. Poids spécifiques relatif et absolu.	392
A. Densité au lycopode.	393
B. Voluménomètres et stéréomètres.	394
C. Densité à l'essence de térébenthine.	394
D. Densité à l'eau saturée de salpêtre.	395
E. Densité à l'alcool.	395
<i>a</i>) Méthode de l'augmentation de volume.	395
<i>b</i>) Méthode de la différence de poids.	396
<i>c</i>) Expériences de Heeren, d'Otto et d'Upmann.	396

	Pages
d) Procédé de Heeren	398
e) Résultats généraux	401
F. Densité par la méthode hydrostatique	402
G. Densité au mercure	405
a) Densimètre Marchand	405
b) Densimètre Bothe	407
c) Densimètre Hoffmann	409
d) Densimètre Ricq	412
e) Densimètre Bianchi	414
III. Généralités	417
a) Comparaison des densités gravimétrique et réelle	417
b) Action de l'humidité	418
c) Influence des procédés de fabrication	419
§ V. HUMIDITÉ ET HYGROMÉTRICITÉ	420
I. Généralités	420
a) Influence sur les propriétés physiques	420
b) Influence sur les propriétés balistiques	421
c) Action de divers éléments	423
II. Épreuves	424
a) Épreuve d'humidité	424
b) Épreuve d'hygrométrie	424
§ VI. CRASSEMENT	426

CHAPITRE II.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DE LA POUDRE. ANALYSE QUANTITATIVE.

§ I. DÉTERMINATION DE L'HUMIDITÉ	427
I. Généralités	427
II. Procédés de dosage	428
a) Par un courant d'air sec et froid (Linck)	428
b) Par un courant d'air sec et chaud (Werther)	429
§ II. DÉTERMINATION ISOLÉE DES ÉLÉMENTS	429
I. Dosage du salpêtre	429
a) Procédé du lessivage	429
b) Procédé de Marchand	430
c) Dosage volumétrique de l'azote	430
d) Dosage de l'acide azotique	431
e) Procédé de Becker	431
f) Procédé d'Uchatius	431
g) Procédé suédois	432
II. Dosage du soufre	432
A. A l'état de soufre libre	433
a) Procédé de Berzélius	433
b) Procédé du sulfure de carbone	434
B. A l'état de sulfate	434
a) Procédé de Hornbåstätt	434

	Pages
b) Procédé de Gay-Lussac.	435
c) Procédé de Löwig.	435
d) Procédé de Millon.	435
e) Procédé de Bottée et Riffault.	436
f) Procédé de Rivot.	437
g) Procédé de Cloez et Guignet.	437
III. Dosage du charbon.	437
A. A l'état de carbone libre.	437
a) Procédé de Beaumé.	438
b) Par une lessive de potasse.	438
c) Par le sulfure de carbone.	438
d) Procédés de Bolley et d'Ure.	439
e) Procédé de Bromeis.	439
f) Procédé de Fresenius.	439
B. A l'état d'acide carbonique.	440
a) Procédé direct.	440
b) Analyse organique élémentaire.	440
§ III. DÉTERMINATION SIMULTANÉE DES ÉLÉMENTS.	441
Procédé de Linck.	441

CHAPITRE III.

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA POUDRE.

§ I. INFLAMMATION.	445
I. Conditions de l'inflammation.	445
a) Par le choc.	445
b) Par une élévation de température	446
c) Par le contact de corps enflammés.	448
d) Par le contact de corps en ignition.	448
II. Vitesse d'inflammation.	449
a) A l'air libre.	449
b) Dans des tubes résistants.	450
III. Procédés d'inflammation.	450
§ II. COMBUSTION.	453
I. Circonstances de la combustion.	453
II. Vitesse de combustion.	453
A. Sous pression constante.	454
B. Sous pression variable.	456
a) Combustion dans le vide.	457
b) Combustion sous les pressions faibles.	458
c) Combustion sous les pressions élevées.	460
III. Produits de la combustion.	460
A. Combustion sous la pression atmosphérique.	461
a) Anciennes analyses.	461
b) Analyses de Gay-Lussac (1823) et de Chevreul (1825).	461
c) Analyses de Bunsen et Schischkoff (1857).	462
d) Analyses de Linck (1858).	466

	Pages
B. <i>Combustion sous les pressions élevées.</i>	467
a) Analyses de Károlyi (1863).	467
b) Analyses de Vignotti et de Craig (1861).	469
c) Analyses de Federow (1868).	470
d) Analyses de Poleck (1865).	472
e) Analyses de Noble et Abel (1874).	473
IV. Chaleur de combustion.	477
a) Détermination expérimentale.	477
b) Détermination théorique.	480
V. Température de combustion.	482
VI. Théorie de la décomposition.	485
a) Ancienne théorie.	485
b) Théorie de Berthelot.	486
§ III. POTENTIEL.	490
§ IV. FORCE.	492
I. Généralités.	492
II. Détermination expérimentale.	494
III. Détermination théorique.	496
a) Hypothèse de la gazéification totale.	496
b) Hypothèse des résidus solides ou liquides.	497
§ V. PRESSION DES GAZ.	500
I. Généralités.	500
a) Durée des réactions.	500
b) Propagation successive de la transformation.	504
c) Dissociation.	502
II. Loi des pressions en vase clos.	503
a) Expériences de Rumford (1797).	503
b) Expériences de Noble et Abel (1874).	506
§ VI. FORMULES PRATIQUES DES VITESSES ET DES PRESSIONS DANS LES ARMES.	508
I. Formule des vitesses initiales.	508
II. Formule de la pression maximum.	509
III. Caractéristiques de la poudre.	509
a) Tableau des caractéristiques des poudres usuelles.	509
b) Détermination expérimentale des caractéristiques.	510
c) Calcul des caractéristiques d'une poudre d'après ses propriétés physiques.	511
IV. Maximum des vitesses.	513
V. Remarques sur l'emploi de la formule des vitesses.	514

SECTION IV.

APPAREILS DE MESURE DES EFFETS BALISTIQUES
DE LA POUDRE.

CHAPITRE I.

MESURE DES VITESSES, PORTÉES ET RÉACTIONS.

	Pages
§ I. ÉPROUVETTES.	516
I. Bouches à feu ordinaires.	516
a) Mortier-épreuve.	516
b) Fusil d'infanterie.	521
II. Épreuves à ressort.	521
a) Épreuve à main de Régnier.	521
b) Épreuve-pistolet de Saint-Rémy (1697).	522
III. Épreuves à poids.	523
a) Épreuve à crémaillère.	523
b) Épreuve de Colson.	524
c) Épreuve de Dupont.	526
d) Épreuve de Meier.	526
IV. Épreuves à réaction.	527
a) Épreuve de Hoër.	527
b) Épreuve à levier.	527
c) Canon-pendule de Hutton et pendule-balistique.	528
d) Fusil-pendule de d'Arcy et pendule-balistique.	528
e) Épreuve hydrostatique de Régnier.	530
f) Épreuve dynamométrique de Nelsens.	532
§ II. APPAREILS ÉLECTRO-BALISTIQUES.	532
I. Appareils dans lesquels on mesure directement la durée du phénomène.	533
a) Chronoscope électro-magnétique de Wheatstone.	533
b) Chronographe électrique de Martin de Brettes.	533
II. Appareils dans lesquels on mesure la durée d'un phénomène auxiliaire.	534
a) Galvanomètre de Pouillet.	534
b) Pendule électro-balistique de Navez.	534
c) Chronographe électro-balistique de Le Boulengé.	535
d) Clepsydre électrique de Le Boulengé.	545
e) Chronographe Bashforth.	549
f) Chronographe Noble.	552
g) Chronographe Schultz.	555

CHAPITRE II.

MESURE DES PRESSIONS.

§ I. MÉTHODE STATIQUE.	562
I. Appareil de Rumford (1792).	562
a) Description de l'appareil.	562
b) Expériences de Rumford.	563

	Pages
II. Poinçon Rodman (1857)	563
a) Description de l'appareil.	564
b) Expériences de Rodman.	564
c) Conclusion.	565
III. Éprouvette d'Uchatius (1862).	566
IV. Appareil Rodman modifié (1870).	568
V. Appareil de Meudon.	568
VI. Manomètre crusher.	569
a) Description de l'appareil.	569
b) Expériences de Noble et Abel (1871-1874).	571
VII. Appareils de Le Boulengé.	571
a) Dynamomètre à ressort.	571
b) Manomètre à air.	572
VIII. Balances manométriques de Marcel Deprez.	572
a) Manomètre à un seul piston.	573
b) Manomètre à pistons multiples.	574
§ II. MÉTHODE DYNAMIQUE.	576
I. Expériences de Cavalli (1845-1860).	577
II. Expériences de Neumann (1854).	577
III. Expériences de Noble (1872).	578
IV. Expériences de Noble et Abel (1874).	579
V. Expériences de Ricq (1873).	581
VI. Expériences de Le Boulengé.	583
VII. Expériences de Marcel Deprez et Sébert (1873-1878).	584
a) Accéléromètre.	585
b) Accélérographe.	587
c) Accéléromètre et accélérographe réunis.	590
d) Vélocimètre.	592

DEUXIÈME PARTIE.

LES CORPS EXPLOSIFS.

HISTORIQUE.	597
---------------------	-----

SECTION I.

POUDRES DÉRIVÉES DE LA POUDRE ORDINAIRE.

CHAPITRE I.

POUDRES OBTENUES PAR MODIFICATION DU DOBAGE.

§ I. POUDRE BENNET.	600
§ II. POUDRE NEUMEYER.	601
§ III. HALOXYLINE.	602

CHAPITRE II.

POUDRES OBTENUES PAR REMPLACEMENT DU SALPÊTRE.

	Pages
§ I. POUDRES NITRATÉES.	605
I. Généralités.	605
II. Poudres au nitrate de soude.	606
A. <i>Substitution partielle du nitrate de soude au salpêtre.</i>	606
a) Pyrolithe de Matteen et pudrolithe de Poch.	606
b) Poudres de Schwarz.	607
c) Poudres de Schäffer et Budenberg (1863).	607
d) Poudre d'Eaton (1864).	607
e) Poudres de Murtineddu.	608
B. <i>Substitution complète du nitrate de soude au salpêtre.</i>	608
a) Poudre de Davey.	608
b) Pyronone de De Tret.	608
c) Poudre d'Oxland.	609
d) Poudres de Freiberg, de Wetslar et d'Aix-la Chapelle.	609
III. Poudres au nitrate de baryte.	610
a) Poudre de Newton (saxifragine, lithofacteur).	610
b) Poudre de Wynants.	610
§ II. POUDRES CHLORATÉES.	611
I. Généralités.	611
II. Poudres au chlorate et au perchlorate de potasse.	612
a) Poudres de Kellow et Short (1806).	612
b) Poudre de Knaffl.	612
c) Poudre de Spence.	613
d) Poudres d'Ehrhardt (1865).	613
e) Poudre de Sharp et Smith.	613
f) Papier-poudre de Melland.	613
g) Poudres de Nisser.	614
h) Poudres blanches d'Augendre et de Pohl (1849).	614
i) Poudres de Hafenegger.	617
j) Poudre de Hahn.	617
k) Poudre gallique de Moraley.	618
l) Poudre de Callou.	618

CHAPITRE III.

POUDRES OBTENUES PAR REMPLACEMENT OU SUPPRESSION DU SOUFRE
ET PAR REMPLACEMENT DU CHARBON.

§ I. REMPLACEMENT OU SUPPRESSION DU SOUFRE.	619
§ II. REMPLACEMENT DU CHARBON.	619

SECTION II.

CORPS EXPLOSIFS DÉRIVÉS DES MATIÈRES ORGANIQUES.

CHAPITRE I.

PYROXYLES.

A.

Coton-poudre.

	Pages
§ I. HISTORIQUE.	623
§ II. FABRICATION DU COTON-POUDRE.	626
I. Généralités.	626
a) Matières premières.	626
b) Opération.	627
II. Procédés de fabrication.	628
a) Procédé d'Otto.	628
b) Procédé de Schönbein.	628
c) Procédés de Karmarsch, de Heeren et de Knop.	629
d) Procédé de Walter Crum.	629
e) Procédé de Kerkhoff et Reuter.	629
f) Procédé du Bouchet.	629
g) Procédé de Lenk.	630
h) Procédé d'Abel.	632
§ III. PROPRIÉTÉS DU COTON-POUDRE.	636
I. Propriétés physiques.	636
a) Aspect extérieur.	636
b) Solubilité.	637
c) Densité.	637
d) Humidité.	638
II. Propriétés chimiques.	638
a) Analyse chimique.	638
b) Formule et constitution chimiques.	640
III. Propriétés mécaniques.	641
a) Inflammation et décomposition spontanée.	641
b) Explosion et détonation.	643
c) Combustion.	645
d) Chaleur de combustion et force.	648
§ IV. USAGES DU COTON-POUDRE.	649
I. Emploi dans les armes.	649
a) Premières expériences.	649
b) Perfectionnements ultérieurs.	651
II. Emploi dans les mines.	653
a) Premières expériences.	653
b) Mode d'emploi.	653
c) Amorces fulminantes.	654

	Pages
III. Usages divers.	657
IV. Conclusion.	657
§ V. GÉNÉRALITÉS SUR LE COTON-POUDRE.	659
I. Conservation et transports.	659
II. Épreuves.	660
III. Production et prix de revient.	662

APPENDICE.

COLLODION.

a) Historique.	663
b) Fabrication.	664
c) Propriétés.	663
d) Usages.	665

B.

Autres pyroxyles.

§ I. PYROXYLE A BASE DE PAPIER.	667
§ II. PYROXYLES A BASE DE BOIS.	667
I. Poudre blanche de Schultze.	667
II. Poudre blanche de Lannoy.	669
§ III. PYROXYLE A BASE D'AMIDON.	669
Poudre blanche d'Uchatius.	669

CHAPITRE II.

CORPS EXPLOSIFS DÉRIVÉS DU SUCRE.

§ I. SUCRE DE CANNE ET SUCRE DE LAIT NITRIQUES.	671
§ II. NITROMANNITE.	672

CHAPITRE III.

NITROGLYCÉRINE ET DYNAMITES.

A.

Nitroglycérine.

§ I. HISTORIQUE.	674
§ II. FABRICATION DE LA NITROGLYCÉRINE.	675
I. Généralités.	675
II. Procédés de fabrication.	676
a) Procédés de laboratoire.	676
b) Procédé de Nobel.	677

	Pages
c) Procédé de Kopp.	677
d) Procédé de Rudberg.	678
e) Procédé de Mowbray.	680
f) Procédés de Champion et Pellet.	684
g) Procédé de Forster.	682
h) Procédé de Capitaine.	683
i) Procédé de la poudrerie de Vonges.	684
§ III. PROPRIÉTÉS DE LA NITROGLYCÉRINE.	686
I. Propriétés physiques.	686
II. Propriétés chimiques.	688
III. Propriétés mécaniques.	689
a) Inflammation et décomposition spontanée.	689
b) Explosion et détonation.	690
c) Combustion.	691
d) Chaleur de combustion et force.	693
§ IV. USAGES DE LA NITROGLYCÉRINE.	693
I. Amorçage et cartouchage.	694
II. Expériences diverses.	695
III. Inconvénients de la nitroglycérine.	697

B.

Dynamites.

α. Dynamites à base inerte.

§ I. PRÉPARATION DES DYNAMITES A BASE INERTE.	699
I. Dynamites de Nobel.	700
II. Dynamites de Vonges.	700
III. Autres dynamites à base inerte.	702
§ II. PROPRIÉTÉS DES DYNAMITES A BASE INERTE.	703
I. Propriétés physiques.	703
II. Propriétés chimiques.	704
III. Propriétés mécaniques.	704
a) Décomposition spontanée.	704
b) Action de la chaleur.	705
c) Action du choc.	706
d) Action de la lumière et de l'électricité.	708
e) Action de l'eau.	708
f) Conclusion.	709
§ III. USAGES DES DYNAMITES A BASE INERTE.	709
I. Amorçage et cartouchage.	709
a) Confection des amorces et des cartouches.	709
b) Mode d'emploi des amorces et des cartouches.	711
II. Expériences diverses.	712
a) Usages civils.	712
b) Usages militaires.	716
III. Comparaison de la dynamite et du coton-poudre.	717
IV. Conclusion.	718

§. Dynamites à base active.

	Pages
§ I. DYNAMITE A BASE DE CHARBON.	719
Dynamite noire.	719
§ II. DYNAMITES A BASE DE POUDRE ORDINAIRE OU DE SES DÉRIVÉS.	720
I. Dynamites de Nobel et de Fahnshelm.	720
II. Dynamites de Cologne et de Paulilles.	721
III. Dynamite à l'ammoniaque.	721
IV. Sérarine et poudre de Horaley.	722
V. Lithofacteur.	722
a) Fabrication.	722
b) Propriétés.	723
c) Usages.	723
§ III. DYNAMITES A BASE DE PYROXYLES.	725
I. Dynamites au coton-poudre.	725
a) Dynamite de Trauzl.	725
b) Glyoxyline d'Abel.	725
II. Dualines.	726
a) Fabrication.	726
b) Propriétés.	727
c) Usages.	727
III. Autres dynamites à base de pyroxyles.	728

C.

Généralités sur la nitroglycérine et sur les dynamites.

§ I. ATELIERS, MAGASINS ET PRÉCAUTIONS GÉNÉRALES.	729
§ II. EMBALLAGE ET TRANSPORTS.	731
§ III. PRODUCTION, CONSOMMATION ET PRIX DE REVIENT.	732
§ IV. PUISSANCE RELATIVE DES DIVERSES DYNAMITES.	733

CHAPITRE IV.

ACIDE PICRIQUE ET PICRATES.

§ I. GÉNÉRALITÉS.	735
§ II. POUDRES A L'ACIDE PICRIQUE.	736
§ III. POUDRES AU PICRATE DE POTASSE.	737
I. Généralités.	737
II. Poudres de Désignolle et de Fontaine.	738
§ IV. POUDRES AU PICRATE D'AMMONIAQUE.	739
I. Poudre de Brugère.	740
II. Poudre picrique d'Abel.	740

APPENDICE.

SUBSTANCES DIAZOTÉES.	741
-------------------------------	-----

CHAPITRE V.

FULMINATES.

	Pages
§ I. FULMINATE DE MERCURE.	743
I. Fabrication.	743
a) Procédé de Chandon.	743
b) Procédé de Liebig.	744
II. Propriétés.	746
a) Propriétés physiques.	746
b) Propriétés chimiques.	746
c) Propriétés mécaniques.	746
III. Usages.	747
§ II. FULMINATE D'ARGENT ET OR FULMINANT.	748
I. Fabrication.	749
II. Propriétés.	750
III. Usages.	750

TROISIÈME PARTIE.

LA PYROTECHNIE.

HISTORIQUE.	753
---------------------	-----

SECTION UNIQUE.

AMORCES, FUSÉES ET ARTIFICES.

CHAPITRE I.

AMORCES A PERCUSSION ET A FRICTION.

§ I. AMORCES A PERCUSSION.	756
I. Amorces au fulminate de mercure.	757
a) Préparation du fulminate de mercure.	757
b) Confection des capsules.	757
c) Préparation de la composition fulminante.	763
d) Grenage de la composition fulminante.	764
e) Chargement et confection des capsules.	764
.) Production, conservation et transports.	772
Conclusion.	773

	Pages
II. Autres amorces à percussion.	773
III. Capsules des fusils à aiguille.	774
a) Compositions diverses.	774
b) Capsules adoptées en Prusse et en France.	775
§ II. AMORCES A FRICTION.	777

CHAPITRE II.

FUSÉES ET ARTIFICES.

§ I. COMPOSITIONS FONDAMENTALES.	780
I. Préparation.	780
II. Propriétés.	781
§ II. ARTIFICES DE MISE DE FEU.	782
I. Mèches et étoupilles.	782
a) Mèches et étoupilles à la pâte de pulvérin.	782
b) Mèches au chlorate de potasse.	784
c) Mèches au coton-poudre et à la dynamite.	784
d) Lances et tubes à feu.	785
II. Fusées.	786
a) Fusées fusantes.	787
b) Fusées percutantes.	788
c) Fusées électriques.	789
§ III. ARTIFICES DIVERS.	790
I. Production de lumière.	791
a) Fusées lumineuses.	791
b) Feux colorés.	792
c) Feux d'étincelles.	798
d) Compositions doubles.	799
II. Production de gaz.	799
A. Fusées volantes.	800
a) Fusées de signaux et de réjouissance.	800
b) Fusées de sauvetage.	803
B. Fusées diverses.	804
a) Balles à fumée et fusées de désinfection.	804
b) Extincteurs.	804
III. Production de flamme.	805
a) Compositions incendiaires usuelles.	805
b) Mixtes comburants et feux liquides.	807
§ IV. ANALYSE CHIMIQUE DES COMPOSITIONS D'ARTIFICE.	808

QUATRIÈME PARTIE.

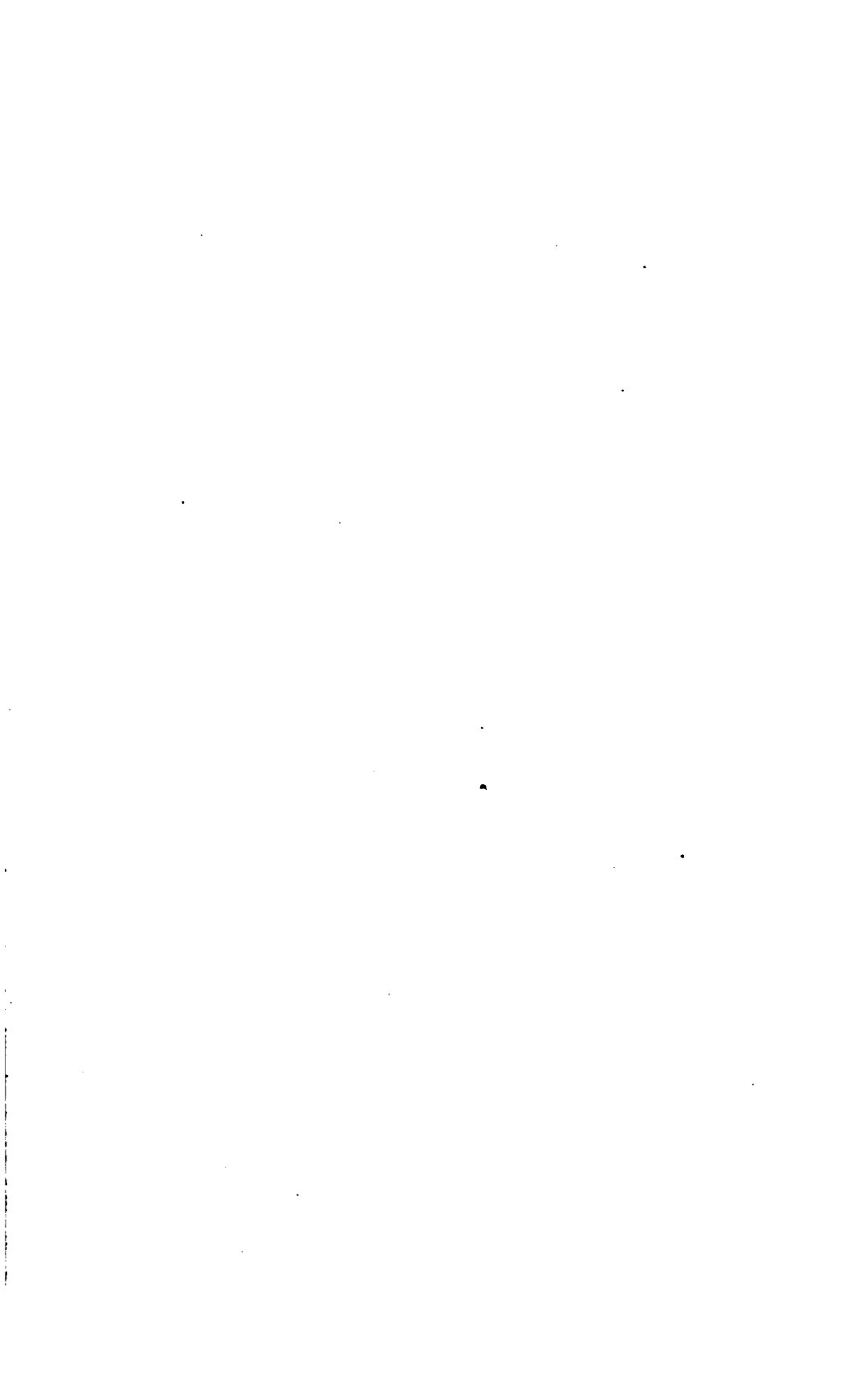
BIBLIOGRAPHIE, TABLES ET PLANCHES.

	Pages
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE	811
Traité s généraux et publications périodiques	811
Poudre	813
Historique	813
Salpêtre	814
Soufre	815
Charbon	815
Dosage	816
Fabrication des poudres ordinaires	816
Fabrication des poudres à gros grains	819
Propriétés physiques de la poudre	820
Propriétés chimiques de la poudre	820
Propriétés mécaniques de la poudre	821
Appareils de mesure des effets balistiques	823
Corps explosifs	826
Traités généraux	826
Poudres dérivées de la poudre ordinaire	827
Coton-poudre	828
Collodion et pyroxyles divers	829
Corps explosifs dérivés du sucre	830
Nitroglycérine	830
Dynamites à base inerte	831
Dynamites à base active	833
Picrates et fulminates	834
Pyrotechnie	834
Traités généraux	834
Amorces et artifices de mise de feu	835
Artifices divers	836
TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES	837
TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS	853
PLANCHES	
I. Appareils de distillation du bois en cylindres mobiles (système Maurouard).	
—	
II. Appareil à circulation continue du calorique (système Gossart).	
—	
III. Tonnes binaires, tonnes ternaires, meules.	
—	
IV. Presses.	

- PLANCHES V. Appareils anglais de concassage et de grenage.
- VI. Chaufferie du séchoir à vapeur, densimètres à mercure, appareil de grenage pour la poudre pebble.
 - VII. Courbes des pressions développées par la combustion de la poudre en vase clos et dans une bouche à feu.
 - VIII. Appareils Le Boulengé, pour la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre.

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES.





PREMIÈRE PARTIE



LA POUDRE



HISTORIQUE

De tous les corps explosifs, la poudre est celui dont la découverte offre le plus d'intérêt. A dater du jour où elle fut employée dans les armes à feu, on peut dire qu'elle exerça une influence aussi réelle sur la marche de la civilisation générale que l'imprimerie sur le développement de l'esprit humain; aussi voit-on plusieurs nations se disputer l'honneur d'une pareille découverte. Ces diverses prétentions sont loin d'être toujours fondées. On se contente parfois de rapporter des récits oraux ou des passages d'auteurs qui n'ont fait que transcrire des traditions; souvent, aussi, toutes ces assertions proviennent de ce que l'on ne possède que des notions imparfaites sur la nature même de la poudre. On s'imagine, en effet, qu'il suffit d'avoir à peu près démontré que tel ou tel peuple connaissait un mélange de salpêtre, de soufre et de charbon se rapprochant plus ou moins de nos mélanges modernes, sans s'inquiéter en aucune façon de la propriété caractéristique de la substance, à savoir sa force de projection : propriété aussi capitale au point de vue de l'emploi de la poudre que l'est pour l'imprimerie la mobilité des caractères. Bien avant Gutenberg, si l'on en croit Marco Polo, les Chinois connaissaient un procédé pour rapporter en rouge sur un fond noir des signes et des lettres, et c'est même ainsi qu'était fabriqué le papier-monnaie de Gengis-Khan; mais le point essentiel de l'art de l'imprimerie ne leur en était pas moins absolument inconnu.

Ceci dit, nous allons essayer d'esquisser rapidement l'historique de la découverte de la poudre.

On enseigne partout que les Chinois sont les inventeurs de la poudre. Cette assertion se trouve chez presque tous les anciens

auteurs qui ont écrit sur la matière; elle a même été tout dernièrement reproduite.

Dans son *Liber observationum*, Vossius raconte qu'en l'an 85 de J.-C., le roi chinois Vi-Tey s'est servi pour la première fois de poudre et d'armes à feu dans la guerre contre les Tartares, et que cette année est celle de la découverte de la poudre par le susdit roi. Malheureusement l'empereur qui vivait vers cette époque s'appelait Cham-Ti, et Vi-Tey est bien antérieur au Christ. En outre, les Chinois ne découvrirent la fusée, ce précurseur de la poudre, que dans la seconde moitié du x^e siècle (969 après J.-C.); la fusée était fixée à la flèche, pour en augmenter la portée, et constituait une amorce que la vitesse de la flèche ne parvenait pas à éteindre.

On trouve déjà chez les Romains des flèches incendiaires de construction analogue. Végèce dit en effet, à propos des *malleoli* et de la *falarica*: « Falarica autem.... intra tubum et hastile sulphure, resina, « bitumine stuppisque convolvitur, infusa oleo, quod incendiarium « vocant. » Ammien Marcellin donne une description semblable. — Au lieu de soufre, de poix, d'étoupes, etc., les Chinois employèrent un mélange de salpêtre, de soufre et de charbon, dont les Européens leur apprirent la force balistique.

On a dit, il est vrai, qu'au siège de Kai-foung-fu, plus tard Piang-King, en 1232, les Chinois s'étaient servis de poudre; cette assertion repose sur une méprise. Gaubil raconte, en effet, qu'au siège en question les Mongols employèrent des *ho-pao*, dont le feu se répandait avec une rapidité telle qu'il était impossible de l'éteindre; dans la ville assiégée, on s'était également servi de *ho-pao* qui avaient lancé des pièces de fer en forme de ventouses. Le bruit de la détonation, semblable à celui du tonnerre, s'entendait à 10 lieues, les points où tombaient les projectiles étaient incendiés et le feu s'étendait à 2000 pieds à la ronde; une cuirasse en fer a été retrouvée complètement transpercée. On n'a pas hésité à traduire *ho-pao* par arme à feu, et l'on en conclut que, dès le xiii^e siècle, les Chinois possédaient des canons et partant de la poudre. — Il est difficile d'imaginer comment on a pu arriver à un semblable résultat; car, un peu plus bas, Gaubil dit qu'il n'a pas osé traduire *pao* et *ho-pao* par canon parce que *pao* désigne une machine qui lance des pierres et que *ho* signifie feu. Et Gaubil avait parfaitement raison; il est clair que les *ho-pao* ne sont autres que ces engins si souvent décrits par les auteurs chinois, et qui lancent au loin des projectiles incen-

diaires remplis de substances inflammables. Il n'est donc nullement question de l'emploi de la poudre au point de vue de sa force de projection.

Il résulte même d'une manière indiscutable des relations très-véridiques de Marco Polo que les Chinois ne connaissaient pas encore la poudre vers la fin du XIII^e siècle. En effet, cet auteur ne fait pas la plus légère allusion à la poudre, bien qu'il décrive combats, armes et chasses jusque dans les derniers détails. Au sujet de la grande bataille qui fut livrée entre Kublai et Nayan (1268), il dit que l'air était rempli d'un nuage de flèches qui retombaient des deux côtés; dans la description des engins militaires de l'Empereur, il ne cite que des arcs, des cordes, des carquois et des flèches. Il dit enfin, à propos du siège de Sian-Fu : « Cette dernière ville étant inutilement assiégée, les frères Nicolo et Maffio demandèrent à l'Empereur l'autorisation de construire une machine analogue à celles dont on se servait en Occident et pouvant lancer des pierres de 300 livres. La première pierre lancée par eux détruisit presque d'un seul coup tout un édifice, et les habitants furent épouvantés de cette catastrophe, qui leur semblait causée par la foudre tombant du ciel. » Ce récit est confirmé par les auteurs chinois. — Quant aux compositions d'artifices des Chinois, Marco Polo n'en fait qu'une simple mention dans la description du Tibet : « Ces gens-là, dit-il en parlant des indigènes, sont nécromanciens, et, grâce à leur art infernal, ils exécutent les maléfices les plus extraordinaires et les plus trompeurs qu'on puisse imaginer. Ils soulèvent la tempête avec des sillonnements d'éclairs et des coups de tonnerre, et produisent beaucoup d'autres choses merveilleuses. »

Si les Chinois avaient réellement découvert la poudre, on s'expliquerait difficilement la stupéfaction profonde où tombèrent, d'après Du Halde, les mandarins qui assistaient aux expériences exécutées à Pékin avec trois canons, lorsque la ville de Macao fit présent à l'Empereur de Chine de ces pièces d'artillerie accompagnées de leurs équipages (1624); on ne comprendrait pas non plus pourquoi, d'après le même auteur, l'Empereur aurait prié le jésuite Adam Schaal de donner aux Chinois des instructions sur la construction des armes à feu.

Ce qui revient incontestablement aux Chinois, c'est la découverte du salpêtre et son emploi dans les artifices. Les premiers, ils ont mélangé ce corps au soufre et au charbon; ils ont reconnu la force

motrice qui pouvait résulter de la combustion du mélange et l'ont utilisée pour leurs flèches incendiaires. Telle fut l'origine des fusées.

Les Indiens n'ont pas davantage découvert la poudre. Sans parler de la fable d'après laquelle Alexandre le Grand aurait été canonné par les Indiens, le passage d'Apollonius de Thyane où il est dit que les Brahmanes lançaient sur leurs ennemis les éclairs et le tonnerre, *ερασηρας και βροντας*, laisse le champ trop libre à l'interprétation pour qu'on en puisse tirer une conclusion certaine. Mais on a cru trouver des preuves plus sérieuses dans deux extraits des Codes indiens, dont une partie a été traduite en anglais sous le titre suivant : *A Code of Gentow laws*; cette traduction, due à Halhed, fut faite vers 1775 par ordre du gouverneur général du Bengale, Warren Hastings.

Dans ce Code, au chapitre intitulé *Des attributs nécessaires de l'autorité*, on lit : « L'autorité ne doit pas faire la guerre avec des engins déloyaux, ou avec des armes empoisonnées, ou avec des canons et des fusils, ou avec toute autre espèce d'armes à feu. » — Au chapitre *De l'intérêt*, on lit encore : « Si des herbes sèches, du bois à brûler, des tuiles, ou des feuilles, ou des objets en cuir, ou des os, ou des sabres, des épées, des poignards, des mousquets ou autres engins militaires de même espèce, sont pris à crédit et ne sont pas payés au bout de cinquante mois, il ne sera dû aucun intérêt, à moins de convention spéciale. »

Au mot Canon, le sanscrit porte *çata-ghna*, et au mot Mousquet *agni-astra*. Or, d'après une communication que nous devons au professeur Windisch, ces deux mots sont bien sanscrits, mais ils ont été créés artificiellement pour désigner des objets dont il n'est fait aucune mention dans la véritable littérature sanscrite. *Agni-s* (lat. *igni-s*) signifie feu, et *astra* arme de jet, projectile, flèche, de sorte que *agni-astra* veut dire mot à mot projectile à feu, flèche incendiaire. De même, *çata* signifie cent (*ἑκατον*, centum), *ghna* tuant; et *çata-ghna* désigne simplement une arme meurtrière quelconque.

Les deux passages cités plus haut perdent donc toute valeur au point de vue qui nous occupe. Si d'ailleurs les Indiens avaient connu la poudre, les habitants du Mozambique n'auraient pas été frappés d'une telle épouvante par la détonation des pièces d'artillerie de Vasco de Gama (1497); ils se trouvaient, en effet, vers cette époque, en relations suivies avec les Indiens, à tel point que toute

la côte orientale de l'Afrique, depuis Madagascar jusqu'à Aden, était peuplée de Malais. Ce dernier fait est mis en évidence par l'existence sur cette côte du *ficus religiosa*, dont l'origine est indienne et que les Bouddhistes transplantèrent partout où ils répandirent leur religion, et aussi par un grand nombre de termes malais qui se retrouvent encore aujourd'hui dans les idiomes de l'Afrique orientale, comme l'a tout récemment constaté Livingstone.

En avançant encore vers l'ouest, on trouve les Arabes, à qui la découverte de la poudre est également attribuée.

Les anciens auteurs arabes parlent aussi de mélanges inflammables; mais jusqu'au XIII^e siècle, comme l'a montré Reinaud, aucune de ces compositions ne contenait de salpêtre. C'est seulement vers cette époque qu'on rencontre un mélange de salpêtre, de soufre et de charbon, emprunté, suivant toute vraisemblance, aux Chinois. Les Arabes ne s'en tinrent pas là; ils observèrent la combustion du mélange et arrivèrent ainsi à la notion de sa force balistique; en d'autres termes, ils découvrirent la poudre.

La preuve de ce fait est contenue dans un manuscrit arabe trouvé à la Bibliothèque de Saint-Pétersbourg par Reinaud et Favé (*). La publication de Reinaud n'exprimant pas le sens exact de l'original, nous allons en donner une traduction rigoureuse, que nous devons au professeur Fleischer.

« Description du mélange que l'on fait dans le medfaa. Composition normale :

10	drachmes de salpêtre,
2	» de charbon,
1 1/2	» de soufre (**).

« Le mélange est broyé en poudre fine et l'on en remplit le tiers du medfaa, mais pas plus; autrement il ferait sauter (le medfaa). On fait faire au tour un (second) medfaa en bois ayant pour diamè-

(*) *Journal asiatique*, série 4, vol. XIV, p. 310. — Lorsque Alexandre de Humboldt fit paraître la seconde partie du *Cosmos*, ce manuscrit n'avait pas encore été publié; on s'explique ainsi que Humboldt refuse aux Arabes le mérite de la découverte de la poudre (*Cosmos*, 2^e partie, vol. II, p. 237).

(**) Ce dosage se rapproche du dosage anglais actuel; il correspond à 74,07 de salpêtre, 11,11 de soufre et 14,82 de charbon.

tre l'ouverture du (premier) medfaa, on l'y enfonce (le second) en frappant fortement, on place dessus la balle (bondoc) ou la flèche et l'on met le feu à l'amorce. On donne au (second) medfaa la mesure exacte jusqu'au-dessous du trou (*); s'il descend plus bas, le tireur reçoit un coup dans la poitrine. Qu'on y fasse attention. »

Reinaud cite un second passage du même manuscrit, mais il le traduit encore d'une manière défectueuse; il n'y est nullement question de la poudre. Nous donnerons, d'après Fleischer, la traduction exacte de ce passage, qui sert d'explication au précédent en indiquant la préparation du medfaa.

« Chapitre d'une lance qui, si l'on vise exactement l'ennemi, envoie une flèche qui lui transperce la poitrine.

« Cela se fabrique ainsi: on prend une barre ayant la forme d'une lance et on la creuse sur toute sa longueur, à l'exception de 4 pouces (à la partie inférieure), en se servant d'un fort vilebrequin; on fait ainsi un medfaa. On fabrique ensuite un medfaa-flèche d'après le diamètre de ce trou longitudinal; mais ce second medfaa doit être en fer. Puis on perce un trou fin sur le côté de la lance et un trou semblable dans le medfaa-flèche; on se procure une corde de soie, et on la fixe solidement au trou du medfaa-flèche en la passant dans le trou de la lance. Enfin on adapte à la lance une pointe creusée de bas en haut. Si maintenant on frappe un coup avec la lance, le medfaa-flèche projette la flèche par la violence du choc: le medfaa tire la corde après lui, mais celle-ci tient solidement le medfaa et l'empêche de sortir de la lance avec la flèche. Si l'on est à cheval, il faut toujours laisser reposer la lance sur (la partie supérieure de) la selle, pour que la flèche ne puisse pas tomber. »

Le mot « medfaa » a une signification étymologique: « propulso-rium, projectorium ». Il est clair que la corde de soie ne doit avoir qu'une longueur déterminée et être fixée à la partie postérieure de la lance.

Comme « medfaa » a pris plus tard la signification de canon, on a cru que les Arabes s'étaient servis de pièces d'artillerie immédiatement après la découverte de la poudre. Cela ne résulte pas des passages cités, car l'instrument décrit n'est autre que notre fusil mo-

(*) C'est-à-dire: on donne à cette sorte de bourre en bois une longueur telle qu'elle descende exactement jusqu'au-dessous du trou de lumière.

derne à l'état embryonnaire, se composant d'un tube avec un trou de lumière. Le mot « bondoc », qui signifie noisette (*nux pontica*), peut nous renseigner sur le diamètre de l'ouverture : la balle placée sur le second medfaa en fer avait le diamètre d'une grosse noisette, ce qui exclut complètement l'idée de canon.

Quant au lieu et à l'époque de l'invention, le manuscrit n'en parle pas ; mais Reinaud et Favé croient pouvoir conclure de l'ensemble du récit et des dessins extrêmement imparfaits qui l'accompagnent, que la découverte a été faite en Égypte ou en Syrie, dans les premières années du xiv^e siècle.

Cependant, où en étaient les nations occidentales ? S'il est certain que les Arabes connaissaient au xiv^e siècle la force balistique de la poudre, cela n'exclut pas l'hypothèse d'une marche simultanée et indépendante de l'Europe dans la même voie. Priestley et Scheele découvrirent presque en même temps l'oxygène, sans que l'un eût connaissance des travaux de l'autre. D'ailleurs, on ne peut rayer de l'histoire de la découverte de la poudre, sans plus ample examen, des noms tels que Marcus Græcus, Albert le Grand, Roger Bacon et Berthold Schwarz ; on nous permettra de nous y arrêter un instant.

Marcus Græcus dit, à la page 6 de son *Liber ignium ad comburendos hostes* :

« Re. Acc. li. I sulfuris vivi ; li. II carbonum tilliæ vel salicis ; li. VI salis petrosi, quæ tria sublimissime terantur in lapide marmoreo. Postea pulverem ad libitum in tunica reponatis volatili vel tonitruum faciente. Nota, tunica ad volandum debet esse gracilis et longa et cum prædicto pulvere optime conculcato repleta. Tunica vero tonitruum faciens debet esse brevis et grossa et prædicto pulvere semiplena et ab utraque parte fortissime filo ferreo bene ligata. »

Ce passage parle de deux sortes de gargousses, l'une « tunica ad volandum », l'autre « tunica tonitruum faciens », contenant une composition qui se rapproche beaucoup de notre poudre actuelle. La « tunica ad volandum » n'est autre qu'une fusée fort imparfaite dont les matières étaient impures, car sans cela le mélange se serait brûlé avec une rapidité beaucoup trop grande pour le but qu'on se proposait. Quant à la « tunica tonitruum faciens », qui produisait à peu près notre coup de canon, on peut s'expliquer la violence de la détonation en remarquant que la gargousse, qu'on remplissait de poudre jusqu'à moitié seulement, était très-épaisse et attachée sur

les deux côtés avec du fil de fer, en sorte que les gaz dégagés rencontraient une certaine résistance et rompaient l'enveloppe avec force, en produisant un craquement « semblable à celui du tonnerre ».

Comme on le voit, il ne s'agit en aucune façon de la force propulsive de la poudre; on peut en dire autant des autres prescriptions de Marcus Græcus. Toutes celles qui se rapportent à des mélanges de différents corps combustibles n'ont qu'un but, porter chez l'ennemi le feu et la terreur. Cela résulte d'ailleurs suffisamment du titre même de l'ouvrage.

Le traité de Marcus Græcus n'a donc aucune valeur au point de vue technique; ce qui lui donne un certain intérêt, ce sont les discussions qui se sont élevées au sujet de son origine. Les uns le font paraître au VIII^e siècle, les autres au IX^e, d'autres encore au XI^e, etc. Or, il est facile de voir que Marcus Græcus a recouru à des sources arabes : témoin, aux pages 1, 2, 4, le mot « alkitran » (goudron), à la page 7 « zambac » (lis blanc, importé de Perse par les Arabes), et à la page 12 « alambic » (appareil de distillation, importé également de Perse). On a vu plus haut que les Arabes n'introduisirent le salpêtre dans leurs différents mélanges inflammables que vers l'année 1225. Le traité de Marcus Græcus ne peut donc être antérieur à 1225; il ne peut pas être non plus bien postérieur à cette date, car Albert le Grand, qui, d'après Martin Crusius, mourut en 1280, se servit de l'ouvrage de Marcus Græcus.

Albert le Grand dit, en effet, dans le *De mirabilibus mundi i. f.* :

« Ignis volans : accipe libram unam sulphuris, libras duas carbonum salicis, libras sex salis petrosi : quæ tria sublimissime terantur in lapide marmoreo, postea aliquid posterius ad libitum in tunica de papyro volanti vel tonitruum faciente ponatur. Tunica ad volandum debet esse longa, gracilis, pulvere illo optime plena, ad faciendum vero tonitruum brevis, grossa et semiplena. »

Ces prescriptions concordent à peu près textuellement avec celles de Marcus Græcus; les légères modifications qu'Albert le Grand a cru devoir y apporter ne paraissent destinées qu'à sauvegarder son originalité. En outre, les renseignements qu'il donne sur le feu grégeois, certains termes tels qu'alambic, etc., démontrent surabondamment qu'Albert le Grand connaissait le *Liber ignium ad comburendos hostes*. Nous sommes donc autorisé à passer immédiatement à Roger Bacon qui, d'après Plot, découvrit la poudre à Oxford.

Plot cite à l'appui de son opinion deux passages tirés des écrits de Bacon.

« On peut produire dans les airs, dit cet auteur, du tonnerre et des éclairs beaucoup plus violents que ceux de la nature. Il suffit d'une petite quantité de matière de la grosseur du pouce pour produire un bruit épouvantable et des éclairs effrayants. On peut détruire ainsi une ville et une armée. C'est un vrai prodige pour qui ne connaît pas parfaitement les substances et les proportions nécessaires. » La composition de la matière n'est indiquée nulle part; le passage signalé au chap. VIII : « Sed tamen salis petræ luru vopo vir can utri et sulphuris », n'est qu'une anagramme. Bacon remarque, en effet, au début de ce chapitre, qu'il faut dérober la science au vulgaire parce que le vulgaire se moque des savants.

Bacon dit encore que « certaines choses ébranlent l'ouïe si violemment que, si on les emploie subitement, pendant la nuit et avec une habileté suffisante, il n'y a ville ni armée qui puissent y résister. Le fracas du tonnerre n'est rien en comparaison, et les éclairs des nuages sont loin de produire une pareille épouvante. On en a un exemple dans ce jouet d'enfant très-répandu, qui se compose d'un sac en parchemin assez épais de la grosseur du pouce et contenant du salpêtre : la violence de l'explosion produit un craquement plus formidable que les roulements du tonnerre, et un éclat qui efface les éclairs les plus puissants. »

Tels sont les deux passages où l'on a voulu voir tant de choses et qui, en réalité, contiennent si peu.

Bacon connaissait sans doute des mélanges détonants, composés de salpêtre et de quelques autres substances. Mais les termes d'admiration et d'étonnement dont il se sert prouvent de la manière la plus évidente que ces phénomènes étaient absolument nouveaux pour lui; son contemporain Joinville emploie identiquement les mêmes expressions quand il décrit les effets du feu grégeois pendant le combat de saint Louis contre les Mamelouks. En outre, la mention que fait Bacon du jouet d'enfant, lequel n'est autre que la « tunica tonitruum faciens » de Marcus Græcus, semble indiquer qu'il ignorait encore la force balistique de la poudre; tout au moins n'en parle-t-il pas dans ses écrits : on peut donc lui appliquer ce que nous avons dit plus haut de Marcus Græcus.

Nous arrivons enfin à Berthold Schwarz.

On n'a pas encore de données précises sur la personne, le lieu et la date de la naissance de ce prétendu moine franciscain. Le nom même a subi des transformations étonnantes. Dans les vieilles chroniques allemandes, on rencontre presque toujours, il est vrai, un Berthold Schwarz ou un Anklitzen, de Fribourg, et le livre des arquebusiers fribourgeois de 1424 désigne également Berthold Schwarz comme l'inventeur de la poudre; mais d'autres chroniques citent le juif Tibseles, un Altiral de Prague, et les chroniques silésiennes indiquent le moine Severinus. L'époque n'est pas mieux déterminée; les principales dates que l'on a données sont 1259, 1320 et 1334. De même pour les circonstances de la découverte. Ainsi Malleolotus (Hämmerlein), chantre à Zürich, qui écrivit, vers 1450, un livre intitulé *De nobilitate et rusticitate*, dit au chap. xxx : « Berthold Niger (Schwarz) avait, en sa qualité d'alchimiste, le dessein de solidifier le mercure et de lui donner la dureté de l'argent. A cet effet, il mélangea le mercure avec du soufre et du salpêtre, enferma le mélange dans un pot en cuivre, chauffa fortement, et fut frappé d'épouvante quand le vase vola en éclats avec un bruit effroyable. Il varia ses essais et arriva ainsi à la découverte de la poudre. » Hämmerlein indique la date de 1259. D'après d'autres auteurs, Schwarz avait voulu préparer une couleur d'or au moyen de salpêtre, de soufre, de plomb et d'huile; le vase métallique dans lequel il faisait bouillir le mélange ayant éclaté à deux reprises différentes, il avait remplacé le plomb et l'huile par le charbon et cherché à lancer des pierres avec la nouvelle substance. — Le dosage primitif se composa probablement de parties égales de salpêtre et de soufre, avec un peu moins de charbon.

Ces documents prouvent certes assez peu en faveur de Berthold Schwarz, mais ils montrent jusqu'à l'évidence que la croyance était généralement répandue, en Allemagne, qu'un moine y découvrit la poudre vers le commencement du xiv^e siècle. L'existence de cette croyance populaire se trouve confirmée dans les *Annales de la ville de Gand*, où l'on peut lire, à la date de 1313 : « Item, in dit jaer was aldereerst ghevonden in Duutschland het ghebrunk des bussen van einem mueninck. » Il s'agit de l'invention de la carabine par un moine, ce qui implique l'usage de la poudre. On objectera, sans doute, que ce moine pouvait avoir eu déjà connaissance de la poudre par l'intermédiaire des Arabes; toutefois, si l'on considère la différence si essentielle dans le dosage des substances et les circonstances

mêmes de la découverte, qui caractérisent d'une façon si frappante la manière des anciens alchimistes, on admettra sans invraisemblance que la poudre fut découverte en Allemagne, indépendamment des Arabes, au commencement du XIV^e siècle.

L'usage de la poudre se répandit peu à peu chez les différentes nations, sans que l'on puisse préciser les dates.

Le premier document français qui fasse mention de la poudre est une note présentée en 1338 à la Chambre des comptes par le commissaire des guerres, Barthélemy de Drach, lequel fait dépense d'une somme déterminée « pour avoir poudres et autres choses nécessaires aux canons qui étoient devant Puy Guillaume ». Mais la poudre tenait encore bien peu de place dans l'art de la guerre. Brantôme l'accuse de « faire plus de bruit que de besogne ». En outre, les préjugés religieux et chevaleresques s'opposaient aux progrès d'un art qui était, au dire des chroniques silésiennes, « le destructeur de l'héroïsme ».

Pour l'Allemagne, on est certain qu'il y eut des poudreries à Augsbourg dès 1340, à Spandau dès 1344 et à Liegnitz dès 1348; en 1360, l'hôtel de ville de Lübeck brûla par la négligence de ceux « qui pulveres pro bombardis parabant ».

Pour l'Italie, il résulte d'un document authentique du 11 février 1326, découvert par Libri à Florence, il y a une trentaine d'années, qu'on fabriqua dans cette ville, en 1326, des canons métalliques et des boulets en fer forgé.

L'italien Villani affirme que les Anglais se servirent de canons et de boulets en fer à la bataille de Crécy (1346); les auteurs français et anglais n'en parlent pas.

En Russie, d'après la Chronique de Golizyn, citée par Karamsin dans son *Histoire de l'Empire russe*, on s'est servi d'armes à feu pour la première fois en 1389.

En Suède, la poudre ne fut guère connue que vers 1400.



SECTION I.

LES MATIÈRES PREMIÈRES.

CHAPITRE I.

SALPÊTRE.

§ I.

GÉNÉRALITÉS.

I. HISTORIQUE.

Le produit que les anciens désignaient sous le nom de *nitrum* était essentiellement différent de celui que nous appelons *nitre* ou *salpêtre*. Suivant toute vraisemblance, cette expression se rapportait à un carbonate de soude naturel, et non au salpêtre proprement dit, dont les propriétés ne se trouvent mentionnées dans aucun des ouvrages que nous a laissés l'antiquité; et cependant certaines de ces propriétés, comme celle de fuser sur les charbons, sont si faciles à constater qu'elles auraient forcément attiré l'attention, si le corps qui les possède avait été connu. Ce n'est qu'au VIII^e siècle, dans les ouvrages de Geber et de Marcus Græcus, que se trouve signalé pour la première fois, sous les dénominations de *sal petræ* et *sal petrosum*, un corps dont les propriétés sont incontestablement celles du salpêtre. Les premières notions sur ce corps paraissent avoir pénétré d'Orient en Europe, en même temps que la poudre, par l'intermédiaire des Arabes (p. 7). A une époque plus rapprochée de nous, le salpêtre fut considéré comme une variété du *nitrum* des anciens, par suite d'une certaine analogie de provenance (efflorescence à la sur-

face du sol); au xiii^e siècle, Raymond Lulle le désigne sous le nom de *sal nitri*, et, au xvi^e, Agricola l'appelle *halinitrum*. C'est à partir du commencement du xvii^e siècle que le mot *nitrum* fut pris, assez improprement d'ailleurs, dans le sens qu'il a conservé jusqu'à notre époque.

On désigne aujourd'hui sous le nom de *salpêtres* les combinaisons que forme l'acide azotique avec diverses bases et dont les plus importantes, au point de vue pratique, sont les nitrates de potasse et de soude : le premier constitue le *salpêtre* proprement dit ; le second prend, dans le commerce, le nom de *salpêtre du Chili*.

II. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DU SALPÊTRE.

Le salpêtre est un corps blanc, qui cristallise en prismes à six pans terminés par des pyramides à six faces ; les cristaux sont agglomérés et ne contiennent pas d'eau de cristallisation ; ils ne sont pas déliquescents quand ils sont parfaitement purs.

La densité du salpêtre à 0° est de 2,1.

Le salpêtre fond à 338°, d'après Schaffgotsch, à 339°, suivant Persoz. Sa structure est alors modifiée : il devient élastique et difficile à triturer.

La température d'ébullition d'une dissolution saturée d'azotate de potasse est de 118°.

Le salpêtre fuse sur des charbons rouges ; à température élevée, il se décompose en potasse, azote et oxygène. Si on le mélange avec du soufre et qu'on chauffe en vase clos, il se produit une déflagration violente à 432° ; si l'on ajoute du charbon, on constitue une véritable poudre.

Le salpêtre est insoluble dans l'alcool. Il est très-soluble dans l'eau, et sa solubilité augmente rapidement avec la température, comme le montre le tableau suivant :

TEMPÉRATURE.	PARTIES D'EAU nécessaires pour dissoudre 1 partie de salpêtre.	PARTIES DE SALPÊTRE dissoutes à saturation dans 100 parties d'eau.	OBSERVATEURS.
0°	7,5	13,33	Bunsen et Kirchoff.
3,2	6,21	16	Id.
10	4,0	25	Id.
16	3,9	25,64	Riffault.
18	3,45	28,65	Gay-Lussac.
	3,4		Karsten.
	3,62		Longchamp.
45	1,34	74	Gay-Lussac.
97	0,424	238	Id.
100	0,25	400	Id.

La présence du chlorure de sodium augmente sensiblement la solubilité du salpêtre dans l'eau; cette circonstance résulte sans doute d'une décomposition mutuelle des deux sels en présence. D'après Karsten, une solution saturée de chlorure de sodium peut dissoudre à 19° une plus grande quantité de salpêtre que l'eau pure. Longchamp a fait à ce sujet quelques expériences résumées dans le tableau suivant :

Parties de chlorure de sodium mélangées avec 78,37 parties d'eau à 18°.	0	5	10	15	20	25	26,85
Parties de salpêtre dissoutes.	21,63	22,37	22,90	23,29	23,46	24,21	24,85
Densité des dissolutions.	1,1510	1,1671	1,2212	1,2523	1,2832	1,3096	1,3290

En général, les sels qui, comme les chlorures de sodium, de calcium, de magnésium, etc., n'ont aucun élément commun avec le nitrate de potasse, facilitent la dissolution de ce sel. Au contraire, ceux qui ont un élément commun avec lui, tels que le chlorure de potassium ou le nitrate de soude, diminuent sa solubilité; il est à remarquer que la dissolution dans l'eau de ce dernier genre de sels produit un refroidissement notable.

III. THÉORIE DE LA NITRIFICATION.

L'acide azotique et les nitrates peuvent se former, dans la nature, soit directement par l'oxydation de l'azote de l'air, soit par la décomposition de l'ammoniaque. Nous examinerons successivement ces deux modes de formation (*).

a) Par l'azote de l'air.

La présence de l'acide azotique dans l'atmosphère a été constatée depuis longtemps et par un grand nombre d'observateurs. Il pénètre dans le sol entraîné par l'eau de pluie, les grêlons, etc. En outre, Cavendish a démontré (1783) que l'étincelle électrique détermine la combinaison des gaz azote et oxygène; mais, d'après Schönbein, le produit direct de cette combinaison serait de l'acide hypoazotique AzO^h dans une atmosphère sèche, ou de l'acide azoteux AzO^s en présence de l'humidité ou d'une solution alcaline, ces deux acides se transformant ultérieurement en acide nitrique AzO^a .

On admettait autrefois que l'azote se transformait directement en acide nitrique, lequel se combinait ensuite aux bases alcalines ou autres contenues dans le sol; cette explication, formulée d'abord par Mayou (1669), puis par Lemery (1675), est aujourd'hui complètement abandonnée. On doit à Schönbein une théorie de la nitrification d'après laquelle l'acide azoteux se produirait continuellement dans la nature, principalement sous forme d'azotite d'ammoniaque et par l'influence de causes générales qui s'étendent à tous les lieux. Voici les points essentiels de cette théorie.

D'après Schönbein, certains phénomènes d'oxydation ou de combustion déterminent la transformation de l'oxygène en ozone, et, sous l'influence de cet ozone, l'azote se combine avec les éléments de l'eau en vertu de la formule



Il se produit donc de l'azotite d'ammoniaque, qui peut d'ailleurs, par l'action ultérieure de l'ozone, donner un azotate. C'est ainsi que l'étincelle électrique ne donne directement que de l'ozone. De

(*) Knapp, *Chimie technologique*, t. II, p. 108 sqq.

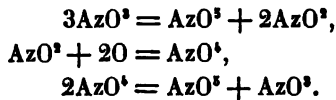
même, les fumées blanches que le phosphore émet à l'air sont surtout formées d'azotite d'ammoniaque dû à l'ozone que produit l'oxydation du phosphore. Si on laisse de l'eau s'évaporer goutte à goutte dans un vase de métal ou d'argile, chauffé à une température élevée, mais inférieure au rouge, les vapeurs condensées donnent presque toujours les réactions caractéristiques de l'acide nitreux et de l'ammoniaque; si l'on ajoute à l'eau un peu de potasse, on trouve, après une évaporation prolongée, de l'azotite de potasse dans la liqueur. En évaporant simplement de l'eau à une température comprise entre 40° et 70°, le résidu contient, au bout d'un certain temps, de l'acide azoteux. Si l'on mouille du papier buvard, de la toile, du sable pur, etc., qu'on laisse sécher ces matières à l'air, à la température ordinaire, et qu'on les reprenne ensuite par l'eau, on obtient un liquide qui bleuit l'iodure de potassium amidonné, avec une intensité d'autant plus grande que la quantité d'eau évaporée a été plus considérable, surtout si les matières employées renferment un alcali ou de la chaux. Enfin, d'après Schönbein et Böttger, l'azotite d'ammoniaque se formerait également dans la combustion du bois, de l'huile, de l'esprit-de-vin, du gaz d'éclairage exempt d'ammoniaque, etc. De même, la combustion de l'hydrogène dans l'oxygène, mélangé à une petite quantité d'air, donne de l'acide nitreux, et l'on peut dans ce cas, d'après Kolb, observer la formation de vapeurs rouges d'acide hypoazotique.

Il résulte des expériences de Meissner et de Zabelin que l'acide azoteux et l'ammoniaque se forment presque toujours en même temps, mais que cette simultanéité ne se produit pas nécessairement. C'est ainsi que l'un ou l'autre de ces deux corps peut faire complètement défaut ou, au contraire, prédominer, suivant les conditions de température.

Les alcalis et les carbonates alcalins, après avoir été exposés quelque temps à l'air, donnent les réactions caractéristiques de l'acide azotique, non-seulement parce qu'ils absorbent celui qui est contenu dans l'air, mais encore, d'après Schönbein, parce que la présence de ces sels alcalins a pour résultat de rendre plus énergique l'action oxydante de l'ozone de l'air sur l'azote. En faisant passer sur du potassium ou de la potasse pure 7 000 à 8 000 litres d'air humide ozonisé par le phosphore et débarrassé préalablement de toute matière organique azotée par l'acide sulfurique, Lucca a obtenu des quantités d'azotate de potasse telles qu'il a pu faire cristalliser ce sel. De

même, Cloëz a obtenu de l'acide azotique en faisant passer pendant six mois de l'air purifié par l'acide sulfurique sur des matières poreuses; le résultat était surtout sensible avec des fragments de poteries et de la pierre ponce imbibés d'une dissolution de carbonate de potasse; on n'obtenait plus que des traces d'acide avec des mélanges de kaolin, de craie et d'argile marneuse; enfin, on n'obtenait plus rien avec l'argile et les os calcinés. Le phénomène atteignait donc son maximum d'intensité en présence des alcalis, avait encore une certaine intensité avec la chaux et ne se produisait plus lorsque ces deux genres de corps faisaient défaut.

En résumé, il se produit, en tout temps comme en tout lieu, sous l'action des forces naturelles et par l'oxydation de l'azote de l'air, de petites quantités d'acide azoteux, d'acide hypoazotique et d'azotite d'ammoniaque. L'acide azoteux se décompose, au contact de l'eau, en acide azotique et bioxyde d'azote; puis le bioxyde d'azote, au contact de l'air, se transforme en acide hypoazotique. L'acide hypoazotique, au contact de l'eau, produit de l'acide azotique et de l'acide azoteux, puis ce dernier régénère l'acide hypoazotique, et ainsi de suite. Ces diverses réactions sont représentées par les formules suivantes :



Enfin l'azotite d'ammoniaque fourni par l'atmosphère au sol, en même temps que l'acide azotique, agit par double décomposition sur les carbonates alcalins et terreux; une oxydation ultérieure transforme en azotates les azotites dus à cette décomposition. — A l'appui de sa théorie, Schönbein fait remarquer que les azotates naturels renferment presque toujours des traces d'azotites. Dans dix-neuf analyses de matières d'étables à vaches, Goppelsröder a trouvé quatorze fois des azotites à côté des azotates. On a également constaté la présence d'une petite quantité d'acide azoteux dans le salpêtre du Chili.

b) Par la décomposition de l'ammoniaque.

Quand les substances organiques complexes, les matières albuminoïdes, végétales ou animales, par exemple, se détruisent par la pu-

tréfaction, l'azote et l'hydrogène qu'elles dégagent se combinent pour former de l'ammoniaque, qui se répand dans l'atmosphère pour être de nouveau assimilée par les plantes et les animaux. Cette ammoniaque, qui se trouve ainsi partout dans la nature, est continuellement soumise à des influences oxydantes que nous allons indiquer. Le rôle des substances azotées, considérées comme source d'ammoniaque et par suite d'acide azotique, a été contesté à tort par Longchamp (1823), qui a prétendu que l'azote et l'oxygène de l'air se combinaient directement sous l'influence de l'humidité, des sels alcalins et des corps poreux; Kuhlmann n'a obtenu aucune trace d'acide nitrique, soit en faisant passer un mélange d'azote et d'oxygène dans un tube de verre sur de la mousse de platine chauffée au rouge, soit en soumettant de l'azote sec ou humide à l'action d'oxygène naissant dégagé par du peroxyde de manganèse.

La décomposition de l'ammoniaque est singulièrement facilitée par l'action simultanée de la température et d'un corps poreux. Si l'on fait passer un mélange d'ammoniaque et d'air sur de la mousse de platine chauffée à 300°, cette mousse devient rouge, et il se dégage des vapeurs d'acide hypoazotique et même d'acide azotique, si la température n'est pas trop élevée, en vertu de la formule



Si le tube de porcelaine ne contenait pas de mousse de platine, il se formerait encore de l'acide hypoazotique et un peu de bioxyde d'azote; mais la décomposition serait beaucoup moins rapide et beaucoup plus faible. On peut substituer à l'ammoniaque, dans ces expériences, des vapeurs de carbonate et de chlorhydrate d'ammoniaque.

L'action de l'oxygène naissant détermine également la décomposition de l'ammoniaque ou des sels ammoniacaux. On peut ainsi obtenir de l'acide nitrique, soit en faisant passer du gaz ammoniac sur du peroxyde de manganèse chauffé, soit en traitant le sulfate d'ammoniaque par un mélange d'acide sulfurique avec du bichromate de potasse, ou du peroxyde de manganèse, ou encore du bioxyde de baryum, soit enfin, comme l'a fait Kuhlmann, au moyen du sulfhydrate d'ammoniaque et du bioxyde de plomb.

La présence des bases alcalines ou terreuses paraît favoriser l'oxydation de l'ammoniaque. En faisant passer à 100° un mélange de gaz ammoniac et d'air sur de la craie imbibée avec une dissolution de

1° L'air dissous dans l'eau est plus riche en oxygène que l'air de l'atmosphère; en chauffant une dissolution de ce genre pour chasser l'air, Gay-Lussac a reconnu que l'air recueilli dans la dernière période de l'opération contenait 34,8 p. 100 d'oxygène. L'eau qui pénètre dans le sol et dans les matières poreuses, en y introduisant à la fois de l'ammoniaque et de l'air dissous, est donc éminemment favorable à la formation de l'acide nitrique.

2° Cette formation s'effectue très-rapidement aux températures élevées et se ralentit beaucoup dans le voisinage du point de congélation de l'eau.

3° L'influence des corps poreux s'explique par l'absorption simultanée de l'ammoniaque, de l'air et de l'eau.

4° L'acide azotique se forme de préférence en présence de la chaux caustique, des carbonates de chaux et de magnésie, et surtout des carbonates de potasse et de soude. L'ammoniaque joue ainsi un double rôle : une partie se transforme en acide nitrique qui se combine à l'autre partie non attaquée; puis l'azotate d'ammoniaque ainsi produit agit par double décomposition sur les carbonates alcalins ou autres contenus dans le sol.

5° L'humus, qui est constitué par les débris des végétaux en putréfaction et qui tend constamment à se transformer, par l'absorption de l'oxygène de l'air, en acide carbonique et en eau, doit, d'après Millon, exercer sur l'oxydation de l'ammoniaque une action analogue, quoique d'une intensité moindre, à celle du cuivre et du phosphore dans les expériences précédemment décrites.

§ II.

EXTRACTION DU SALPÊTRE BRUT.

Les matières premières qui servent à la production du salpêtre sont le plus ordinairement des terres ou des roches imprégnées d'azotates. Dans les climats tempérés, ces sels sont à bases terreuses, tandis que, dans les pays chauds, ils sont à bases alcalines. Le salpêtre, se formant sous l'influence de causes permanentes, se produit, au bout d'un certain temps, dans les parties où il a été déjà recueilli.

potasse caustique, Damas a obtenu rapidement de grandes quantités de salpêtre. — La réaction se produit de même, mais plus lentement, à la température ordinaire : si on laisse un mélange de gaz ammoniac et d'air en contact avec un lait de chaux, dans la saison d'été, on peut constater, au bout de six semaines environ, la transformation de l'ammoniaque en acide azotique. — En 1775, l'Académie des sciences créa, sur la proposition de Turgot, un prix destiné au meilleur traité sur la formation et la production du salpêtre; la Commission de l'Académie, dans son rapport sur le concours, signala les deux expériences suivantes. 1° Dans un panier percé de trous et au-dessus de sang en putréfaction, on avait placé de la craie préalablement débarrassée, par un lavage fait avec soin, de toutes ses parties solubles; au bout de quelques mois, on avait pu retirer de la craie 2,5 p. 100 d'azotate de chaux, lequel provenait évidemment de l'oxydation de l'ammoniaque produite par la décomposition du sang. 2° Du mortier, purifié par plusieurs lavages à l'eau bouillante et exposé dans une assiette à l'action de l'atmosphère d'une étable, pendant la saison d'été, ne présentait aucun changement durant les 13 premiers jours; mais, au bout de 21 jours, il renfermait une assez forte proportion d'azotites et d'azotates.

Enfin, en présence de certains corps, il se produit, à la température ordinaire, une oxydation simultanée de ces corps et de l'ammoniaque. Si l'on mouille avec de l'ammoniaque du cuivre très-divisé ou de la tournure de cuivre, il ne tarde pas à se former, sous l'action de l'air, des vapeurs blanches dans lesquelles on trouve, d'après Schönbein, de l'azotite d'ammoniaque; en même temps, le liquide prend une couleur bleue et l'on y rencontre, d'après Schönbein et Tuttle, en dehors de l'ammoniaque et de l'oxyde de cuivre, une assez grande quantité d'acide azotique. — Si l'on met dans un grand vase en verre une dissolution ammoniacale très-étendue et un morceau de phosphore qui ne soit qu'incomplètement immergé, le phosphore s'oxyde, en même temps que l'ammoniaque se transforme en acide azotique.

En résumé, l'ammoniaque fournie et fixée par les matières organiques se trouve soumise à une décomposition continuelle sous des influences diverses, dont les principales sont : l'humidité, la température, les corps poreux, la présence des bases alcalines ou terreuses et celle de l'humus en putréfaction. Ces influences se manifestent dans les conditions suivantes :

1° L'air dissous dans l'eau est plus riche en oxygène que l'air de l'atmosphère; en chauffant une dissolution de ce genre pour chasser l'air, Gay-Lussac a reconnu que l'air recueilli dans la dernière période de l'opération contenait 34,8 p. 100 d'oxygène. L'eau qui pénètre dans le sol et dans les matières poreuses, en y introduisant à la fois de l'ammoniaque et de l'air dissous, est donc éminemment favorable à la formation de l'acide nitrique.

2° Cette formation s'effectue très-rapidement aux températures élevées et se ralentit beaucoup dans le voisinage du point de congélation de l'eau.

3° L'influence des corps poreux s'explique par l'absorption simultanée de l'ammoniaque, de l'air et de l'eau.

4° L'acide azotique se forme de préférence en présence de la chaux caustique, des carbonates de chaux et de magnésie, et surtout des carbonates de potasse et de soude. L'ammoniaque joue ainsi un double rôle : une partie se transforme en acide nitrique qui se combine à l'autre partie non attaquée; puis l'azotate d'ammoniaque ainsi produit agit par double décomposition sur les carbonates alcalins ou autres contenus dans le sol.

5° L'humus, qui est constitué par les débris des végétaux en putréfaction et qui tend constamment à se transformer, par l'absorption de l'oxygène de l'air, en acide carbonique et en eau, doit, d'après Millon, exercer sur l'oxydation de l'ammoniaque une action analogue, quoique d'une intensité moindre, à celle du cuivre et du phosphore dans les expériences précédemment décrites.

§ II.

EXTRACTION DU SALPÊTRE BRUT.

Les matières premières qui servent à la production du salpêtre sont le plus ordinairement des terres ou des roches imprégnées d'azotates. Dans les climats tempérés, ces sels sont à bases terreuses, tandis que, dans les pays chauds, ils sont à bases alcalines. Le salpêtre, se formant sous l'influence de causes permanentes, se produit, au bout d'un certain temps, dans les parties où il a été déjà recueilli.

Parfois la matière salpêtrée se rencontre toute formée, sans coopération extérieure, là où les conditions de sa production se trouvent naturellement réunies. Tel est le cas du salpêtre de Ceylan, du salpêtre des Indes, et aussi du salpêtre de Bradford, en Pennsylvanie, où l'on aurait découvert, d'après Ellet, une matière complètement différente de celles que l'on connaît jusqu'ici et constituée par de véritables filons noyés au milieu du grès.

Parfois aussi, surtout dans les climats tempérés, la production est plus ou moins artificielle, en ce sens qu'on est obligé de venir en aide à la nature afin d'arriver à réaliser toutes les circonstances reconnues indispensables. C'est le cas des nitrières naturelles et artificielles.

Nous allons examiner successivement ces diverses sources de salpêtre, et nous indiquerons en même temps les divers procédés d'extraction de la matière et le meilleur mode d'utilisation des produits obtenus (*).

I. GITES NATURELS DE SALPÊTRE.

a) Salpêtre de Ceylan.

Les gîtes de l'île de Ceylan sont constitués par des cavernes creusées dans une roche calcaire qui renferme de la magnésie et du feldspath; ces cavernes s'agrandissent peu à peu par suite de l'enlèvement continu de matière salpêtrée. Quelques-unes, comme celle de Boulatwellegode, servent de repaires à de nombreuses bandes de chauves-souris, dont les excréments viennent s'accumuler sur le sol. D'autres, au contraire, ne renferment aucun de ces animaux, comme par exemple la caverne de Memoorā, qui a environ 34^m de largeur, 70^m de profondeur et 28^m de hauteur; elle est creusée dans une colline boisée de 60 à 70^m d'élévation, et son sol est formé directement par le roc. Davy, qui visita ces cavernes, les trouva exploitées par 16 ouvriers, dont chacun devait fournir chaque année une quantité déterminée de salpêtre au gouvernement.

La matière salpêtrée est toujours mélangée d'azotates de chaux ou de magnésie; la potasse doit provenir de la décomposition du

(*) Knapp, *loc. cit.*, p. 115 sqq.

feldspath. D'après Davy, la roche de la caverne de Memoorá se compose des éléments suivants :

Azotate de potasse.	2,4
Azotate de magnésie.	0,7
Sulfate de magnésie.	0,2
Carbonate de chaux.	26,5
Résidu insoluble dans l'acide azotique étendu (feldspath, quartz, mica et talc).	60,8
Eau.	9,4
Total.	100,0

L'exploitation des gîtes de Ceylan est simple et économique, mais essentiellement primitive. On détache avec des outils en fer la partie salpêtrée de la roche, on la réduit en très-petits morceaux, et, dans cet état, on la mélange à une quantité à peu près égale de cendres de bois. Si l'on traite ensuite cette masse par l'eau, les azotates terreux abandonnent leur acide, qui se combine avec la potasse des cendres pour donner de l'azotate de potasse, et passent à l'état de carbonates de chaux et de magnésie qui se précipitent. La lessive, enrichie par cette addition de sel de potasse à celui qu'elle contenait déjà et tirée au clair, est coulée dans des bassins, où elle commence à s'évaporer sous la simple action de la chaleur solaire; l'opération se continue dans des chaudières chauffées à feu nu, jusqu'à ce que la liqueur soit arrivée à un état de concentration convenable pour qu'on puisse la faire cristalliser par refroidissement. Le produit ainsi obtenu est le salpêtre brut, tel qu'on l'expédie en Europe.

Il existe des cavernes semblables sur la côte de l'Adriatique, en Italie (pulo di Mofetta), sur quelques points de l'Amérique septentrionale (Tennessee, Kentucky, bords du Missouri et Crookedriver), en Afrique et à Ténériffe.

b) Salpêtre des Indes.

Des gisements de salpêtre, un peu différents de ceux que nous venons d'indiquer, se rencontrent dans l'Amérique du Sud, dans quelques régions de l'Inde, dans l'Arabie, l'Égypte, la Perse, l'Espagne et la Hongrie. Dans l'Inde, le Bengale et les environs de Patna notamment fournissent un grande quantité de salpêtre qui arrive sur les marchés de l'Europe; ce salpêtre est traité à Chiovera et expédié par l'Hougly. Dans certaines localités, les matières qui contiennent le salpêtre couvrent souvent de très-grandes étendues; mais

elles ne pénètrent jamais dans le sol qu'à une profondeur assez faible pour être facilement accessibles à l'air. Lorsque la terre, imprégnée de solution saline à la suite de pluie ou de rosée, se dessèche à l'air et au soleil, les couches superficielles perdent les premières leur eau et attirent, par capillarité, le liquide contenu dans les couches inférieures : de cette manière, tout le salpêtre se porte successivement à la surface et s'y accumule pendant la saison sèche, en formant des efflorescences composées tantôt de cristaux durs, tantôt de fines baguettes groupées sous forme de houppes. Les sels, tels qu'on les recueille, sont mélangés d'une certaine quantité de terre.

L'analyse A, due à Davy, se rapporte à un salpêtre du Bengale (district de Tirhoot); l'analyse B, due à Haynes, à un salpêtre pris aux environs de Patree, dans le Guzerat, où on le rencontre sous la forme d'une couche étroite, régnant de l'est à l'ouest.

	A	B
Azotate de potasse.	8,3	2,26
Azotate de soude.	»	6,32
Azotate de chaux.	3,7	»
Chlorure de sodium.	0,2	14,81
Sulfate de chaux.	0,8	1,43
Sulfate de magnésie.	»	1,38
Carbonate de chaux.	33,0	} 73,80
Eau, avec une petite quantité de matière organique. . .	12,0	
Matières insolubles.	40,0	
	100,0	100,00

Le procédé suivi pour le traitement de ces matières est, en principe, identique à celui que nous avons indiqué pour le salpêtre des cavernes; on se dispense toutefois de l'addition de cendres de bois, qu'il serait très-difficile de se procurer : cette addition est, du reste, d'autant moins nécessaire que la matière à traiter renferme déjà par elle-même, comme on le voit, une forte proportion d'azotates alcalins. A la suite du traitement, l'azotate de chaux reste dans les eaux-mères, dont on ne fait aucun usage. Le salpêtre fourni par la première cristallisation présente une coloration assez prononcée, et on le purifie ordinairement en le faisant cristalliser une seconde fois.

II. NITRÈRES NATURELLES ET ARTIFICIELLES.

A. Conditions pratiques à réaliser.

Il résulte de la théorie générale de la nitrification que le salpêtre peut prendre naissance dans des circonstances extrêmement variées, soit par l'oxydation directe de l'azote de l'air, soit par la décomposition de l'ammoniaque. Mais il n'en est pas moins certain que les forces naturelles qui concourent à cette formation ne donnent, en général, que de très-faibles quantités d'azotates, et que ce n'est qu'exceptionnellement que leur action devient assez énergique pour correspondre à une production abondante de ces sels.

La production pratique du salpêtre ne peut reposer évidemment que sur les actions de la seconde espèce, qui sont seules susceptibles de fournir des azotates en quantité suffisante pour qu'il y ait intérêt à les soumettre à un traitement industriel. Il est donc très-important de déterminer les conditions spéciales de cette production abondante. Elles peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

1° Présence de matières susceptibles de fournir les éléments de l'acide azotique : sels ammoniacaux, substances azotées végétales et animales ;

2° Présence de certaines bases, destinées à accélérer la formation de l'acide azotique en se combinant avec lui : en première ligne figurent les alcalis, puis la chaux et la magnésie ;

3° Concours de l'humidité, dans une certaine mesure, de manière que les matières ne soient ni trop sèches ni trop mouillées ;

4° Température de 15 à 20° au moins, pour l'air et les matières destinées à agir les unes sur les autres : la nitrification se ralentit beaucoup dans le voisinage du point de congélation de l'eau et cesse complètement au-dessous ;

5° Emploi de matériaux suffisamment poreux pour que l'air puisse pénétrer et circuler facilement à l'intérieur.

Il est facile de comprendre l'importance que présentent, comme source d'azote ou d'ammoniaque, les matières organiques d'origine animale, telles que les excréments, l'urine, le purin, le sang, etc. Pour l'évaluer en chiffres, il suffit de remarquer que l'azotate de potasse renferme 14 p. 100 d'azote et que, pour obtenir l'azote qui entre dans la composition de 1^r de salpêtre, il faudrait employer

l'une quelconque des quantités suivantes de ces différentes matières, en supposant, bien entendu, qu'il n'y ait pas de pertes :

43 kil. d'excréments de vache,	23 kil. de purin,
34 kil. de fumier d'écurie,	19 kil. d'urine de l'homme, *
31 kil. d'urine de vache,	5 ⁴ / ₃ d'urine de cheval,
25 kil. d'excréments de cheval,	5 kil. de sang d'abattoir.

Ces nombres se rapportent aux matières prises à l'état frais. Des expériences, qui remontent à plusieurs années et qui sont dues à Fontanelle, permettent d'apprécier assez rigoureusement la valeur de ces divers éléments au point de vue de la préparation du salpêtre. Après avoir formé un certain nombre de tas, de 25⁴ environ, avec chacune des matières à expérimenter ou avec des mélanges d'un certain nombre d'entre elles, il les exposa à l'air pendant 3 ans, en les protégeant contre la pluie et en les maintenant à un certain état d'humidité au moyen d'eau distillée. Au bout de ce temps, les différents tas furent lessivés avec le plus grand soin pour en extraire le salpêtre formé. Deux des tas, qui étaient composés, l'un de sable calcaire pur, l'autre de granit réduit en poudre, ne fournirent aucune trace de ce corps, tandis qu'on obtint :

4 p. 100	}	d'azotates avec un tas formé d'un mélange de terre arable et de	{	gravois calcaires,
5,5 —				1/10 de fumier de brebis,
5 —				1/10 de fumier de cheval,
4,5 —				1/10 de fumier de vache,
6 —				terreau d'étable imbibé d'excrétions animales,
8 —	même terreau additionné de 1/3 de gravois calcaires.			

La présence de ces substances organiques azotées est particulièrement indispensable, lorsque la formation du salpêtre ne se trouve pas favorisée par le concours des alcalis. Dans ce cas, il paraît assez probable, suivant une remarque déjà ancienne de Dumas, que ces matières ne fournissent pas simplement de l'acide nitrique, mais qu'elles forment encore une certaine quantité d'ammoniaque, qui remplace les alcalis absents. Cette hypothèse trouve d'ailleurs une confirmation dans ce fait d'expérience, que le liquide obtenu en lessivant des terres salpêtrées renferme toujours des sels ammoniacaux (Kuhlmann).

Les détritux animaux et les substances analogues ont encore un autre genre d'utilité. Ils fournissent, comme résidu de leur décomposition, une espèce d'humus, lequel, sous l'action de l'oxygène de l'air, subit une oxydation lente qui, lorsqu'elle se trouve suffisam-

ment avancée, doit avoir pour conséquence de favoriser singulièrement celle de l'ammoniaque. A ce point de vue, l'humus de la terre arable a une action si prononcée que, dans ses recherches sur la formation du salpêtre en Algérie, Millon n'hésite pas à considérer la présence de cet humus comme une des conditions pratiques indispensables pour la nitrification. L'humus permet, en outre, de satisfaire à la cinquième des conditions que nous avons signalées précédemment, en ce sens qu'il peut servir à donner une certaine perméabilité aux matières nitrifiables. Cette perméabilité, qui facilite l'action de l'air, est nécessaire pour obtenir une oxydation continue des matières. Lorsqu'elle vient à faire défaut, non-seulement l'action oxydante peut s'arrêter, mais encore elle peut être remplacée par une action de réduction, qui se traduit par la décomposition d'une partie de l'acide azotique primitivement formé; dans ces circonstances, les azotates se transforment facilement en azotites (Goppelsröder), tandis que les matières en décomposition donnent de l'ammoniaque (Pelouze). Sous l'action de l'hydrogène à l'état naissant, l'acide azotique du salpêtre se transforme facilement en ammoniaque (Kuhlmann).

Même dans les conditions les plus favorables, la nitrification est toujours une opération qui se produit d'une manière lente et graduelle, de telle sorte qu'elle ne se trouve complètement achevée qu'après une période de très-longue durée. Toutes choses égales d'ailleurs, sa marche est plus rapide dans les pays chauds que dans les régions tempérées. Il importe, toutefois, de remarquer que, les azotates étant très-solubles, la richesse des dépôts ne dépend pas seulement de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle ils se forment. A ce point de vue, les climats tempérés, où les pluies sont très-fréquentes, sont moins avantageux que les climats secs. Au contraire, un sol qui possède par lui-même un certain degré d'humidité et qui reçoit rarement de la pluie est préférable, pour la formation du salpêtre, à un sol sec, exposé fréquemment à de fortes averses.

B. Sources de salpêtre.

a) Salpêtre des murailles.

Dans les villes très-peuplées, à rues étroites, où les excréments des bêtes de trait, les déchets des boucheries, des marchés à la viande,

au poisson, à la volaille et autres matières alimentaires vont se mêler, dans les ruisseaux, aux eaux de lavage, à l'urine, etc., pour donner lieu à une succession non interrompue de décompositions putrides, on voit le mortier, à la base des murailles, se corroder peu à peu et prendre cette apparence qu'on redoute avec raison, parce qu'elle est de nature à compromettre la solidité des bâtiments, et qui constitue ce qu'on appelle le salpêtrage des murailles. Un phénomène du même genre se produit également pour d'autres parties des murs qui, sans être au contact des impuretés des rues, se trouvent sur le passage de liquides du même genre, tels, par exemple, que l'urine humaine ou celle des animaux dans les étables. Les azotates ainsi formés sont entraînés par les liquides, et viennent se déposer dans les points des murs, qui présentent les conditions les plus favorables à l'évaporation de l'humidité. Telle est l'origine de ces efflorescences d'un blanc éclatant que l'on aperçoit souvent à la surface des murs ou encore, sous forme de géodes cristallines, dans les joints de la maçonnerie peu à peu dégarnis de leur mortier. Ce salpêtre des murs peut être recueilli, comme matière brute, pour servir à la préparation du salpêtre du commerce. Il faut bien se garder d'ailleurs de confondre ces efflorescences avec d'autres, qui se forment également sur les murs et qui se composent de carbonates, sulfates alcalins, etc.

b) Salpêtre des bords de la Seine.

Dans les coteaux crayeux qui bordent les rives de la Seine, à la Roche-Guyon et à Mousseau, par exemple, se rencontrent souvent des excavations qu'on utilise comme étables ou pour d'autres usages. Le salpêtre se montre à la surface de la roche, dans les parties rapprochées des ouvertures et surtout dans celles qui sont tournées vers le sud. Les matières salpêtrées, qui sont recueillies comme les précédentes, se reproduisent plusieurs fois chaque année. D'après Lavoisier, ce salpêtre est mélangé, en proportions variables, de chlorures de sodium et de calcium. En lessivant différents échantillons et traitant les dissolutions par la potasse, ce chimiste a obtenu $3 \frac{1}{8}$ p. 100 de salpêtre avec des matières provenant de la caverne de Fouquières, $5 \frac{3}{8}$ avec des matières prises dans le voisinage de l'église de Mousseau, et $\frac{1}{4}$ p. 100 seulement en d'autres points.

c) **Salpêtre de Hongrie.**

En Hongrie, dans certaines régions humides, le salpêtre, mêlé à d'autres sels, surtout au carbonate de soude et au sulfate de magnésie, vient fréquemment former des efflorescences à la surface du sol. L'exploitation de la couche de terre qui contient ces efflorescences constitue une branche spéciale de l'industrie agricole. Les points qu'il convient d'exploiter de préférence sont indiqués par la présence de certaines plantes narcotiques qui, comme la jusquiame, par exemple, se développent surtout dans les terrains salpêtrés. Les localités où cette industrie est la plus active sont situées entre le Marosch et la Theiss, près de Debreczin. Dans cette ville se trouve établie une usine centrale, où l'on traite les matériaux apportés par les cultivateurs de 24 villages environnants, dont les plus importants sont ceux de Mike-Péracs, Pélagi, Vértes, Acsád, Mihálhy, Nánás et Szobosló.

Dans le premier de ces villages, l'emplacement choisi pour l'exploitation se compose d'une surface légèrement inclinée, dont le sol est formé d'un sable noir, poreux, mélangé de parties argileuses et calcaires; cette surface aboutit à un marais qui ne se dessèche jamais complètement et dont elle faisait primitivement partie. Tous les liquides qui s'écoulent des fermes du village chargés de matières organiques, les urines des étables, les purins des fumiers, sont dirigés vers ce terrain incliné, et, dans leur parcours jusqu'à la mare, ils imbibent le sol, sur lequel on répand des cendres de temps à autre. La nitrification est si active que, dans les mois où l'air est chaud, sans être trop sec, en mai et en juin, par exemple, on peut ramasser du salpêtre chaque soir. Ce sel se concentre dans les couches supérieures où s'évapore le liquide qui le tenait en dissolution, et y forme des efflorescences. Au point de vue de l'exploitation, la terre est considérée comme suffisamment riche lorsqu'elle contient $\frac{1}{4}$, p. 100 de salpêtre. Pour la recueillir, on fait passer sur la surface du sol, qui doit toujours être maintenue aussi unie que possible, un outil traîné par des chevaux et dont la partie principale est une espèce de couteau en fer; cet outil détache la couche supérieure salpêtrée, qu'on balaye et qu'on enlève. On compte, en moyenne, par an, six récoltes, donnant 300 à 400 kilogrammes de salpêtre par 100 mètres carrés de surface.

Ragsky, en étudiant les matériaux salpêtrés de Hongrie, a trouvé

qu'il contenaient 4 p. 100 d'eau, en moyenne, et des quantités de salpêtre variables suivant les provenances, comme l'indiquent les chiffres suivants :

	p. 100		p. 100		p. 100		p. 100
Pérès.	1,07	Keresztuv.	1,13	Ibronyi.	1,69	Monostor-Palyi.	0,50
Orzso.	2,33	Patroha.	0,56	Temesvar.	0,51	Nyrregyhaza.	0,59

Ces terres étaient d'une richesse exceptionnelle.

Il existe des exploitations analogues dans les confins militaires, près d'Alibunár. En Espagne, le salpêtre se présente également, sous forme d'efflorescences, dans diverses régions, la Nouvelle-Castille, l'Aragon, la Catalogne, la Manche, la province de Grenade, etc.

En Hongrie, à côté du salpêtre dont nous venons de parler, on exploite encore une autre matière salpêtrée, d'origine un peu différente. Les classes les plus pauvres habitent des maisons dépourvues de planchers et munies seulement d'une aire en terre. On enlève cette aire de temps à autre, et on la traite pour en extraire le salpêtre. On obtient ainsi une matière salpêtrée assez recherchée, parce qu'elle est très-pure (Szabo).

d) Salpêtre de Suisse.

On peut aussi utiliser avantageusement, pour l'extraction du salpêtre, la terre des étables d'animaux, ainsi que celle des caves où l'on dépose des légumes et d'autres provisions, dont une partie passe souvent à l'état de pourriture. C'est ce qui se fait surtout en Suisse, où le nombre des étables est relativement très-considérable. Pendant l'été, lorsque les animaux sont dans les pâturages, les salpêtriers recueillent la couche supérieure de la terre qui forme le sol de ces étables, et lui font subir une série de lessivages à l'eau, jusqu'à ce qu'ils arrivent à une dissolution qui ne présente plus de saveur salée. Le liquide fourni par cette opération est additionné d'une certaine quantité de cendres et de chaux caustique, puis abandonné au repos pour faciliter le dépôt du précipité; la liqueur, tirée au clair, est ensuite évaporée dans une chaudière ordinaire à feu nu et finalement soumise à la cristallisation. Le salpêtre ainsi obtenu affecte la forme d'aiguilles, le plus souvent creuses, d'une longueur de 2 à 3 centimètres; ces aiguilles, dont la grosseur se rapproche de celle d'un brin de paille, sont cannelées et colorées en brun jaunâtre; exposées à l'air, elles conservent une certaine humidité. Elles ren-

ferment, en moyenne, 90 p. 100 d'azotate de potasse, 2 1/2 p. 100 d'azotate de chaux et 7 p. 100 d'autres sels et d'eau.

La production des étables placées dans des endroits secs est supérieure à celle des étables humides; une seule peut fournir de 25 à 100 kilogrammes de salpêtre brut. La terre, remise en place, peut être de nouveau lessivée après une période de 7 années environ. Dans la bonne saison, un homme avec deux enfants peut arriver, par semaine, à une production de 50^h de salpêtre brut, représentant une valeur de 45 à 50 francs (Behrens).

e) Salpêtre de Longpont.

A Longpont, en France, on exploite, par une méthode analogue à la précédente, une carrière toujours très-humide où l'air se renouvelle assez facilement. Après avoir déposé en tas des couches alternativement composées de terre et de fumier, de 10 centimètres d'épaisseur chacune, on recouvre le tout avec de la terre, qu'on arrose avec le purin des étables situées dans le voisinage, afin d'augmenter la proportion des matières azotées. Au bout de deux ans, le tas se trouve converti en une masse terreuse homogène, qu'on transporte à l'entrée de la carrière et qu'on retourne de temps à autre, pour faciliter le contact de l'air avec les différentes parties; au bout de deux autres années, on peut soumettre le tas à l'opération du lessivage. On obtient de cette manière 5 à 600^h de salpêtre brut, au moyen du fumier produit par 25 animaux (vaches, ânes ou mulets).

f) Salpêtre de Suède.

En Suède, où la fourniture d'une certaine quantité de salpêtre constitue une partie de l'impôt, les paysans le préparent eux-mêmes dans de petites huttes, dont le sol est recouvert d'une aire en argile ou en planches. On y entasse un mélange de terres poreuses et de débris végétaux et animaux de toute espèce, auxquels on ajoute de la chaux, de la marne ou des cendres lessivées; ce mélange est arrosé, de temps à autre, avec l'urine des bêtes de somme, dans le double but de maintenir un certain degré d'humidité et d'augmenter la proportion des éléments constituants du salpêtre. Pendant la saison d'été, on retourne le tas à la pelle, une fois par semaine, tandis que, pendant l'hiver, cette opération ne s'effectue qu'une fois par mois.

Afin de rendre la masse encore plus perméable à l'air, il convient, en outre, d'introduire dans son intérieur un certain nombre de fagots et d'y percer une série de trous. La durée totale de la nitrification est de deux à trois ans. Suivant une opinion assez répandue, la transformation serait plus active dans les locaux complètement fermés que dans ceux où peut pénétrer la lumière.

g) **Nitrière artificielle du baron de Way.**

Lorsque les conditions nécessaires à la formation du salpêtre ne se trouvent pas naturellement réalisées, on peut recourir à l'emploi des nitrières artificielles. Les installations de ce genre, qui autrefois étaient assez répandues, ont l'inconvénient d'entraîner des dépenses relativement considérables, et le prix de la main-d'œuvre y est très-élevé. Aussi ont-elles presque toutes été abandonnées depuis la découverte des riches gisements de l'Inde et de ceux qui fournissent le salpêtre de Chili. Les seules nitrières artificielles qui existent encore en Hongrie sont celles du baron de Vay, établies près de Debreczin au commencement de ce siècle. Malgré la faible importance que présente maintenant ce mode de production du salpêtre, nous croyons utile de le décrire avec quelques détails.

On doit commencer par se procurer une terre spéciale, avec laquelle on élève les tas où doit se produire la nitrification; cette terre doit être fortement imprégnée de matières organiques et, à ce point de vue, celle qui provient des étables, des pavages, des abattoirs, etc., est très-convenable; on peut encore la préparer en faisant fermenter des amas de matières putrescibles. Les matériaux qu'il est utile d'employer ensuite peuvent se ramener à trois espèces: des végétaux, comme les solanées, les euphorbiacées, les champignons, etc., qui sont riches en azote, des tiges de pois, de fèves, de maïs, de soleils, etc.; puis des débris animaux, sous forme solide, fumier d'oiseaux, de quadrupèdes, boue d'eaux dormantes, boue des rues, écharnages de tanneries, etc.; enfin des liquides, comme l'urine, le purin, le sang, l'eau de lavage du fromage, etc. Sur une première couche de terre on étend d'abord les matières végétales, puis les matières solides, qu'on élève à une certaine hauteur; on recouvre le tout d'une seconde couche de terre, puis on arrose avec les matières liquides, de manière à maintenir le tas humide, en évitant toutefois de l'imbiber trop fortement. Pour

rendre la masse plus perméable, on y pratique, à la partie supérieure, des trous qu'on prolonge jusqu'à son milieu; cette masse se convertit peu à peu en un terreau uniforme, que l'on mélange avec la terre. Pendant la putréfaction de ces tas, qui ne renferment qu'une faible quantité de matières basiques, une grande partie de l'azote se dégage et se perd à l'état d'ammoniaque.

Le terreau ainsi obtenu est mélangé avec des gravois, de la marne, de la chaux, c'est-à-dire avec des matières basiques, et exposé à l'action prolongée de l'air et de l'humidité. On donne aux tas la forme de pyramides tronquées, de 1 à 2^m de largeur à la base, sur 3 à 4^m de hauteur, ou bien, comme on le faisait autrefois en Prusse, on termine ces tas par des faces verticales, de manière à former de véritables murs. Dans cette dernière disposition, la face exposée aux vents régnants forme un plan vertical unique, tandis que l'autre face est disposée en redans, afin d'augmenter le degré de stabilité de l'ensemble. Sur chaque palier de cette face se trouve ménagée une rainure, destinée à l'arrosage, qui se fait ainsi sur la face arrière du tas, tandis que l'évaporation se produit principalement sur la face antérieure, exposée à l'action du vent; le salpêtre s'y concentre donc de préférence et, de temps en temps, on lui enlève une certaine épaisseur de terres bonnes à lessiver. Ces terres, lorsqu'elles ont été soumises au lessivage, sont rechargées sur les gradins de la face postérieure avec du terreau frais. Le mur conserve toujours la même forme et la même épaisseur en se déplaçant vers l'arrière parallèlement à lui-même, de telle sorte que les divers tas conservent toujours leurs distances respectives. De cette manière, les tas sont permanents et la nitrification s'y opère d'une manière continue, ce qui est un avantage sérieux, en raison des difficultés spéciales que présente la mise en train dans ce procédé.

Lorsque les tas ne doivent pas être abrités contre la pluie, il convient que le sol sur lequel ils sont établis ait une nature et une inclinaison telles, qu'il soit possible de recueillir dans une citerne les eaux de pluie. On doit donc choisir de préférence un sol argileux, insubmersible et non marécageux. On laisse entre les tas un intervalle suffisant pour le transport des terres et l'on réserve, tous les 5 ou 6^m, un passage dans chaque mur. Lorsque les tas sont formés de troncs de pyramide, la base supérieure présente ordinairement une courbure telle, que les liquides employés à l'arrosage se portent principalement vers les faces extérieures, où

l'évaporation est la plus active et où a lieu en définitive la formation du salpêtre.

On reconnaît que la nitrification est suffisamment avancée lorsqu'on aperçoit, à la surface des tas, des espèces de moisissures blanches, formées par des efflorescences de salpêtre. A cet état, la terre est bonne à lessiver; elle renferme alors 4^l.300 environ de salpêtre par mètre cube, et, comme elle arrive à cette richesse au bout de trois années, une production annuelle de 500^t de salpêtre suppose une série de tas dont le volume total dépasse 300^m et dont le tiers est soumis chaque année à l'opération du lessivage. Quelque temps avant de faire la récolte, on cesse d'arroser les tas avec du purin, parce que les matières azotées, n'ayant plus le temps de se nitrifier, augmenteraient le degré d'impureté du liquide obtenu par le lessivage. Le tas se dessèche donc peu à peu et le salpêtre se porte à la surface, où l'on enlève, plusieurs fois chaque année, une couche de 6 à 8 centimètres d'épaisseur. Cette terre ne pouvant être lessivée de suite, on l'entasse sous des hangars où on la remue fréquemment à la pelle et où on l'arrose avec de l'eau; pendant ce séjour, la teneur en salpêtre augmente encore un peu. Les terres lessivées sont, comme nous l'avons dit, rechargées sur les tas. Suivant certains observateurs, les terres qui renferment encore une petite quantité de salpêtre se nifient plus facilement à nouveau que les terres complètement épuisées.

La nitrière du baron de Vay comprend environ 1000 pyramides de 3^m,75 de longueur et 1^m de largeur sur 2^m de hauteur; ces pyramides se composent de $\frac{2}{3}$ de terre recueillie dans les habitations (Gayerde) et de $\frac{1}{3}$ de cendres. Les tas n'étant pas couverts ne donnent que 150 quintaux de salpêtre par an, tandis qu'on prétend en avoir obtenu 100 dans la salpêtrière de Biesk, avec 80 tas seulement. La couche superficielle est enlevée trois ou quatre fois par an sur chaque tas.

C. Lessivage des matériaux salpêtrés.

Le traitement des matériaux salpêtrés, lorsqu'il se fait sur les lieux mêmes d'extraction et sur une petite échelle, est généralement fort grossier et entraîne, par suite, avec lui des pertes sérieuses. Dans les pays où les salpêtrières, naturelles ou artificielles, ont une assez grande importance, la fabrication du salpêtre brut est réunie dans

des usines centrales et est dirigée d'une manière plus méthodique. Les différentes opérations ont pour but de retirer de la terre les divers azotates et de les transformer en azotate de potasse, que l'on soumet ensuite à une cristallisation et à un raffinage.

a) **Lavage des terres.**

Le point important est d'épuiser aussi complètement que possible les matériaux salpêtrés, tout en n'employant que l'eau strictement nécessaire. En général, les lessives sont bonnes à évaporer lorsque leur teneur en salpêtre est de 12 à 15 p. 100.

C'est pour le traitement des matériaux salpêtrés qu'a été imaginé le mode de lessivage méthodique qui rend aujourd'hui des services si importants dans un grand nombre d'industries. Adoptée, en 1820, par le Comité consultatif des poudres et salpêtres de France, cette méthode consiste, en principe, d'une part, à faire passer une même quantité d'eau successivement sur les différentes masses de terre contenues dans une série de cuves, jusqu'à ce que la dissolution soit suffisamment concentrée, et, d'autre part, à épuiser chaque masse par de l'eau nouvelle, jusqu'à ce que sa teneur en salpêtre arrive à être inférieure à $\frac{1}{2}$ p. 100.

Les terres salpêtrées sont placées dans des cuves munies d'un double fond recouvert de paille. Les cuves, qui portent des robinets, sont rangées sur trois étages et communiquent, par des rigoles, avec des bassins creusés dans le sol.

Pour une fabrication qui doit fournir annuellement 10 000 à 15 000^t de salpêtre, on emploie d'ordinaire 36 cuves, c'est-à-dire 12 à chaque étage : l'eau de dissolution, après avoir séjourné 12 heures dans les cuves de l'étage supérieur, s'écoule par les robinets pour venir passer sur la terre des cuves de l'étage moyen, y séjourne à peu près le même temps, et finit par arriver sur la terre du dernier rang. Afin d'obliger l'eau à traverser convenablement toute la masse et d'éviter qu'il ne se forme ce qu'on appelle des *renards*, on a soin de broyer préalablement les gros morceaux et de disposer la surface supérieure de la terre en entonnoir, pour que le liquide se porte plutôt vers le centre que vers les bords. Suivant les installations, le nombre des étages de cuves est de 3 ou de 4 ; dans tous les cas, les cuves inférieures reçoivent des matériaux frais, celles des étages supérieurs sont chargées avec des terres lessivées une ou deux fois. Les lessives successives sont désignées,

suivant leur degré de concentration, par les noms de *lessive faible*, *lessive forte*, *lessive à évaporer*.

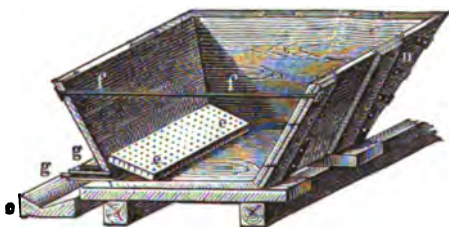
Les caisses à dissolutions (*fig. 1*) ont sur les cuves l'avantage

Fig. 1.



d'occuper beaucoup moins de place. Elles sont en bois de chêne et présentent la forme d'une trémie ; leur longueur est de 3^m à la partie supérieure et leur largeur de 2^m,50, avec une hauteur de 1^m. L'une des faces longitudinales porte des trous *aa*, destinés à recevoir des robinets ou des tuyaux qui conduisent le liquide dans des rigoles *cc*. Pour retenir la terre, on dispose à l'intérieur de la caisse (*fig. 2*) une planche inclinée *ee* percée de trous, que l'on recouvre de

Fig. 2.



paille ou de branchages. Des tirants *ff* et des équerres *nn* sont destinés à relier solidement les côtés de chaque caisse, qu'on peut charger de 3^m,500 de matières environ, de telle sorte qu'il suffit de disposer de deux caisses, même

pour une fabrication importante. Des gouttières déversent l'eau en un grand nombre de points sur la terre à lessiver, jusqu'à ce qu'elle soit recouverte d'une hauteur de liquide de 0^m,40 environ ; au bout de 24 heures, on fait écouler l'eau et on la remplace par de l'eau nouvelle : on continue ainsi jusqu'au moment où la dissolution obtenue marque moins de 1° à l'aréomètre spécial ; on introduit alors une nouvelle charge. La première dissolution contient environ 40 p. 100 de salpêtre ; les suivantes sont plus faibles et s'enrichissent en traversant la seconde caisse. Les terres épuisées retournent aux salpêtrières, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment.

b) Composition de la lessive.

La lessive qui doit être soumise à l'évaporation possède une réaction alcaline. Elle renferme des azotates de potasse, de soude, de chaux, de magnésie, d'ammoniaque et, en outre, des chlorures de potassium, de sodium, de calcium, de magnésium, du carbonate d'ammoniaque, enfin une matière organique d'un brun foncé, qui n'a pas été étudiée jusqu'à ce jour.

Dans le résidu obtenu en évaporant à sec une lessive de plâtras salpêtrés de Paris, Thénard a trouvé :

Azotate de potasse et chlorure de potassium.	10
Azotates de chaux et de magnésie.	70
Chlorure de sodium.	15
Chlorures de calcium et de magnésium.	5
	<hr/>
	100

La présence du carbonate d'ammoniaque n'a rien d'étonnant, eu égard aux conditions dans lesquelles se produit la nitrification : elle explique pourquoi l'on ne trouve pas d'azotate d'alumine dans le mélange, bien que l'alumine soit la base qui domine dans les terres salpêtrées. Les sels ammoniacaux empêchent la précipitation de la magnésie ; c'est seulement dans des liqueurs concentrées qu'il se forme de l'azotate d'ammoniaque, en même temps qu'il se précipite du carbonate de chaux. A une température même assez peu élevée, 20 à 25°, par exemple, la réaction est inverse, et une grande partie du carbonate de chaux se dissout avec formation de carbonate d'ammoniaque (Kuhlmann). C'est ce dernier sel qui donne à la lessive une réaction alcaline. D'après certaines observations, la lessive renfermerait, à l'état d'azotate, plus de potasse que n'en renfermait le terreau soumis à la nitrification. En admettant la réalité de ce fait, la potasse en excès proviendrait du feldspath et des autres silicates associés au calcaire, qu'on ajoute dans les tas des salpêtrières.

c) Traitement de la lessive.

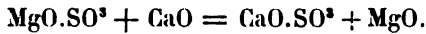
Pour transformer en azotate de potasse tous les azotates renfermés dans la lessive, on lui ajoute de la potasse, soit du sulfate de potasse, soit du chlorure de potassium. Il est évident que la quantité à employer n'est pas arbitraire et, dès lors, c'est une pra-

tique vicieuse de mélanger, comme on le fait souvent, de la cendre de bois aux matériaux salpêtrés avant le lessivage; car, à moins d'essais assez compliqués, il est difficile de se rendre compte de ce que l'on fait. Il est bien préférable d'opérer les réactions au sein de la lessive, contenue, à cet effet, dans un bac muni d'un robinet de décantation, en employant une dissolution de potasse préparée à l'avance et renfermée dans un autre réservoir. On détermine, par un essai préalable en petit, le volume de solution alcaline que l'on doit ajouter à un volume connu de lessive, pour qu'une addition ne produise plus de précipité. L'introduction de la dissolution de potasse dans le bac de décantation détermine immédiatement la formation d'un abondant précipité de carbonate de chaux et de magnésie, et il reste dans la liqueur de l'azotate de potasse avec des chlorures de potassium et de sodium. Les chlorures de calcium et de magnésium sont décomposés en même temps que les azotates, et il en résulte une certaine perte, car la valeur du chlorure de potassium formé est fort inférieure à celle du carbonate de potasse. On supposait autrefois que la potasse n'agissait sur le chlorure de calcium qu'après avoir transformé les azotates terreux en carbonates, et l'on n'employait que la quantité de carbonate de potasse strictement nécessaire pour la décomposition des azotates; on pensait éviter ainsi la perte de réactif correspondant à la proportion de chlorure de calcium. Mais cette opinion était complètement erronée: les chlorures et les azotates se décomposent simultanément. En ajoutant à une dissolution d'azotate de chaux et de chlorure de calcium la quantité de carbonate de potasse rigoureusement nécessaire pour la décomposition de l'azotate de chaux, Longchamp a obtenu un mélange d'azotate de potasse et de chlorure de potassium, où ce dernier sel entrait pour plus de $\frac{1}{3}$. Pour le même motif, il paraît irrationnel de suivre, dans la pratique, le mode d'opérer qu'on avait imaginé pour soustraire le carbonate de potasse à l'influence fâcheuse des chlorures terreux. On fractionnait l'opération en deux parties, en commençant par ajouter une quantité de potasse insuffisante pour la transformation des azotates terreux. On tirait la liqueur au clair et, après cristallisation du salpêtre, on traitait l'eau-mère par une quantité de potasse strictement suffisante pour la transformation du reste des azotates. En définitive, ce qui paraît le plus rationnel, c'est d'employer une quantité de potasse suffisante pour obtenir la précipitation complète

de la chaux et de la magnésie; un excès de réactif est même utile, si les lessives renferment de l'azotate d'ammoniaque. Il est évident d'ailleurs que, pour la solution de cette question, il importe de tenir compte du prix des différents sels.

Quelquefois, avant d'ajouter la potasse, on concentre la dissolution jusqu'à ce qu'elle contienne de 15 à 20 p. 100 de sels; mais le précipité entraîne, dans ce cas, une trop grande quantité de salpêtre, qu'on ne peut retirer que par des lavages répétés.

Lorsqu'on emploie le sulfate de potasse au lieu du carbonate, il est essentiel de concentrer la dissolution jusqu'à un certain degré. Il se forme, dans ce cas, du sulfate de chaux qui se précipite presque complètement, et du sulfate de magnésie facilement soluble qui reste dans le liquide; par une addition de lait de chaux, on précipite du sulfate de chaux et de la magnésie, d'après la formule



La lessive, tirée au clair, renferme alors du salpêtre, des chlorures de potassium et de sodium, un peu de sulfate de chaux et une très-faible quantité de matières organiques colorantes, la majeure partie de ces matières ayant été entraînée par le précipité obtenu avec la chaux.

On peut encore employer le chlorure de potassium, qui constitue un produit accessoire, assez important d'ailleurs, de la fabrication même du salpêtre. D'après Longchamp, il faut d'abord transformer les azotates terreux en azotate de soude par l'emploi du sulfate de soude; il se dépose du sulfate de chaux; on précipite la magnésie par un lait de chaux, et l'addition du chlorure de potassium fournit de l'azotate de potasse et du chlorure de sodium.

Quel que soit le réactif employé, la lessive doit être abandonnée au repos pendant un temps suffisant pour que le précipité puisse se rassembler convenablement au fond; la liqueur est ensuite tirée au clair, pour être soumise à l'évaporation.

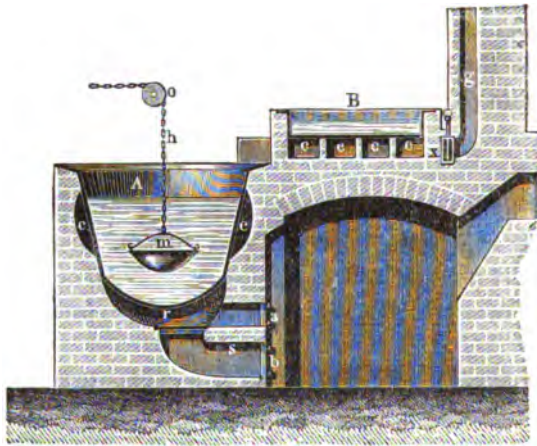
a) Évaporation de la liqueur.

Le principe de l'opération est le suivant: la solubilité du salpêtre croît beaucoup plus rapidement avec la température que celle des chlorures; donc, à mesure que la liqueur se concentrera par l'évaporation, ces derniers sels se précipiteront tout d'abord en grande

partie, et, si l'on décante la liqueur claire dans des cristallisoirs, on obtiendra par refroidissement des cristaux de salpêtre brut.

La lessive renferme des chlorures, des sels ammoniacaux, des bicarbonates de chaux et de magnésie et des matières colorantes. Pendant l'évaporation, on ajoute du liquide nouveau dans la chaudière, jusqu'à ce qu'on arrive à l'avoir complètement remplie d'une dissolution à un état convenable de concentration. Pour éviter de refroidir la masse, on chauffe préalablement le liquide dans un vase spécial B (fig. 3) : *a* est la porte du foyer, *r* la grille, *s* le

Fig. 3.



cendrier. La flamme passe d'abord sous le fond de la chaudière en cuivre A, puis dans deux carneaux latéraux CC, gagne ensuite le fond de la chaudière B, et y fait plusieurs circuits avant de se rendre dans la cheminée *g*, dont le tirage peut être réglé par un registre *x*.

Dès le début de l'ébullition et pendant toute sa durée, le liquide se recouvre à la surface d'une écume noire et boueuse, qu'on enlève de temps à autre et qu'on laisse égoutter dans des caisses, afin d'éviter la perte de la partie de lessive entraînée. Cette écume provient de la coagulation des matières organiques par la chaleur; elle est moins abondante lorsque la terre a séjourné longtemps à l'air et n'a pas été arrosée de purin vers la fin de la nitrification. Les bicarbonates se précipitent à l'état de carbonates au commencement de l'ébullition, puis le sulfate de chaux se dépose sous forme de

poudre cristalline. Ces divers précipités ont une tendance à s'attacher au fond de la chaudière. Pour éviter cet inconvénient, on peut se borner à chauffer simplement les parois latérales de la chaudière, sans laisser circuler la flamme sous le fond. Lorsque les terres commencent à se précipiter, on descend au sein du liquide, par l'intermédiaire de la chaîne *k*, mobile sur la poulie *o*, un petit chaudron ou mieux un vase presque plat *m*. Les courants liquides descendants, qui se forment au milieu de la chaudière, ont pour résultat de ramener dans cette capsule les corps solides en suspension, qui s'y accumulent sans pouvoir en sortir; de temps à autre, on soulève la capsule pour la vider. La boue est mise à égoutter dans des caisses situées au-dessus de la chaudière.

Lorsque la concentration est arrivée à un certain point, les chlorures de sodium et de potassium, ou un seul de ces sels, suivant le mode de traitement employé, viennent cristalliser à la surface du liquide en petits cubes, qui ne tardent pas à tomber au fond. Au moment de l'opération, il est avantageux de modérer le feu, afin d'obtenir des cristaux plus gros, plus faciles à séparer et retenant moins de liquide. On les recueille dans le vase *m*, ou bien on les enlève de temps en temps à la pelle. Lorsque la lessive est suffisamment concentrée (ce qui se reconnaît à ce qu'une goutte jetée sur une surface froide se fige immédiatement), une partie des chlorures a cristallisé, mais il en reste encore une assez grande quantité dans la liqueur; celle-ci marque de 48° à 50° à l'aréomètre spécial, et doit rester 15 à 18 heures en repos pour arriver à s'éclaircir complètement; on la verse ensuite dans des cristallisoirs en cuivre. Lorsque la température est descendue à 50° environ, il se dépose de petits cristaux jaunes qui constituent le salpêtre brut, et qui renferment non-seulement des chlorures de sodium et de potassium, mais encore des matières organiques.

Les eaux-mères, qui finissent par rester en quantité considérable, sont assez difficiles à utiliser, en raison des complications qu'entraîne leur traitement. Le plus souvent on se borne à les verser sur les tas des nitrières. D'après Longchamp, on peut les traiter avec avantage par le sulfate de potasse : une grande partie de la chaux se précipite à l'état de sulfate de chaux, une autre partie reste en dissolution avec les chlorures et le salpêtre, qui, dans ces conditions, se sépare facilement par cristallisation. Les chlorures de potassium et de sodium, qui cristallisent pendant l'évaporation, entraî-

nent une assez grande quantité de salpêtre, qu'on retire en lavant ces cristaux dans un panier avec un peu d'eau bouillante.

Depuis l'introduction en Europe du salpêtre du Chili, on l'emploie assez souvent pour transformer le chlorure de potassium des eaux-mères fournies par les opérations que nous venons de décrire : on obtient ainsi de l'azotate de potasse et du chlorure de sodium.

§ III.

FABRICATION DU SALPÊTRE BRUT.

On fabrique le salpêtre dans l'industrie en faisant réagir un sel de potasse ou de la potasse sur un nitrate.

Le seul nitrate employé est le salpêtre du Chili ou nitrate de soude.

Les principales sources de potasse sont le chlorure de potassium, la potasse du commerce, le carbonate de potasse pur et la potasse caustique.

Nous passerons d'abord en revue ces différents corps, puis nous indiquerons les procédés de fabrication correspondant à chacun d'eux.

I. SOURCE D'ACIDE NITRIQUE : NITRATE DE SOUDE.

A. Extraction du salpêtre du Chili (*).

a) Propriétés du nitrate de soude.

Le nitrate de soude, exposé à l'air, attire l'humidité; il est jusqu'à un certain point déliquescent. Cette propriété, qui est généralement regardée comme inhérente à l'azotate de soude lui-même, devrait, d'après Gentele, être attribuée exclusivement à la présence des azotates de chaux et de magnésic, ainsi qu'à celle des chlorures de calcium et de magnésium.

L'azotate de soude est beaucoup moins soluble dans l'eau salée

(*) Knapp. *loc. cit.*, p. 104 sqq.

que dans l'eau pure. D'après Anthon, 100 parties d'eau pure, à 20°, dissolvent 88 parties d'azotate, tandis que la même quantité d'eau, avec 25 parties de chlorure de sodium, n'en dissout plus que 52,8.

La dissolution saturée d'azotate de soude entre en ébullition à 122°; le point de fusion de ce sel est à 313°, d'après Schaffgotsch, et à 310°,5, suivant Person.

D'après diverses observations, dont les résultats sont d'ailleurs assez peu concordants, la solubilité de l'azotate de soude varie avec la température dans d'assez fortes proportions. Ces variations sont indiquées dans le tableau ci-après :

POIDS D'EAU nécessaire pour dissoudre 1 partie d'azotate de soude.	TEMPÉRATURE.	OBSERVA- TEURS.	POIDS D'EAU nécessaire pour dissoudre 1 partie d'azotate de soude.	TEMPÉRATURE.	OBSERVA- TEURS.
1,58	—6°	Marx.	0,77	47°	Osann.
1,25	0	»	0,833	50	Maumené.
1,41	0	Maumené.	0,763	60	Id.
1,273	10	»	0,703	70	Id.
1,14	18 1/2	Kopp.	0,650	80	Id.
1,136	18 3/4	Karsten.	0,604	90	Id.
1,137	20	Maumené.	»	100	»
1,12	28	Osann.	»	110	»
1,018	30	Maumené.	0,460	119	Marx.
0,917	40	»	0,468	119,4	Maumené.

b) Gisements du salpêtre du Chili.

Au Sud du Pérou s'étend un vaste plateau désert, limité à l'Est par les Andes, à l'Ouest par une chaîne de montagnes voisine du littoral, dont la hauteur au-dessus du niveau de la mer ne dépasse pas 1700^m et qui se compose principalement de granit, de porphyre et de trachyte. Sur le versant oriental de cette chaîne, c'est-à-dire du côté du continent, on trouve d'immenses gisements de salpêtre (*salâtrales*), qui se prolongent jusque dans la région des hauts plateaux (désert d'Atacama). Ils occupent les vallées et les diverses dépressions du sol, sur une hauteur moyenne de 4000^m, entre la Quebrada de Pisaqua et le fleuve Loa au Sud. Malgré les irrégularités et

des lacunes assez nombreuses, ces gisements sont beaucoup plus purs dans la direction du Nord que dans celle du Sud.

Tous ces gisements ne sont pas également exploitables; ils ne peuvent être avantageusement exploités qu'à certaines conditions, dont les principales tiennent à la présence de l'eau et à la distance à la côte. A ce point de vue, l'étendue occupée par les gisements peut être divisée en trois régions distinctes : celle du Sud, où l'exploitation est complètement nulle; celle du Nord, où elle n'a qu'une activité très-moderée; enfin celle du centre, qui est de beaucoup la plus considérable. Cette dernière région ne se trouve guère qu'à 11 ou 12 lieues de la côte; elle est relativement très-riche en eau; ses produits viennent s'embarquer au port d'Iquique, tandis que ceux du Nord sont transportés au port de PISAQUA. L'étendue recouverte par la couche de salpêtre dépasse 116 000 hectares. La production par mètre carré est très-variable: elle s'élève parfois jusqu'à 1 200^l, et elle est, en moyenne, de 50^l. En 1830, l'Amérique du Sud a fourni 935 tonnes de salpêtre; en 1850, 26 000 tonnes; en 1860, 87 000 tonnes; aujourd'hui, la production annuelle est d'environ 250 000 tonnes. En admettant ce dernier nombre comme moyenne de la consommation annuelle, les gisements pourraient suffire à une période d'exploitation de 300 ans environ.

La couche qui renferme le salpêtre naturel porte le nom de *caliche* ou *terra salitrosa*. Sa puissance, qui varie de 0^m,30 à 3^m, peut être évaluée, en moyenne, à 1^m. Parfois elle se trouve directement à la surface du sol, mais alors elle est trop impure pour pouvoir être exploitée fructueusement; le plus ordinairement, elle se trouve à une certaine profondeur, sous différentes couches d'autres terrains. Quelquefois on rencontre deux couches de caliche superposées; dans ce cas, la couche supérieure est surtout riche en salpêtre, tandis que le chlorure de sodium domine dans la couche inférieure; en certains points, le caliche fait complètement défaut. Le plus souvent, la couche de salpêtre se trouve recouverte par du sable, de l'argile, des cailloux roulés, etc.; elle repose habituellement sur une couche de sel ordinaire, plus rarement sur de la terre glaise (*cora*), qui, à mesure que la profondeur augmente, devient plus compacte et plus dure.

L'exploitation des gîtes de salpêtre de l'Amérique du Sud, qui étaient déjà connus depuis plusieurs années, n'a été entreprise que vers 1825, à la même époque que celle des mines d'argent. Au début,

elle était très-limitée, puisqu'au bout de 5 ans, en 1830, ses produits ne s'élevaient qu'à 935 tonnes; ils étaient expédiés vers le Sud, dans le Chili; de là le nom de *salpêtre du Chili*, sous lequel est connu encore aujourd'hui le salpêtre de l'Amérique du Sud importé en Europe.

Les champs de salpêtre sont ordinairement concédés à des entrepreneurs, par lots de 1600 à 1700 mètres carrés. Les couches qui recouvrent le caliche ont de 1^m à 3^m d'épaisseur; à partir de la surface du sol, on trouve d'abord une couche de sable assez mince, puis des terrains assez durs cimentés par de l'argile, qui devient salifère dans le voisinage du gisement de salpêtre (*costra*). Pour l'exploitation, on perce des trous de 0^m,50 environ de diamètre, qui vont en s'élargissant à partir du sol, de manière à former, dans la couche de salpêtre, des chambres assez vastes pour recevoir de 150^m à 230^m de poudre. L'explosion détermine la formation d'un entonnoir de 20^m à 30^m de diamètre. Par un triage à la main, opéré sur les matières projetées, on cherche à séparer, autant que possible, le salpêtre des autres matières salines et terreuses (*cora* et *costra*); le produit ainsi obtenu est expédié par des chariots à l'usine, où on le purifie par voie de dissolution et de cristallisation.

c) Composition du caliche.

Le salpêtre brut ou caliche renferme, en moyenne, 20 à 25 p. 100 d'azotate de soude. Il est ordinairement d'un gris foncé, à gros grains et assez terreux; plus rarement il est brun, à grains fins; ce n'est que tout à fait exceptionnellement qu'on rencontre une espèce de couleur jaune, renfermant quelques traces d'iode et 60 à 64 p. 100 d'azotate de soude.

Dans un échantillon de salpêtre brut, Blake a trouvé par l'analyse :

Azotate de soude.	64,98
Chlorure de sodium.	28,69
Sulfate de soude.	3,00
Combinaisons iodurées.	0,63
Matières insolubles.	2,60
	<hr/>
	99,90

d) Lessivage et évaporation.

L'opération du lessivage doit s'effectuer aussi près que possible du lieu d'extraction; dans le choix de cet emplacement on se préoccupe

d'ailleurs beaucoup moins de la question de transport des matières que de la facilité plus ou moins grande à se procurer de l'eau.

Dans le procédé en usage à l'origine, on se servait de petites chaudières de 1^m à 1^m,50 de diamètre, qui étaient chauffées à feu nu. On les remplissait de caliche et d'eau jusqu'au bord, puis on portait le tout à l'ébullition, en ayant soin d'agiter constamment. Il se formait beaucoup d'écume, qu'on enlevait, et il restait une matière insoluble (*ripia*) qu'on retirait également. Le volume devenu disponible était rempli avec de nouvelles matières, qu'on traitait comme les précédentes, et l'on continuait ainsi jusqu'à la fin de l'opération. Au bout de 7 à 8 heures, la chaudière se trouvait remplie d'une dissolution saturée, qu'on faisait couler dans un réservoir de clarification et de là dans des cristallisoirs, de forme rectangulaire, de 2^m de long sur 1^m de large et 0^m,20 de profondeur. Après une période de repos de 24 heures environ, la cristallisation était terminée; elle donnait 40 p. 100 d'azotate de soude et 60 p. 100 d'eau-mère, qu'on utilisait dans une opération ultérieure. Cette méthode donnait un salpêtre très-impur, mélangé de 4 à 5 p. 100 de chlorure de sodium, et avait, de plus, l'inconvénient d'exiger de grandes dépenses de combustible et de main-d'œuvre. Pour une production mensuelle de 25 000^k de salpêtre, il ne fallait pas moins de 4 ouvriers, tandis que le nouveau procédé, pour le même chiffre de production, n'exige qu'un seul homme, tout en donnant du salpêtre beaucoup plus pur, à 1 p. 100 seulement de chlorure de sodium.

Dans ce procédé, dont l'introduction est due à des Européens et qu'on trouve appliqué dans les installations de G. Smith, de Con-spruch, etc., on fait usage de grandes chaudières chauffées à la vapeur, qui ont de 6 à 8^m de longueur sur 1^m,50 de largeur et de profondeur. Lorsque l'eau est arrivée à l'ébullition, on y descend le caliche, placé dans une caisse en tôle perforée qu'on suspend à une chaîne mobile sur des poulies. La dissolution de cette première charge terminée, on en descend une seconde, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive à avoir dans la chaudière une dissolution saturée. On parvient à traiter de cette manière, en 12 heures, 25 000 à 30 000^k de caliche. La dissolution est envoyée dans le réservoir de clarification, d'où elle est distribuée dans 20 cristallisoirs de 1^m de profondeur. Au bout de 3 à 4 jours, la cristallisation est terminée. Les eaux-mères sont réunies dans un grand réservoir commun, où elles sont reprises pour un traitement ultérieur, et l'on recueille 6 000 à

7500^k de cristaux pour la quantité de caliche introduite dans la chaudière.

e) **Composition des eaux-mères.**

Les dernières eaux-mères, qui ne sont plus susceptibles d'utilisation, contiennent, d'après E. Reichardt :

Eau de dissolution.	57,41
Eau de combinaison.	6,93
Azotate de soude.	23,30
Chlorure de sodium.	8,59
Iodate de soude.	0,44
Sulfate de magnésie.	2,21
Chlorure de magnésium.	1,12
Total.	100,00

Le produit marchand ainsi obtenu est chargé dans des sacs et transporté, à dos d'âne ou de mulet, vers les ports d'expédition, dont le plus important, comme nous l'avons dit, est celui d'Iquique.

f) **Composition du salpêtre du Chili.**

L'azotate de soude cristallisé qu'on trouve dans le commerce est d'une coloration brune, d'un aspect sale et toujours humide; la grosseur des cristaux varie depuis celle d'un grain de millet jusqu'à celle d'un pois. Ces cristaux sont des rhomboèdres tronqués qui se rapprochent beaucoup de la forme cubique : de là l'expression de *salpêtre cubique* usitée quelquefois. Diverses analyses de salpêtre du Chili ont fourni les résultats suivants :

	HOFFSTETTER.	LEGANU.	WITTSYRN.
Azotate de soude.	94,29	96,70	99,63
Azotate de potasse.	0,43	»	»
Azotate de magnésie.	0,85	»	»
Azotate de chaux.	»	traces	traces
Chlorure de sodium.	1,99	1,30	0,37
Sulfate de potasse.	0,24	traces	»
Humidité.	1,99	2,00	»
Matières insolubles.	0,21	»	»
Total.	100,00	100,00	100,00

Exceptionnellement, on trouve dans le salpêtre du commerce des combinaisons iodurées ou bromurées (Lambert, Grüneberg, Schwarz).

De 45^t d'eau-mère, provenant d'une cristallisation d'azotate de soude du commerce et aussi bien débarrassée que possible des sels cristallisables, Grüneberg a retiré 550^{gr} d'iode et 15^{gr} de brome ; en rapportant ces quantités au poids total du salpêtre dont elles provenaient, on trouve que la teneur en iode, pour cet échantillon, était 0,00001, et la teneur en brome de 0,000005. La proportion d'eau est souvent plus considérable que dans les analyses précédentes, de telle sorte que le taux d'azotate de soude descend le plus souvent au-dessous de 95 p. 100, et quelquefois même au-dessous de 90 p. 100.

B. Épreuves du nitrate de soude brut.

Le nitrate de soude livré par le commerce aux fabriques de salpêtre est payé pour l'acide nitrique qu'il renferme ; on peut donc en déterminer la valeur soit par le dosage des matières étrangères (eau, matières insolubles, chlorures et sulfates), soit par le dosage direct de l'acide nitrique. La potasse, la magnésie et la chaux s'y trouvant toujours en quantités négligeables, on suppose, dans les deux cas, que tous les sels sont à l'état de sels de soude ; on pourrait, d'ailleurs, soumettre le nitrate à une analyse rigoureuse, entièrement analogue à celle que nous indiquerons plus loin pour le chlorure de potassium (p. 66), en la complétant par le dosage de l'acide nitrique au moyen de l'appareil Schløsing.

Les deux procédés sont employés concurremment et se contrôlent l'un l'autre.

On tolère 10 p. 100 d'impuretés ; la moyenne est de 4 à 8 p. 100. — Voici les résultats de quelques analyses exécutées aux raffineries de Lille et de Bordeaux :

	LILLE.	LILLE.	BORDEAUX.	LILLE.
Eau	2,12 p. 100	2,87 p. 100	2,36 p. 100	2,75 p. 100
Matières insolubles. . .	0,17 —	0,47 —	0,50 —	0,38 —
Chlorures	1,39 —	2,38 —	3,61 —	5,39 —
Sulfates.	0,27 —	0,67 —	0,10 —	1,28 —
Total.	3,95 p. 100	6,39 p. 100	6,57 p. 100	9,80 p. 100

a) Dosage des matières étrangères.

L'échantillonnage de la matière se fait suivant les prescriptions réglementaires : à la réception de chaque lot de 10000^{kg}, on prélève sur tous les sacs, à mesure qu'ils sont vidés, une quantité déterminée

de nitrate, que l'on a soin de prendre moitié sur le dessus et moitié dans le fond du sac, et que l'on verse dans des marmites en cuivre numérotées; on opère d'une manière analogue avec la matière contenue dans ces marmites, de façon à composer un échantillon final de 1^{er},5 à 2^{es}.

Humidité. — On fait l'humidité sur 400^{es}, que l'on chauffe à 120° environ sur un bain de sable ou au bain-marie, en agitant de temps en temps avec une baguette de verre. — Si l'on avait une matière parfaitement homogène, il serait préférable de n'opérer que sur 10^{es}, qu'on chaufferait à l'étuve à huile munie du thermo-régulateur Schläsing.

Matières insolubles. — On dissout 100^{es} de matière dans l'eau bouillante, et l'on décante sur un filtre préalablement séché et taré. Le filtre est ensuite séché à 100°, soit au bain de sable, soit à l'étuve Gay-Lussac : la différence de poids donne le taux p. 100 des matières insolubles.

Le liquide filtré est recueilli dans une carafe jaugée de 1^l, qu'on achève de remplir jusqu'au trait de repère avec de l'eau distillée.

Chlorures. — A Bordeaux, on dose les chlorures au moyen d'une solution titrée de nitrate d'argent en présence du chromate de potasse. On opère sur 10^{es} de la liqueur filtrée, c'est-à-dire sur 1^{er} de matière. On verse dans un flacon la dissolution neutre ou légèrement alcaline, et l'on ajoute une ou deux gouttes d'une solution assez étendue de chromate de potasse neutre : le nitrate d'argent, contenu dans une burette graduée et versé goutte à goutte, agira d'abord sur la totalité des chlorures pour donner un précipité blanc de chlorure d'argent; le chlore une fois saturé, une goutte de réactif en excès donnera au chromate jaune une coloration rouge intense de chromate d'argent. Ce dernier sel, qui se forme pendant toute l'opération, est sans cesse décomposé par le chlorure non attaqué, et la coloration rouge disparaît : il faut qu'elle devienne permanente. — Mohr a reconnu qu'une goutte de solution normale de nitrate d'argent, correspondant à moins de 0^{es},001 de chlore, permettait de saisir très-nettement le changement de coloration dans une dissolution de 150^{es}.

A Lille, on précipite simplement les chlorures par le nitrate d'argent : tant qu'il y a un excès de chlorures, le précipité floconneux se rassemble bien par l'agitation, mais la liqueur reste laiteuse; quand le réactif est en léger excès, la liqueur s'éclaircit presque instantanément.

nément. On opère sur 100 ou 50^{cc} de la liqueur filtrée, suivant les quantités de chlorures indiquées par un essai préalable. On verse la dissolution dans un flacon bouché à l'émeri, acidifie légèrement par de l'acide nitrique et ajoute la quantité de réactif correspondant au chlore que l'on suppose contenu dans la liqueur; on bouche le flacon et agite vivement pour réunir le précipité. On ajoute goutte à goutte du réactif, et l'on juge, à l'aspect du précipité, si l'on est près de la limite de saturation. On agite de nouveau, et continue ainsi jusqu'à ce que la dernière goutte ne trouble plus la liqueur. — En général, on ajoute un excès de réactif: on revient alors sur ses pas au moyen d'une solution titrée de chlorure de sodium, jusqu'au moment où aucun des deux réactifs ne donne de précipité.

Ce procédé est très-exact, mais moins commode que le précédent. — Les liqueurs normales de nitrate d'argent peuvent être titrées, soit par rapport au chlore, soit par rapport au chlorure de sodium.

Sulfates. — On verse 100^{cc} de la liqueur filtrée (10^{cc} de matière) dans un ballon, on étend d'eau distillée, chauffe et précipite les sulfates par le chlorure de baryum. Après avoir laissé reposer pendant 12^h, on lave par décantation avec de l'eau bouillante, fait tomber le précipité sur le filtre, et continue les lavages jusqu'à ce qu'une goutte de la liqueur filtrée ne précipite plus par le nitrate d'argent. On sèche le filtre, on le calcine dans une capsule de platine et pèse le résidu de sulfate de baryte, qui doit être pulvérulent. Si l'on craint une réduction par le charbon du filtre, on reprendra le résidu par un mélange d'acides sulfurique et nitrique. — Si le résidu n'est pas pulvérulent, on le débarrassera des matières étrangères qu'il contient encore en le faisant digérer avec de l'acide chlorhydrique concentré, évaporant à sec et reprenant par l'eau bouillante.

b) Dosage de l'acide nitrique (appareil Schløsing).

Nous renvoyons, pour la description de l'appareil Schløsing, aux épreuves relatives au salpêtre brut. — On dissout 66^{cc} du sel à essayer dans 1^l d'eau distillée, et l'on opère sur 5^{cc} de la liqueur, comparativement avec 5^{cc} d'une dissolution normale de nitrate pur.

II. SOURCES DE POTASSE.

A. Préparation des composés potassiques.

a) Chlorure de potassium du commerce (*).

Propriétés. — Le chlorure de potassium est un corps blanc, quand il est pur. Il cristallise en cubes ou en prismes rectangulaires toujours anhydres. Exposé à la température d'un rouge brun, il entre en fusion et se volatilise ensuite.

Il est insoluble dans l'alcool. Sa solubilité dans l'eau augmente assez rapidement avec la température (**), et sa ligne de solubilité est sensiblement droite, comme le démontre le tableau ci-après :

TEMPÉRATURE.	PARTIES D'EAU NÉCESSAIRES pour dissoudre à saturation 1 partie de chlorure de potassium.	PARTIES DE CHLORURE de potassium dissoutes à saturation dans 100 parties d'eau.	OBSERVATEURS.
0°	3,4	29,41	Gay-Lussac.
11 ,8	2,8	35,71	Kopp.
13 ,0	2,8	35,71	Michel et Kraft.
15 ,6	2,8	35,71	Kopp.
17 ,5	2,6	38,46	Id.
100 ,0	1,7	58,82	Gay-Lussac.

Si l'on dissout 50^{gr} de chlorure de potassium dans 200^{cc} d'eau pure, il se produit un abaissement de température de 11°,4. Cette propriété a été appliquée par Gay-Lussac à l'analyse commerciale des chlorures de potassium et de sodium (p. 71).

La plus grande partie du chlorure de potassium employé pour la fabrication du salpêtre provient de gisements naturels; nous dirons

(*) Knapp, *loc. cit.*, p. 35, 280 sqq.

(**) Le chlorure de sodium ou sel marin est aussi soluble dans l'eau froide que le chlorure de potassium; mais il n'est guère plus soluble à chaud qu'à froid: d'après Fehling, 1 partie de sel marin se dissout dans 2,8 parties d'eau à 12° et dans 2,5 parties à 100°, ou 100 parties d'eau dissolvent 35,71 parties de sel marin à 12° et 40 parties à 100°. — La dissolution de 50 grammes de sel marin dans 200 grammes d'eau pure produit un abaissement de température de 1°,9 seulement.

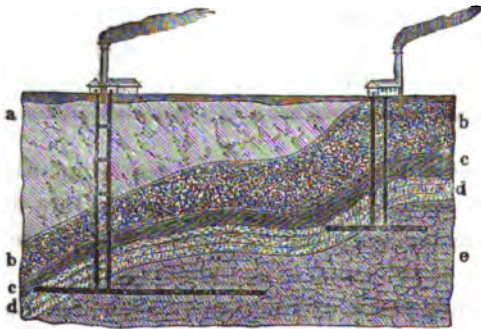
quelques mots des produits obtenus par la concentration méthodique de l'eau de mer et par l'incinération des varechs.

I. *Gisement de Stassfurt.* — Le gisement le plus important de chlorure de potassium est celui de Stassfurt, près de Magdebourg, dans la Thuringe.

Les mines de Stassfurt, explorées par des sondages de 1839 à 1843, ont été munies d'un puits d'exploitation dans l'intervalle de 1851 à 1856. La couche de sel y est très-inclinée; elle a été atteinte à 256^m dans le puits de Stassfurt, en Prusse, et à 150^m seulement dans celui d'Anhalt. La composition du sel varie à mesure qu'on s'enfonce à une plus grande profondeur; par suite de l'état des différentes couches et de leur superposition régulière, ce gisement présente une analogie frappante avec une masse de sel qui serait déposée par l'évaporation successive de l'eau de dissolution, et reproduit, en traits principaux, les résultats qui ont été observés par Usiglio dans l'évaporation de l'eau de mer des marais salants (*).

Le puits de Stassfurt traverse un banc très-puissant de grès bigarré *a* (fig. 4), puis une couche de gypse et d'anhydrite *b*, enfin

Fig. 4.



une couche de marne *c*, qui forme l'enveloppe du gisement salin. A partir de là, le puits pénètre dans une série de couches *d*, alternativement jaunâtres, grises et rouges, qui constituent ce qu'on

(*) En partant de cette analogie, la mer capable de produire un dépôt de l'importance du gisement de Stassfurt, dans sa partie connue, aurait dû avoir une profondeur de plus de 20 000 mètres. L'origine de ce dépôt est d'ailleurs beaucoup plus complexe.

appelle les sels de déblai (*abraumsalz*), et qui se trouvent directement au-dessus de la couche *e* du sel gemme proprement dit. Ces sels se distinguent du chlorure de sodium par leur saveur et par leur déliquescence, qui tantôt est plus forte et tantôt plus faible.

En raison de leur saveur, les sels de déblai avaient tout d'abord été considérés comme inexploitable, mais on n'a pas tardé à s'apercevoir qu'ils contenaient une forte proportion de chlorure de potassium et qu'ils avaient, par suite, une valeur supérieure à celle du sel gemme. Comme leur composition varie avec la profondeur, on a été amené à diviser la couche totale en trois régions, qui ne sont pas d'ailleurs limitées d'une manière parfaitement nette : la région de la *Carnallite*, celle de *Kieserite* et celle de la *Polyhalite*.

La région de la carnallite, qui se trouve à la partie supérieure, renferme un mélange de sel gemme et de plusieurs minéraux, dont les principaux sont, par ordre d'importance, la *carnallite* ($\text{KCl} + 2\text{MgCl} + 12\text{HO}$), la *tachhydrite* ($\text{CaCl} + 2\text{MgCl} + 12\text{HO}$), la *kieserite* ($\text{MgO.SO}^3 + \text{HO}$), des nodules de *boracite* (combinaison de chlorure de magnésium avec le borate de magnésie), et enfin, comme produit minéralogique très-rare, la *sylvine*.

La région de la *kieserite* renferme ce minéral et le sel gemme, à l'état de mélange ou par bancs alternés d'épaisseurs très-variables.

Dans la région inférieure, celle de la *polyhalite*, se trouvent les sels les plus solubles, qui tendent constamment à se porter vers le bas. On y rencontre du sel gemme avec des nodules de *polyhalite* ($\text{CaO.2SO}^3 + \text{MgO.SO}^3 + \text{KO.SO}^3 + 12\text{HO}$).

D'après F. Bischof, les proportions relatives de ces différents corps sont les suivantes :

RÉGIONS.	SEL GEMME.	ANNY-DRITE.	POLYHALITE.	KIESERITE.	CARNALLITE.	CHLORURE de magnésium.
De la Carnallite. . .	25	»	»	16,0	55	4
— Kieserite. . . .	65	2,0	»	17,0	13	3
— Polyhalite. . .	91	0,7	6,6	1,5	»	»

Peters évalue à 50% la puissance réelle de la couche des sels de déblai, et lui attribue la composition suivante :

Chlorure de sodium.	32,8
Chlorure de potassium.	19,2
Chlorure de magnésium.	17,1
Sulfate de magnésie.	15,1
Sulfate de chaux.	2,0
Matières insolubles.	2,7
Eau.	11,1
Total.	100,0

D'après cette composition, la proportion de potasse, sans eau, pourrait être évaluée à 12 ou 13 p. 100.

Si l'on considère la coupe verticale du gisement de Stassfurt, sur la profondeur de 377^m, à laquelle on est descendu jusqu'à ce jour, les hauteurs correspondant aux divers sels seraient les suivantes :

Sel gemme.	310 ^m ,6
Anhydrite.	11 ,3
Polyhalite.	4 ,2
Kieserite.	16 ,0
Carnallite.	30 ,8
Chlorure de magnésium.	4 ,1
Total.	377 ^m ,0

ce qui donne, pour les proportions en poids des différents éléments :

Chlorure de sodium.	85,8
Sulfate de chaux.	4,9
Sulfate de magnésie.	4,7
Sulfate de potasse.	0,4
Chlorure de magnésium.	2,5
Chlorure de potassium.	1,7
Total.	100,0

Les trois régions dans lesquelles on a subdivisé l'étage des sels de déblai, comme nous l'avons déjà dit, ne sont pas nettement séparées. De plus, une couche horizontale ne présente jamais une composition constante. Aussi les matières que l'on extrait ont elles-mêmes une composition très-variable; tout ce qu'on peut dire, c'est qu'en général, abstraction faite du sel gemme, la carnallite est l'élément dominant et que, par suite, la potasse se trouve surtout à l'état de chlorure, accompagné d'une petite proportion de sulfate.

Autrefois, les sels de déblai étaient rejetés comme n'ayant aucune valeur. C'est en 1861 seulement que, sur les conseils de Grüneberg et de quelques autres ingénieurs, on a commencé à les exploiter.

Depuis cette époque, plus de 20 usines se sont établies à Stassfurt et se livrent, en général, exclusivement à la séparation du chlorure de potassium. Nous devons ajouter, toutefois, que jusqu'à ce jour aucune des méthodes employées n'a encore donné des résultats tout à fait satisfaisants.

Séparation mécanique des sels de déblai. — Grüneberg a cherché à séparer les matières extraites de la mine en les soumettant à une action mécanique, fondée sur les différences de densité que présente la carnallite par rapport aux autres sels. Les poids spécifiques des divers éléments ont, en effet, des valeurs assez différentes, comme l'indique le tableau suivant :

Carnallite.	1,618
Tachydrite.	1,674
Sylvine.	2,025
Sel gemme.	2,160
Kieserite.	2,517
Polyhalite.	2,720
Boracite.	2,910
Anhydrite.	2,968

Le mélange, tel qu'il est livré aux usines, renferme, en moyenne, 50 à 55 p. 100 de carnallite, 25 à 30 de sel gemme, 10 à 15 de kieserite; le reste se compose des autres minéraux, d'anhydrite, d'argile, etc.

La séparation mécanique s'exécute à l'aide d'appareils analogues à ceux qu'on emploie pour le lavage de la houille; toutefois, comme l'eau aurait l'inconvénient de dissoudre les sels, on la remplace par une dissolution saline concentrée. Les matières, concassées en fragments d'une grosseur aussi uniforme que possible, sont placées dans une caisse dont le fond est percé de trous et où le liquide est déplacé constamment, de bas en haut, par le jeu d'une pompe. La carnallite se rassemble à la partie supérieure et forme une couche distincte, qu'on enlève à la pelle.

Bien que les résultats fournis par ce mode de traitement aient été assez satisfaisants, ils n'ont cependant pas répondu aux grandes espérances qu'on avait conçues à l'origine, et l'on paraît tendre de plus en plus à y renoncer. Aujourd'hui, la plupart des usines traitent les sels tels qu'ils sortent de la mine, en se bornant simplement à les réduire en poudre, avant de les soumettre à la série des opérations chimiques destinées à opérer la séparation des matières.

Traitement chimique des sels de déblai. — Le procédé proposé par Grüneberg, pour retirer des sels de déblai le chlorure de potassium, est fondé sur la propriété que possède ce dernier sel d'être beaucoup plus soluble à chaud qu'à froid, propriété que ne partage pas le chlorure de sodium, et sur ce fait d'expérience, qu'une dissolution de chlorure de magnésium saturée à chaud, qui renferme du chlorure de potassium, se précipite avec lui à peu près complètement par le refroidissement, sous la forme de chlorure double présentant la composition de la carnallite, de telle sorte que l'eau-mère ne retient, en définitive, que des traces de chlorure de potassium.

On commence par soumettre les sels de déblai, réduits en poudre, à l'action de la vapeur et d'une quantité d'eau limitée, dans une chaudière qui est munie d'un faux-fond percé de trous; on arrive ainsi à laisser dans le résidu la plus grande partie du sel gemme et de la kieserite; la dissolution qu'on obtient marque 32°,5 B. et renferme, à côté d'une partie du sulfate de magnésie et du chlorure de sodium, la totalité des chlorures de magnésium et de potassium. Par refroidissement, cette dissolution abandonne des cristaux de ce dernier sel, mélangé avec du chlorure de sodium. La dissolution, évaporée de nouveau jusqu'à ce qu'elle marque 32°,5 B., puis refroidie, donne un second dépôt de chlorure de potassium. On concentre ensuite une troisième fois jusqu'à 33° B. : pendant cette concentration, il se dépose du sulfate de magnésie, ainsi que du sulfate double de magnésie et de potasse. Par refroidissement, il se forme une abondante cristallisation de carnallite; l'eau-mère ne renferme plus alors qu'une proportion insignifiante de chlorure de potassium, et ne peut plus être utilisée avec avantage pour l'extraction de ce sel.

On obtient donc, par cette méthode, deux dépôts de chlorure de potassium, dont l'un renferme 30 à 40 p. 100 de chlorure de sodium, et, en outre, un dépôt de carnallite artificielle. Le chlorure de potassium impur est claircé avec de l'eau pure, ou mieux avec une dissolution de chlorure de potassium. En dissolvant la carnallite et en faisant cristalliser la dissolution, on obtient également du chlorure de potassium.

Dans d'autres procédés, qui ne diffèrent guère du précédent que par la disposition des appareils, après avoir réduit les sels de déblai en poudre fine, on les dissout dans de grands cylindres en fer,

chauffés par de la vapeur à une certaine pression et pourvus d'agitateurs mécaniques.

II. *Chlorure de l'eau de mer.* — L'eau de la Méditerranée renferme de 0,03 à 0,11 p. 100 de chlorure de potassium; les eaux-mères des marais salants contiennent surtout des chlorures de sodium, de potassium, de magnésium, du bromure de sodium et du sulfate de magnésie. Le traitement qu'on fait subir à ces eaux a pour but de combiner tout l'acide sulfurique avec la soude, et d'obtenir finalement du sulfate de soude, des chlorures de sodium et de potassium et du brome.

D'après Balard, par une première concentration des eaux-mères à 35° B., on provoque un dépôt de sulfate de magnésie et de chlorure de sodium (sel mixte); l'eau-mère, emmagasinée dans des citernes, est soumise pendant l'hiver à l'action d'une température de 6°, et il se précipite du sulfate de magnésie. Enfin ces eaux, conservées jusqu'à l'été suivant et soumises à une nouvelle concentration, donnent un chlorure double de potassium et de magnésium (carnallite).

Le procédé de Merle consiste à refroidir jusqu'à — 18°, dans un appareil Carré, de l'eau de mer concentrée à 28° B. et additionnée de 10 p. 100 d'eau, ce qui produit un dépôt de sulfate de soude et de chlorure de magnésium, puis à évaporer les eaux-mères dans une chaudière jusqu'à 36° B., ce qui provoque une précipitation du chlorure de sodium non décomposé; la liqueur refroidie dans de vastes bassins laisse déposer la carnallite, d'où l'on extrait le chlorure de potassium en la traitant par la moitié de son poids d'eau froide. On retire ainsi 10³ de ce sel de 1^m d'eau de mer à 28° B.

III. *Chlorure des varechs.* — Les cendres de varechs, qu'on exploite sur les côtes de France, d'Écosse et d'Irlande, pour la préparation du brome et de l'iode, fournissent également de grandes quantités de sels de potasse et de soude. Les plus riches en potasse sont celles qui proviennent des *varechs de flot* ou *goëmons*, rejetés par les vagues sur les grèves où ils forment des amas plus ou moins considérables; 5 ou 6 tonnes de ce varech, complètement desséché, donnent 1 tonne de cendres, d'où l'on peut extraire 132³ de sulfate de potasse brut, et 220 à 264³ de chlorure de potassium au titre de 80 p. 100 environ, le reste se composant de sulfate de soude, de sel marin et d'eau. En France, on traite chaque année près de 30 000 tonnes de varechs secs fournissant 1 400 000³ de chlorure de potassium; en Angle-

terre, la quantité de varechs traitée annuellement est de 10 à 12 millions de tonnes.

Les cendres de varechs sont soumises à un lessivage méthodique. La dissolution obtenue est concentrée à chaud, ce qui produit un dépôt de chlorure de sodium et de sulfate de potasse; si on laisse ensuite refroidir, il se précipite du chlorure de potassium impur. On répète sur les eaux-mères la même série d'opérations, et l'on traite les dernières eaux-mères pour en extraire l'iode et le brome. Comme le chlorure de potassium n'est guère souillé que par le chlorure de sodium et comme ce dernier sel est un peu plus soluble à froid que le premier, il suffit de lessiver les cristaux à l'eau froide pour enlever tout le sel marin et laisser le chlorure de potassium à peu près pur, qu'on dessèche dans une étuve ou dans un four.

b) Potasse du commerce.

La potasse du commerce est un mélange de carbonate avec une quantité notable de sulfate de potasse et de chlorure de potassium, et des quantités généralement faibles d'autres corps, tels que l'acide phosphorique, la silice, la chaux, etc. Les procédés de préparation de ce produit sont extrêmement nombreux : nous nous contenterons d'indiquer les plus importants.

Incinération des plantes. — Lorsqu'on incinère les tissus végétaux, les substances organiques se décomposent et se transforment en azote, eau et acide carbonique; les matières minérales, mises en liberté, se combinent en partie avec les produits de cette décomposition, et surtout avec l'acide carbonique, pour former le résidu incombustible qu'on désigne sous le nom de *cendres* et dont le poids est le plus souvent compris entre 1 et 3 p. 100 du poids des plantes sèches. La partie soluble des cendres se compose de carbonate de potasse, carbonate de soude, sel marin, sulfate de potasse, silicate de potasse; la partie insoluble renferme du carbonate de chaux, de la magnésie, des phosphates de chaux, de magnésie et de fer, de l'alumine, de l'oxyde de manganèse et de la silice.

Le traitement général des cendres consiste à les lessiver, puis à évaporer à sec la liqueur et à calciner le produit ainsi obtenu. En France, on se sert, pour le lessivage, d'une cuve qui n'a ni bonde ni faux-fond; au centre du fond se trouve une ouverture dans laquelle s'engage un tuyau en plusieurs pièces, d'une hauteur égale à celle du cuvier : on brasse les cendres au sein du liquide et on laisse re-

poser. Les matières solides se rassemblent et il se dépose, au-dessus, une couche de liquide clair; on décante ce liquide en démontant un certain nombre de pièces du tuyau, qu'on replace ensuite pour procéder à un second lessivage. — Soumises à l'évaporation, les lessives prennent une coloration brune de plus en plus foncée, puis elles passent à l'état sirupeux, et finissent par laisser déposer des sels solides; les premiers qui se précipitent sont les sulfates et les chlorures, puis les silicates, et enfin les carbonates. — La potasse obtenue par cette évaporation à sec est très-hygrométrique, chargée de matières organiques, et renferme 6 à 12 p. 100 d'eau; aussi la soumet-on à une calcination au contact de l'air dans des fours à réverbère, ordinairement accolés deux à deux dans un même massif. Quand le salin calciné présente l'aspect d'un sable blanc fortement chauffé, on procède à la granulation, en écrasant tous les morceaux, à l'aide d'une spatule en fer, en petits fragments de la grosseur d'une noisette, et l'on obtient ainsi la potasse dite *perlasse*, qui est retirée du four au moyen de râtaux et rapidement embarillée.

La potasse calcinée se présente sous la forme de petits fragments anguleux, cassants, légers et poreux, bien qu'assez durs; sa couleur est d'un blanc sale tirant sur le gris, souvent sur le bleu ou le vert; on y remarque ordinairement des taches d'une teinte brune ou lilas, dues à de l'oxyde de fer ou à du manganate de potasse. Elle doit se dissoudre dans son poids d'eau chaude et ne laisser qu'un faible résidu. Voici les résultats de quelques analyses exécutées sur des potasses d'origines différentes :

SUBSTANCES composantes.	POTASSE des Vosges.	POTASSE de Russie.	POTASSE AMÉRICAINNE		POTASSE de Toscane.	POTASSE de Russie.
			brute.	perlasse.		
Carbonate de potasse. . .	p. 100 38,63	p. 100 69,61	p. 100 68,04	p. 100 71,38	p. 100 74,10	p. 100 50,84
Carbonate de soude. . .	4,17	3,09	5,83	2,31	3,00	12,14
Sulfate de potasse. . . .	38,84	14,11	15,32	14,38	13,47	17,44
Chlorure de potassium. .	9,16	2,09	8,15	3,64	0,93	5,80
Eau hygrométrique. . . .	5,34	8,82	"	4,56	7,28	10,18
Matières insolubles. . . .	3,80	2,28	2,64	2,73	1,20	3,60
—	—	—	—	—	—	—
Degré alcalimétrique. . .	31°,6	53°,3	55°	54°,4	56°	47°,2

Traitement du résidu de la distillation du vin. — Quand on distille le vin pour fabriquer de l'eau-de-vie, le bitartrate de potasse reste dans la vinasse avec différentes matières organiques. On dessèche la vinasse par simple exposition à l'air, puis on carbonise et l'on calcine le résidu ; on obtient ainsi une excellente potasse.

En France, la distillation des vins s'opère sur une grande échelle dans 19 départements, qui produisent annuellement 9 à 40 millions d'hectolitres de vinasses, 1 hectolitre de ce résidu renfermant environ 97 litres d'eau, 1^r,5 à 2^r de matières organiques et 4^r de bitartrate de potasse.

Traitement des mélasses de betteraves. — Les vinasses obtenues dans la distillation des mélasses de betteraves sont également utilisées pour la fabrication de la potasse brute. Le jus de betteraves renferme des bases combinées surtout à l'acide azotique et à des acides organiques. Dans le travail des sucreries, la chaux, la magnésie, la silice, l'acide phosphorique et la plus grande partie des matières organiques se trouvent éliminés par les diverses opérations de la défécation, de la saturation et de la filtration, tandis que les alcalis et le reste de la matière organique se concentrent dans les eaux-mères ou mélasses : l'impureté des mélasses de betteraves ne permet pas de les utiliser directement, comme les mélasses de cannes, pour sucrer les aliments, et on les soumet à la distillation, qui en sépare l'alcool et laisse comme résidu la vinasse.

La vinasse de betteraves est un liquide faible, d'une densité de 4° B. environ, contenant tous les sels et les matières organiques de la mélasse et de la levûre de bière employée pour en provoquer la fermentation ; presque toute la potasse s'y trouve à l'état d'azotate. Le traitement consiste à chasser l'eau et à carboniser le résidu, pour obtenir un salin qui est ensuite raffiné.

La vinasse brute, additionnée d'une quantité de craie ou de calcaire pur suffisante pour saturer les acides libres, est introduite dans les appareils évaporatoires, qui se composent soit de chaudières ordinaires ou de chaudières plates chauffées à feu nu ou à la vapeur, soit de simples cuves plates disposées au-dessus des fours de l'usine et chauffées par la chaleur perdue, soit enfin de fours à réverbères dont la sole est formée par les chaudières d'évaporation. On obtient ainsi un salin renfermant environ la moitié de son poids de carbonates alcalins, du chlorure de potassium, du sulfate de potasse, un peu de cyanure de potassium et des matières insolubles.

Le salin carbonisé est dissous, puis soumis à une série de concentrations et de cristallisations méthodiques, destinées à provoquer successivement la précipitation du sulfate de potasse, du chlorure de potassium et du carbonate de soude, et à donner, comme produit final, le carbonate de potasse à un degré de pureté variable avec le degré de concentration des dernières eaux-mères. Le procédé actuellement employé consiste à effectuer méthodiquement le lavage des salins dans plusieurs compartiments à double fond chauffés à la vapeur; les eaux séjournent dans chacun d'eux pendant 3 jours environ. Les jus ainsi obtenus, qui ont une densité de 25° B., sont alors élevés dans un bac, où leur température est portée de 50° à 90°; ils descendent de là dans des chaudières fermées, où ils sont progressivement amenés à 35° B. et à 43° B., ce qui produit une précipitation de sulfate de potasse souillé des autres sels: un double lavage à l'eau saturée et à l'eau pure permet de l'amener à un degré de pureté de 92 p. 100. Les eaux-mères, reçues dans des cristallisoirs, y déposent, par refroidissement à 30°, du chlorure de potassium souillé de sulfate et de carbonates, qu'on peut obtenir, après égouttage et lavages, à 75 p. 100 de chlorure et 17 p. 100 de sulfate. Une nouvelle concentration des eaux-mères à 45° B. provoque une précipitation de carbonate de soude et, par refroidissement, de chlorure de potassium; ce dernier dépôt est traité comme le précédent. Deux autres concentrations à 48° B. et à 53° B., suivies de cristallisations, donnent également du carbonate de soude, qui est calciné, et du chlorure de potassium très-impur, qui est redissous et renvoyé à l'évaporation. — Les dernières eaux-mères sont calcinées, et donnent le carbonate de potasse marchand à 80 p. 100 de carbonate de potasse et 10 p. 100 de carbonate de soude. Si l'on arrêtait la concentration finale à 51° B., le degré de pureté du produit obtenu serait seulement de 75 p. 100; il s'élèverait, au contraire, à 90 p. 100 si la concentration était poussée jusqu'à 58° B. Le carbonate de potasse ayant une valeur industrielle à peu près double de celle du carbonate de soude, et celui-ci une valeur double de celle du chlorure de potassium, ce dernier sel se trouve le plus souvent sacrifié par rapport aux deux premiers.

Traitement du suint des moutons. — Les laines de moutons sont imprégnées d'une matière grasse blanche et molle, le suint, qui représente 15 à 40 p. 100 de leur poids, et qui peut être considérée comme formée de la combinaison de la potasse avec un acide orga-

nique inconnu et d'une forte proportion de matières grasses, libres ou combinées avec des bases terreuses telles que la chaux; on y trouve également du carbonate et de l'acétate de potasse, des chlorures alcalins, une matière odorante, etc. Les sels de potasse y entrent pour 50 p. 100, les sels de soude pour 4 p. 100 seulement. La France pourrait, par le lavage des laines, produire annuellement plus de 3 millions de kilogrammes de potasse très-pure, et l'Angleterre de 6 à 7 millions.

Le désuintage des laines doit se faire avec le moins d'eau possible et par un véritable lavage méthodique. Les eaux de suintage sont évaporées à sec, le résidu est carbonisé et distillé dans des cornues; le produit ainsi obtenu est lessivé et donne une dissolution de carbonate et de sulfate de potasse, avec un peu de chlorure de potassium et très-peu de sels de soude. A partir de ce point, le traitement est identique à celui des cendres de mélasses.

c) Carbonate de potasse pur et potasse caustique.

On a souvent cherché à transformer directement le chlorure de potassium en carbonate et en alcali caustique, soit en le décomposant au rouge, et sous l'influence de la vapeur d'eau, par la silice ou l'alumine et traitant le sel formé par l'acide carbonique; soit en le traitant par le bicarbonate d'ammoniaque, qui précipite une partie importante de la potasse sous forme de bicarbonate très-peu soluble; soit en employant l'acide hydrofluosilicique et décomposant le sel formé par la chaux: aucun de ces procédés n'est entré dans la pratique. — Le procédé Leblanc, appliqué à la transformation du chlorure de potassium en sulfate de potasse, puis en carbonate, donne des résultats beaucoup moins avantageux que pour la fabrication de la soude, à cause de la production d'une quantité relativement considérable de cyanure de potassium et de cyanate de potasse, et de l'aspect peu satisfaisant des lessives évaporées, qu'on ne parvient à rendre blanches qu'à l'aide d'une série de dissolutions et d'évaporations.

On peut retirer d'assez grandes quantités de carbonate de potasse pur ou de potasse caustique des feldspaths naturels, par l'application du procédé de Ward. Le feldspath orthose est un silicate neutre d'alumine et de potasse, contenant de 62 à 66 p. 100 de silice, de 17 à 20 d'alumine et de 12 à 14 de potasse; le traitement consiste à le réduire en poudre extrêmement fine, après l'avoir fortement

chauffé et projeté dans l'eau froide pour faciliter la porphyrisation, et à l'attaquer, soit par l'acide sulfurique concentré (Sprenger), soit par la chaux caustique (Meyer), soit par le fluor (Ward). — Ce dernier procédé permet d'extraire du feldspath environ 13,7 p. 100 de potasse, à un prix de revient admissible et sous la forme de potasse caustique ou de carbonate. On traite la poudre de feldspath, à une température assez basse pour n'avoir pas à redouter une perte notable d'alcali par volatilisation, par un mélange de spath fluor ou fluorure de calcium avec de la chaux éteinte et de la craie. Il se forme un carbonate de chaux basique, sorte de mortier qu'on moule sous forme de briquettes, lesquelles sont desséchées à l'air et calcinées dans des fours à la température du rouge orangé; on obtient une fritte poreuse dont il est facile de retirer l'alcali à l'aide d'un lessivage méthodique à l'eau chaude. La dissolution renferme de la potasse caustique, du carbonate de potasse, ainsi qu'une petite proportion de silice et d'alumine; en la traitant par la chaux, on obtient tout l'alcali à l'état de potasse caustique, d'une grande pureté, à moins que le feldspath employé ne renferme de la soude.

Dans les raffineries anglaises, on décompose le chlorure de potassium par l'acide sulfurique, en opérant exactement comme dans la fabrication du sulfate de soude avec le chlorure de sodium; le sulfate de potasse ainsi obtenu, de même que celui qu'on retire des cendres de varechs, est calciné avec de la chaux et du charbon, dans un four à réverbère, par le procédé Leblanc. Le carbonate de potasse brut que fournit cette calcination est soumis à un lessivage méthodique : on concentre la dissolution jusqu'à ce qu'elle arrive à la densité de 1,070 à 1,075, et l'on ajoute de la chaux caustique. La lessive de potasse caustique qu'on obtient par cette addition est évaporée jusqu'à la densité de 1,500; à ce point de concentration, les sels étrangers se précipitent; on les enlève, et le liquide qui reste est utilisé directement pour le traitement du salpêtre du Chili.

B. Épreuves du chlorure de potassium et des potasses du commerce.

Le chlorure de potassium et les potasses du commerce n'ont de valeur que par le potassium qu'ils contiennent; aussi, pour l'analyse de ces sels, le point capital réside-t-il dans la séparation de la potasse et de la soude. Nous indiquerons d'abord les principales mé-

thodes d'analyse complète d'un chlorure, puis quelques procédés s'appliquant au cas d'un mélange pur de chlorures de potassium et de sodium, et enfin les différentes méthodes employées dans l'industrie pour l'essai des potasses. Le déchet moyen varie de 40 à 15 p. 100; le maximum toléré est de 15 p. 100.

a) Par l'acide perchlorique (Schlössing).

L'échantillonnage d'un chlorure se fait comme pour le nitrate de soude; l'échantillon final doit être de 1^e environ.

Humidité. — On tare deux creusets de porcelaine vernie, munis de leurs couvercles, et l'on pèse dans chacun d'eux 50^{rs} de chlorure, qu'on chauffe à 150° pendant 2 heures dans l'étuve à huile, en ayant soin de laisser les couvercles pour éviter la volatilisation du sel. — Si l'on ne disposait que d'un bain de sable, on recouvrirait les creusets d'une enveloppe de clinquant, pour maintenir une chaleur convenable autour et au-dessus.

Matières insolubles. — On dessèche un filtre à plis de 8 à 10 centimètres de côté pendant une demi-heure dans l'étuve Gay-Lussac; au sortir de l'étuve, on l'introduit rapidement dans un tube en verre mince, de large diamètre, qu'on ferme avec un bouchon plat en liège, et l'on pèse le tout. — On dissout ensuite 200^{rs} de chlorure dans de l'eau distillée froide, on verse le tout sur le filtre, et lave jusqu'à ce qu'une goutte de la liqueur filtrée ne précipite plus par le nitrate d'argent. Le filtre, égoutté et plié, est séché pendant 2 heures dans l'étuve Gay-Lussac, puis pesé dans son tube de verre.

Les eaux de lavage sont recueillies dans une carafe jaugée de 1^l, qu'on achève de remplir jusqu'au trait avec de l'eau distillée. C'est cette liqueur qui va servir à toutes les autres déterminations.

Chlore. — On dose le chlore sur 5^{cc} de la liqueur (1^{er} de matière) au moyen d'une dissolution titrée de nitrate d'argent. Cette dissolution devra contenir 60^{rs},84 d'argent au litre, de manière qu'une division de la burette graduée au 1/10 de centimètre cube corresponde à 0^{rs},002 de chlore. La liqueur normale de sel marin devra contenir 32^{rs},95 de sel au litre, pour être saturée par un même volume de la solution argentine.

Chaux. — Sur 100 à 200^{cc}, on précipite la chaux par l'oxalate d'ammoniacale, après avoir rendu la liqueur neutre ou légèrement ammoniacale; on opère sur une dissolution chaude, renfermée dans un vase à précipité qu'on abandonne au moins 12 heures dans un lieu

chaud. Si l'on avait une proportion notable de magnésie, on additionnerait la liqueur de chlorhydrate d'ammoniaque et d'un excès d'oxalate d'ammoniaque, laisserait reposer 12 heures sans chauffer, reprendrait par l'acide chlorhydrique le précipité composé d'oxalate de chaux et d'un peu d'oxalate de magnésie, et traiterait par de l'ammoniaque en excès et un peu d'oxalate d'ammoniaque. — Après filtrage et lavage, le filtre est mis dans une capsule de porcelaine et calciné au rouge. On traite alors le mélange de chaux et de carbonate de chaux par de l'acide nitrique étendu, puis par de l'acide sulfurique étendu, et l'on évapore. Quand les fumées blanches ont cessé, on porte au rouge et l'on dose la chaux à l'état de sulfate de chaux.

Magnésie. — On opère sur 100 à 200^{cc}, qu'on porte à l'ébullition, en présence de potasse caustique ou d'un lait de chaux, jusqu'à réaction alcaline (ce procédé suppose l'absence de sels ammoniacaux). On filtre, lave rapidement à l'eau bouillante, et incinère dans une capsule de platine portée au rouge. On obtient ainsi de la magnésie caustique.

Acide sulfurique, potasse, soude. — Dans 10 à 20^{cc} de la liqueur, placés dans une capsule de porcelaine, on ajoute un léger excès de chlorure de baryum, et l'on évapore en ajoutant un excès d'acide nitrique qui chasse l'acide chlorhydrique (les chlorures grimperaient). Sur le résidu, on ajoute un peu d'acide perchlorique, et l'on évapore de nouveau, jusqu'à ce que les fumées blanches, qui indiquent un excès d'acide, aient disparu. On a alors un mélange des sels suivants :



On ajoute un peu d'eau et évapore à sec, pour le cas où il se serait formé un peu de sulfate de potasse en échange du perchlorate de baryte. — On traite par l'alcool, qui ne dissout pas le sulfate de baryte et le perchlorate de potasse; on en recueille le plus possible sur un filtre, et l'on pèse le filtre avec la capsule après les avoir séchés; on a ainsi $P = \text{BaO.SO}^3 + \text{KO.ClO}^7$. — On remet le filtre dans l'entonnoir, on lave le filtre et la capsule à l'eau bouillante, qui enlève tout le perchlorate. On repèse le filtre avec la capsule, et l'on a, par différence, $p = \text{KO.ClO}^7$. — Enfin, on détruit le filtre par calcination, et l'on a, comme vérification, $p' = \text{BaO.SO}^3 = P - p$. — Pour doser la soude, on évapore à sec la dissolution alcoolique, on reprend par de l'acide sulfurique, on étend d'eau et l'on filtre. On évapore à sec la liqueur filtrée, pour chasser l'excès d'acide, et l'on pèse le résidu. —

Soit $\varpi = \text{NaO} \cdot \text{SO}^3 + \text{MgO} \cdot \text{SO}^3 + \text{CaO} \cdot \text{SO}^3$; on en retranche le poids connu $\varpi' = \text{MgO} \cdot \text{SO}^3 + \text{CaO} \cdot \text{SO}^3$, d'où $\text{NaO} \cdot \text{SO}^3 = \varpi - \varpi'$.

On pourrait encore, après avoir ajouté le chlorure de baryum et transformé les chlorures en nitrates, filtrer et transformer les nitrates en un mélange d'oxalates et de carbonates. Un nouveau filtrage donnerait comme résidus des carbonates de potasse et de soude, qu'on séparerait par l'acide perchlorique. — Le premier procédé est un peu plus rapide, mais comporte une légère cause d'erreur due à la présence de la magnésie.

Tous les corps ayant été dosés séparément, on en dressera le tableau dans l'ordre suivant :

- 1° Eau;
- 2° Matières insolubles;
- 3° Toute la chaux avec l'acide sulfurique;
- 4° Le reste de l'acide sulfurique avec la potasse (le sulfate de potasse se précipite et ne concourt pas à la formation du salpêtre);
- 5° Le reste de la potasse, la magnésie et la soude avec le chlore.

En opérant sur un mélange composé de :

Chlorure de potassium.	83 ^m ,5
Sulfate de magnésie.	574 ,0
Chlorure de sodium.	1298 ,0
Chlorure de calcium.	233 ,0

Schlœsing a trouvé 153^m,1 de perchlorate de potasse, correspondant à 82^m,4 de chlorure de potassium.

b) Par l'hyposulfite de chaux et le chlorure de bismuth (Carnot).

L'échantillonnage, l'humidité et le dosage des matières insolubles se font comme dans la méthode précédente.

On prépare de même une dissolution de 100^m de matière, après filtrage, dans une carafe jaugée de 1 litre, et l'on dose le chlore, la chaux et la magnésie comme il a été dit. On précipite l'acide sulfurique par le chlorure de baryum sur 10 à 20^m de la liqueur.

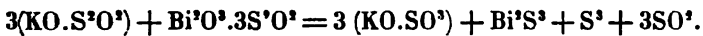
Pour la séparation de la potasse et de la soude, on se fondera sur l'insolubilité dans l'alcool de l'hyposulfite double de potasse et de bismuth, qui a pour formule :



On opère sur 10^m de la liqueur, qu'on acidifie de quelques gouttes d'acide chlorhydrique. On y verse d'abord une dissolution alcoolique

de chlorure de bismuth, obtenue en traitant 2^{gr} de sous-nitrate de bismuth par quelques gouttes d'acide chlorhydrique et purifiant la liqueur du plomb contenu par addition d'alcool et filtration, puis une dissolution de 4^{gr} d'hyposulfite de chaux. On voit se former aussitôt un dépôt blanc de sulfate de chaux; l'addition de 100 à 130^{cc} d'alcool achève cette précipitation et détermine celle de l'hyposulfite jaune de potasse et de bismuth. On laisse reposer pendant une demi-heure ou une heure, on reçoit le précipité sur un filtre et on le lave bien avec de l'alcool. On a ainsi, sur le filtre, la potasse sous forme de sel double mélangée avec du sulfate de chaux, tandis que la liqueur alcoolique légèrement acide renferme toute la soude, avec l'excès des sels de bismuth et de chaux et les autres bases ou acides contenus dans le mélange à analyser.

Pour doser la potasse, on redissout le précipité par de l'eau chaude, et l'on fait bouillir la liqueur à 100°; il se dépose du sulfure de bismuth avec soufre en excès, en vertu de la réaction :



La dissolution, devenue incolore, est filtrée et additionnée d'ammoniaque et de carbonate d'ammoniaque, pour séparer la chaux et le peu de bismuth qui n'aurait pas été précipité. On filtre de nouveau, on évapore à sec, on calcine et l'on pèse le sulfate neutre de potasse.

On procède d'une manière analogue pour la soude, en opérant directement sur la dissolution alcoolique filtrée.

On peut encore déterminer la potasse en dosant directement le bismuth. Pour cela, on reprend le précipité par de l'eau froide, lancée au moyen d'une fiole à jet; on verse dans la liqueur claire quelques gouttes d'ammoniaque et un peu de sulfhydrate, on reçoit le sulfure de bismuth sur un filtre taré, lavé à l'eau pure, sèche à 100° et pèse. Le poids de la potasse se calcule en multipliant celui du sulfure de bismuth par la fraction 0,5470. — Comme vérification, on peut doser la potasse qui est restée tout entière dans la dissolution sulfhydratée. A cet effet, on évapore la liqueur à sec dans une capsule de porcelaine avec quelques gouttes d'acide azotique, pour former des sulfates; on calcine légèrement, reprend par l'eau chaude, et précipite la chaux par l'ammoniaque et le carbonate. Après une courte ébullition, on filtre, évapore la liqueur, calcine progressivement jusqu'au rouge vif dans un creuset de platine taré, et pèse le sulfate de potasse neutre. La potasse s'obtient

en multipliant par 0,5408. — En opérant sur des poids connus de différents sels de potasse, Carnot n'a trouvé qu'un écart de quelques millièmes entre les résultats de ces deux dosages successifs. Le premier était toujours très-légèrement au-dessus et le second à peine au-dessous du nombre exact; on a ainsi une mesure certaine du degré d'approximation auquel on est arrivé.

Si le sel à analyser renferme des sulfates en quantité considérable, comme il arrive pour les sels retirés des marais salants (sulfates de potasse et de magnésie) ou du gisement de Stässfurt (mélange de sulfates et de chlorures), il y aura avantage à précipiter tout d'abord la majeure partie de l'acide sulfurique par une dissolution de chlorure de calcium et à laisser quelques minutes se former le sulfate de chaux, avant d'ajouter les deux réactifs. On continue ensuite de la même façon.

D'après une communication récente, il paraît préférable de déterminer, dans une dissolution aqueuse de l'hyposulfite double de potasse et de bismuth acidifiée par l'acide chlorhydrique, la proportion de l'acide hyposulfureux par l'emploi d'une liqueur titrée d'iode en présence d'empois d'amidon. Dès que la transformation du sel double en tétrathionate est terminée, une goutte de la liqueur titrée suffit pour faire passer la dissolution du jaune clair au brun sombre. L'opération, qui dure en tout 1 ou 2^h, donne les résultats les plus satisfaisants.

c) Par le chlorure de platine.

Le procédé d'analyse par le chlorure de platine $PtCl_2$, actuellement employé à la raffinerie de Lille, exige que la liqueur ne contienne aucun des deux acides nitrique ou sulfurique, dans lesquels le chlorure double de platine et de potassium serait soluble; il repose sur l'insolubilité de ce chlorure dans l'alcool.

L'échantillonnage et l'humidité se font comme dans les cas précédents.

On dose les matières insolubles sur 100^{gr}, et l'on recueille la liqueur filtrée dans un carafe jaugée de 1 litre.

On opère sur 10^{cc} de la liqueur (1^{er} de matière), qu'on évapore à sec dans une capsule de porcelaine tarée en présence d'un excès d'acide chlorhydrique, et l'on pèse $P = KCl + NaCl$. On reprend par un peu d'eau, et additionne d'une quantité de chlorure de platine suffisante pour obtenir la transformation complète en chloroplati-

nates (sans cela, le sel marin libre serait, en grande partie, précipité par l'alcool); on ajoute un excès d'alcool à 80 p. 100, et laisse le précipité potassique se former pendant 12 heures sous une cloche contenant du chlorure de calcium ou de l'acide sulfurique. On verse ensuite la liqueur sur un filtre sans plis amorcé à l'alcool, en y laissant tomber le moins possible de précipité; on achève le lavage avec de l'alcool et fait retomber le précipité du filtre dans la capsule avec de l'eau bouillante ou avec la pissette à alcool; on évapore à sec et pèse; du poids de chlorure double on déduit le poids p du chlorure de potassium et, par suite, $p' = P - p = \text{NaCl}$. — Comme vérification, on chauffe le résidu au rouge sombre en faisant arriver dans la capsule un courant d'hydrogène par un tube effilé; on reprend le chlorure de potassium libre par l'eau, évapore à sec et pèse. — De plus, la solution alcoolique du chlorure double de platine et de sodium est évaporée au bain de sable et portée au rouge dans un courant d'hydrogène; on lave le résidu et dose la soude à l'état de chlorure de sodium.

La marche suivie à Lille présente quelques différences avec celle que nous venons d'exposer : on ajoute immédiatement dans les 10° de la liqueur la quantité de réactif suffisante; on évapore presque à siccité, et l'on ajoute de l'alcool additionné de $\frac{1}{6}$ d'éther. On concentre un peu, puis on filtre et lave à l'alcool. Le résidu est séché à l'étuve et pesé.

d) Par le sulfate d'alumine (Balard).

Ce procédé, autrefois adopté par les raffineries de Bordeaux et de Marseille, consiste à traiter le chlorure par une dissolution chaude et concentrée de sulfate d'alumine ($\text{Al}^3\text{O}^3 \cdot 3\text{SO}^3$): l'alun de potasse se précipite par le refroidissement, et les cristaux sont purifiés par des lavages avec de l'eau saturée d'alun pur. — D'après Schläesing, l'épreuve est d'autant plus défectueuse que le chlorure à essayer est plus impur.

e) Par le nitrate d'argent.

On dose le chlore par une solution argentique titrée, et l'on divise le chlore trouvé en deux parties telles que la somme des chlorures formés ait un poids égal à celui du mélange dissous.

f) Par refroidissement de la dissolution (Gay-Lussac).

Si, dans 200° d'eau pure, on dissout 50° de chlorure de potassium,

la température s'abaisse de 11°,4; 50^{gr} de sel marin ne donnent qu'un abaissement de 1°,9. Si donc on dissout 50^{gr} du mélange des chlorures dans 200^{gr} d'eau, K et N étant les proportions p. 100 des deux sels et δ l'abaissement de température, on aura :

$$K = \frac{100\delta - 190}{9,5}, \quad N = 100 - K.$$

La précision est de 1 p. 100 au moins. L'expérience dure environ 10 minutes. Il faut réduire le mélange en poudre fine et avoir soin de tenir le ballon par le col; enfin, il faut se servir d'un thermomètre très-sensible.

Cette méthode peut s'appliquer à un mélange de salpêtre et de sel marin, et en général au mélange de deux sels dont la dissolution produit des refroidissements très-inégaux.

g) Procédé de Mohr ().*

D'après Mohr, on peut doser la potasse au moyen de l'acide tartrique. Après avoir dissous l'échantillon de potasse, on sature le liquide par l'acide tartrique et, lorsqu'on est arrivé juste au point de saturation, on ajoute encore une quantité d'acide tartrique égale à celle qu'on a déjà introduite, puis on évapore jusqu'à siccité. On arrive ainsi à transformer les alcalis en bitartrates. Le résidu, placé sur un filtre, est lavé avec une dissolution saturée de bitartrate de potasse; il ne reste plus alors sur le filtre, après le lavage, que le bitartrate de potasse, lequel doit être dosé par un procédé acidimétrique, car ce sel se comporte comme un acide. De ce dernier dosage il est facile de déduire, par le calcul, le poids de carbonate de potasse correspondant. — Le filtre absorbe naturellement une certaine quantité du liquide de lavage, mais, comme le bitartrate de potasse est peu soluble, l'erreur qui en résulte est assez faible pour pouvoir être négligée.

h) Procédé d'Esselens.

Au lieu de recourir à un dosage acidimétrique, on peut se borner à peser le bitartrate de potasse resté sur le filtre, d'abord à l'état humide, puis après dessiccation. La différence des deux pesées, c'est-

(*) Knapp, *loc. cit.*, p. 287-289.

à-dire la perte de poids produite par la dessiccation, représente le poids de l'eau de la dissolution saturée utilisée pour le lavage et conservée par le sel lavé; il est facile d'en déduire, par le calcul, le poids du sel correspondant de la dissolution. En retranchant ce poids de celui du résidu desséché, on obtient la proportion de bitartrate correspondant à la potasse de l'échantillon. — La méthode d'Esselens est plus exacte que celle de Mohr; mais, au point de vue pratique, elle lui est inférieure, car la dessiccation et les deux pesées exigent plus de temps qu'un essai acidimétrique.

i) **Essai alcalimétrique (Gay-Lussac).**

Le plus souvent, on se borne à déterminer l'alcalinité, c'est-à-dire les quantités d'alcali caustique et de carbonate contenues dans la potasse, ou, en d'autres termes, la proportion des sels alcalins neutralisables par un acide minéral. Cette détermination, qui donne le *titre alcalimétrique*, s'effectue, par la méthode de Gay-Lussac, au moyen d'acide sulfurique titré que l'on verse dans la dissolution de potasse, jusqu'à ce que la teinte du papier de tournesol passe du bleu au rouge. On connaît, *à priori*, le poids de carbonate de soude nécessaire pour saturer un volume donné d'acide titré. L'essai alcalimétrique d'une potasse indique donc la quantité de carbonate de soude pur équivalente à l'alcali caustique et carbonaté que renferme l'échantillon. Par suite, si la potasse contient une certaine proportion de soude, cette dernière base se trouve comptée pour son équivalent en potasse. Il en résulte qu'il est nécessaire, dans ce cas, de joindre à l'essai alcalimétrique un essai spécial, destiné à faire connaître la proportion de la soude.

j) **Procédé d'Anthon.**

Le procédé proposé par Anthon pour doser la soude contenue dans la potasse, et notamment le carbonate de soude, est fondé sur la solubilité relative des deux bicarbonates alcalins. La solubilité du bicarbonate de soude est moindre que celle du bicarbonate de potasse et, de plus, elle diminue notablement en présence de ce dernier sel. Si une dissolution saturée de bicarbonate de soude renferme du carbonate (ou du sesquicarbonate) de soude, ce dernier sel se précipite complètement lorsqu'on le transforme en bicarbonate au moyen d'un courant d'acide carbonique, et le précipité est exactement proportionnel à la quantité de carbonate qui existait

primitivement. Si l'on traite par cette même dissolution saturée une matière renfermant à la fois du carbonate de soude et du carbonate de potasse, et si l'on fait passer de l'acide carbonique jusqu'à saturation, le poids du bicarbonate de soude qui se précipite est plus considérable; ce poids se compose, en effet, de deux parties, l'une qui correspond exactement au carbonate de soude contenu dans l'échantillon, l'autre qui est due à la formation du bicarbonate de potasse. Cette dernière partie est d'autant plus forte que la quantité de carbonate de soude de la matière est plus faible, mais elle conserve toujours une valeur identique, lorsque les circonstances extérieures restent les mêmes. Après la saturation par l'acide carbonique, on laisse la liqueur en repos pendant 24 heures; au bout de ce temps, on sépare le bicarbonate de soude précipité, on le calcine et on le pèse.

On comprend, d'après cela, que, pour obtenir des résultats satisfaisants avec le procédé d'Anthon, on doit s'astreindre à remplir plusieurs conditions: opérer à une température déterminée, adopter une quantité également déterminée pour le bicarbonate de soude dans lequel on doit dissoudre l'échantillon, etc. Si l'on tient compte, en outre, de la multiplicité des opérations et de leur durée, on est forcé de conclure que ce procédé est, en réalité, très-complicqué et très-long, et, à ce double point de vue, il ne saurait être employé dans les opérations commerciales.

k) Procédé de Pagenstecher.

Pagenstecher sature la liqueur par l'acide sulfurique, calcine et pèse le mélange des deux sulfates, puis le lave, sur un filtre, avec une liqueur saturée de sulfate de potasse, qui ne dissout que le sulfate de soude. On pèse le résidu, d'abord à l'état humide, puis après dessiccation. Cette double pesée donne, comme dans le procédé d'Esselens, la correction nécessitée par la quantité de sulfate de potasse que la dissolution employée pour le lavage cède à la matière placée sur le filtre.

l) Procédé de Sérulas.

Le perchlorate de potasse est complètement insoluble dans l'alcool froid à 37°; il en est à peu près de même du sulfate et du silicate de potasse; le chlorure de potassium y est également très-peu soluble, tandis que le perchlorate de soude s'y dissout facilement.

C'est sur ces différences très-nettes de solubilité que repose la méthode de Sérulas pour la détermination de la soude et de la potasse mélangées, dont dérive le procédé Schlœsing, précédemment décrit (a). On traite par l'eau distillée un certain poids de l'échantillon, et l'on filtre la dissolution, qui est ensuite divisée en deux parties; l'une est soumise à un essai alcalimétrique, tandis que l'autre est évaporée presque jusqu'à siccité, saturée à l'acide acétique, puis dissoute dans l'alcool à 37° et enfin filtrée. A cette dissolution d'acétates dans l'alcool on ajoute goutte à goutte, au moyen d'une burette divisée, une dissolution titrée de perchlorate de soude, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité de perchlorate de potasse. Le nombre de divisions de la burette donne le poids de carbonate de potasse pur : en le retranchant du chiffre fourni par l'essai alcalimétrique, on a immédiatement la quantité de carbonate de soude.

m) **Procédé de Frémy.**

Si l'on traite un échantillon de potasse par l'acide chlorhydrique, qu'on évapore pour chasser l'excès d'acide employé et qu'on reprenne par l'eau, on obtient une dissolution neutre de chlorures alcalins, dans laquelle le méta-antimoniote de potasse précipite la soude à l'état de méta-antimoniote de soude. S'il y a moins de 2 à 3 p. 100 de soude, le précipité ne se forme qu'au bout d'un certain temps. D'après Frémy, ce procédé doit donner des résultats exacts à $\frac{1}{100}$ près.

III. FABRICATION DU SALPÊTRE.

A. Par le nitrate de soude et le chlorure de potassium.

Le chlorure de potassium, dont Longchamp a le premier recommandé l'emploi, était déjà en usage, dans les fabriques de salpêtre, à l'époque où on le retirait de l'eau de la mer, des cendres de varechs ou des résidus de la fabrication du prussiate de potasse. Depuis la découverte des riches gisements de Stassfurt, ces produits ont pu être utilisés, de préférence à tous les autres, pour la décomposition du nitrate de soude. Nous nous attacherons spécialement aux procédés de fabrication adoptés à la raffinerie de Lille.

a) Principe de la fabrication.

Le principe de l'opération consiste à traiter l'azotate de soude par du chlorure de potassium dans des chaudières contenant des eaux chauffées à 90°, et en quantité telle que le salpêtre formé puisse rester entièrement dissous, tandis que le sel marin, beaucoup moins soluble à chaud, se précipite. On décante la dissolution chaude dans un cristallisateur où le salpêtre se dépose par refroidissement, tandis que le sel marin, presque aussi soluble à froid qu'à chaud, reste en grande partie dissous.

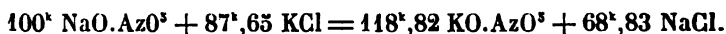
On retire donc de la fabrication trois produits distincts :

1° Du sel marin, dont l'eau de cristallisation et l'eau entraînée contiennent encore de 12 à 18 p. 100 de salpêtre, suivant le degré de concentration de la cuite et la durée de l'égouttage, et qui, après avoir été soumis à deux lavages destinés à en extraire le salpêtre, sera livré à l'industrie ;

2° Du salpêtre contenant environ 25 p. 100 d'impuretés (eau, sel marin, nitrate de soude et chlorure de potassium non décomposés), et qui sera également soumis à deux lavages avant d'être raffiné ;

3° Une solution saturée à froid de salpêtre et de chlorure de sodium, et contenant quelquefois un excès de chlorure de potassium ou de nitrate de soude.

Avec des sels purs, la formule générale de la réaction serait la suivante :



Si l'on admet que le nitrate de soude contienne 3 p. 100 d'impuretés autres que l'eau, et le chlorure de potassium de 10 à 12 p. 100, on obtiendra pratiquement, en moyenne, 110^t de salpêtre avec 84^t de sels.

b) Transformation.

La transformation des matières premières en salpêtre et en sel marin s'opère dans des chaudières plates en fer, dont la section a la forme d'un trapèze, et qui mesurent 6 à 7^m de longueur, 2 à 3^m de largeur et 0^m,63 de profondeur.

Les chaudières sont remplies le soir d'eaux salpêtrées et salées, provenant des eaux-mères de cristallisation et des eaux de lavage des sels et du salpêtre brut ; on les chauffe à feu doux pendant la nuit. Le lendemain matin, on porte les eaux à 100° et verse la pre-

mière série de charges, qui se compose de 1 000 à 2 000^k de nitrate pour chaque chaudière, suivant les dimensions, avec une quantité de chlorure déterminée d'après son titre et la quantité de nitrate employée. On agite constamment pendant 2 heures, pour éviter la formation de croûtes au fond de la chaudière et surtout pour faciliter la dissolution du chlorure de potassium; ce sel, en effet, ne se dissout qu'à mesure que la réaction se produit. Pendant les 2 heures suivantes, on relève les sels dans des mannes en osier, que l'on fait égoutter sur le bord de la chaudière et qu'on vide ensuite dans les caisses de lavage. On procède alors à la seconde série de charges, qui comprend de 900 à 1 000^k de nitrate, et l'on recommence les mêmes opérations. On décante enfin les chaudières dans les cristallisoirs, et on les alimente d'eaux froides pour le lendemain matin.

c) Cristallisation et premier lavage.

Les cristallisoirs de fabrication sont de grands vases en fer à fond incliné, présentant une grande surface et pouvant contenir chacun deux ou trois cuites; leur longueur varie de 4^m,55 à 7^m,85, leur largeur de 2^m,80 à 3^m,42, leur profondeur à un bout de 0^m,65 à 0^m,70, et leur profondeur à l'autre bout de 0^m,80 à 0^m,83. Chacun d'eux est muni d'une bonde permettant d'envoyer les eaux dans des bacs en tôle, qui reçoivent en outre les eaux de lavage des sels.

On décante les chaudières vers le soir au moyen d'une pompe mobile ou avec un chaudron et des rigoles mobiles. Le lendemain matin, on casse la croûte superficielle de salpêtre qui s'est formée, afin de faciliter le refroidissement et d'empêcher le durcissement de la matière; puis, on laisse refroidir pendant 4 jours. Le cinquième jour au matin, on enlève les eaux-mères; on casse la cuite dans la journée, et, le soir, on met en trempé pour le premier lavage, en y versant des eaux de lavage du salpêtre acheté et des eaux du second lavage du salpêtre fabriqué; le supplément de ces eaux, qu'on réduit autant que possible, est porté aux chaudières d'évaporation. Le lendemain matin, on lâche les eaux de lavage et l'on relève le salpêtre sur les bords, où on le laisse égoutter pendant 4 ou 5 heures; puis on le porte aux cristallisoirs de lavage, où il sera de nouveau lavé avant de passer au raffinage; le soir du sixième jour, le cristallisoir de transformation se trouve prêt à recevoir deux ou trois nouvelles cuites. — Sivori a proposé de supprimer le premier lavage du salpêtre de fabrication en versant dans le cristallisoir, avant la dé-

cantation, les eaux froides destinées à ce lavage. Des essais tentés dans ce sens ont donné les meilleurs résultats, au double point de vue de la pureté des produits obtenus et du mode de cristallisation du salpêtre qui, par ce procédé, ne se forme pas en couche adhérente et dure, mais en petits cristaux beaucoup plus faciles à égoutter; aussi ce mode d'opérer est-il actuellement adopté dans les raffineries de Lille et de Bordeaux.

d) Lavage des sels.

Les caisses de lavage des sels sont en bois, à double fond, et peuvent contenir chacune environ 6 000^l de sels; leurs parois antérieure et postérieure sont inclinées; leur longueur est de 3^m,55, leur hauteur de 1^m,80, leur largeur en haut de 1^m,45 et en bas de 1^m,20. Elles sont percées à leur partie inférieure de trous permettant l'écoulement des eaux, qui se rendent dans les bacs en tôle.

Les sels, sortis des chaudières et égouttés, sont versés à 100° dans les caisses, où ils se refroidissent lentement; les ouvertures inférieures, ouvertes pendant l'emplissage, sont ensuite refermées. On procède alors à un premier arrosage avec des eaux froides salées et salpêtrées à 38 ou 39° B., provenant d'arrosages précédents ou d'eaux-mères de cristallisation; on ouvre le tampon au bout d'une heure, et les eaux, réchauffées à 60° et marquant environ 45° B., vont dans les bacs en tôle où elles déposent leur salpêtre. Le lendemain matin, on fait un second arrosage à l'eau pure, à raison de 4 hectolitres par 1 000^l de sels; au bout d'une heure, on lâche les eaux, qui sont à la température de 30° et marquent 40° B. environ. On laisse égoutter pendant 4 jours, puis on vide la caisse.

e) Epreuve des eaux-mères.

Les eaux-mères de fabrication ne devraient contenir que du salpêtre et du sel marin; mais, soit par suite des erreurs de pesée ou d'analyse des matières premières, soit par le fait même des impuretés qu'apportent les eaux de lavage du salpêtre acheté, on y constate presque toujours un excès de chlorure de potassium ou de nitrate de soude. On préfère, en général, l'excès de chlorure, le nitrate étant plus difficile à éliminer dans le raffinage ultérieur du salpêtre.

On met facilement en évidence l'excès de l'un ou l'autre sel par le procédé suivant: on prend deux échantillons de 200^{cc} d'eaux-mères qu'on verse dans deux ballons, et l'on ajoute dans l'un 10^{cc} de chlo-

rure de potassium, dans l'autre 10^o de nitrate de soude. L'eau-mère étant saturée de salpêtre, on obtiendra des cristaux de ce sel dans le premier ou dans le second ballon, suivant que l'on aura un excès de nitrate ou de chlorure. Mais il faut tenir compte ici de l'influence qu'exerce sur la cristallisation du salpêtre la présence de certains sels étrangers, et en particulier celle du chlorure de potassium, qui détermine un dépôt notable de salpêtre. Aussi opère-t-on simultanément, et de la même manière que pour les eaux à essayer, avec des eaux saturées à froid de salpêtre et de sel marin purs. De la comparaison des quatre ballons on conclut facilement à un excès de chlorure ou de nitrate dans les eaux-mères de fabrication.

f) Épreuve des sels de cuite.

Les sels de cuite des chaudières de fabrication, soumis à deux lavages successifs, renferment toujours, outre le sel marin, un peu d'acide nitrique et de potasse. Il faut s'assurer, dans le cours même des opérations, que la proportion des matières utilisables n'est pas trop forte.

On dose l'acide nitrique à l'appareil Schløesing (p. 94) sur 30^o d'une dissolution de 240^o du sel dans 1 litre; comme, pour le type, on opère sur 5^o d'une dissolution de 80^o de salpêtre pur dans 1 litre, il faudra diviser le titre trouvé par 18. On sait, une fois pour toutes, que le type donne un certain nombre de divisions, 92 par exemple, et l'on voit approximativement si le sel contient trop d'acide nitrique.

La potasse est rarement dosée; son titre est ordinairement plus fort que celui de l'acide, à cause de la faible solubilité du sulfate de potasse, qui reste en partie avec le sel marin.

On peut encore se régler sur le refroidissement produit par la dissolution d'un poids déterminé de sel. On sait que, si l'on dissout 50^o de divers sels dans 200^o d'eau, on observe un refroidissement de 1°,9 pour le sel marin et de 11°,4 pour le chlorure de potassium; les nitrates de potasse et de soude donnent des refroidissements intermédiaires. Si donc il reste encore des matières utilisables dans le sel à essayer, le refroidissement sera supérieur à 1°,9.

g) Autres procédés de fabrication par les chlorures.

Anthoua a proposé le mode d'opération suivant. On dissout le nitrate dans son poids d'eau ou dans une quantité un peu plus grande,

et l'on ajoute le chlorure préalablement broyé, qui ne tarde pas lui-même à se trouver complètement dissous; on concentre la liqueur jusqu'à 40 ou 42° B., et l'on recueille les sels dans une capsule, ainsi que nous l'avons indiqué pour le lessivage du salpêtre (p. 42). Lorsque le liquide est arrivé à la densité convenable, on couvre la chaudière, on le laisse s'éclaircir, puis on le fait couler dans les cristallisoirs. — Les cristaux de salpêtre, retirés avec 1 p. 100 de sel marin, sont arrosés avec une quantité d'eau froide suffisante pour les imbiber entièrement; après 12 heures de contact, le liquide, saturé de salpêtre, a dissous la majeure partie du sel marin, et les cristaux ne contiennent plus que 0,25 p. 100 de ce sel. — Les sels retirés de la chaudière sont chargés dans un tonneau dont le fond, percé de trous, est recouvert d'une toile; on verse, par le haut, une dissolution froide de sel marin provenant d'une opération précédente. Quand la liqueur qui s'écoule du tonneau est froide et ne marque plus que 25° B., tout le salpêtre des sels s'y trouve contenu, et on la renvoie dans la chaudière.

Bolley a proposé de décomposer le nitrate de soude par le chlorure de baryum, qu'on peut obtenir aujourd'hui à des prix modérés. Il se forme, dans ce cas, du sel marin et l'azotate de baryte, que l'on transforme en salpêtre par l'emploi du carbonate ou du sulfate de potasse; le sulfate de baryte, qu'on obtient dans ce dernier cas, peut être utilisé pour la peinture, etc. L'emploi du sel de baryte, qui constitue une complication notable, a pour but d'élever le rendement en salpêtre; toutefois, même avec ce procédé, il reste encore 11 à 12 p. 100 de ce sel dans les eaux-mères.

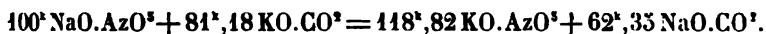
B. Par le nitrate de soude et le carbonate de potasse (*).

L'emploi du carbonate de potasse pour décomposer le nitrate de soude présente un grand inconvénient: la réaction n'est jamais complète, lors même qu'on emploie rigoureusement les quantités nécessaires pour la décomposition. En outre, le carbonate de potasse même purifié renferme souvent du carbonate de soude, et toujours du sulfate et du silicate de potasse, du chlorure de potassium et divers autres sels; comme le salpêtre du Chili contient du sulfate de

(*) Knapp, *loc. cit.*, p. 128 sqq.

potasse et du chlorure de sodium, on conçoit que ces différents corps, joints aux sels non décomposés, doivent influer sur la pureté des produits et compliquer notablement le traitement des eaux-mères. Le seul avantage réel de cette méthode résulte de ce que l'opération fournit, comme produit accessoire, du carbonate de soude, dont la valeur commerciale est assez considérable.

Avec des sels purs, on aurait la réaction :



Si l'on suppose que le salpêtre du Chili renferme 94 ou 96 p. 100 de nitrate de soude et que le carbonate de potasse employé soit parfaitement pur, on recueillera 112 ou 114^t de salpêtre et 69 ou 67^t de sels.

a) Procédé de Wöllner.

D'après Wöllner, il convient d'opérer de la manière suivante. On commence par préparer des dissolutions des deux matières premières: pour le carbonate, on se sert d'une cuve en tôle et l'on fait couler dans une citerne de grandes dimensions le liquide clair marquant 42° B.; le nitrate est placé dans une cuve à double fond qui peut en contenir 5 000^t environ, sur lesquels on fait passer un courant d'eau, en ayant soin de remplacer de temps en temps le sel dissous, et la liqueur marquant 42° B. se rend dans une seconde citerne. On envoie ensuite les deux dissolutions, au moyen de pompes, dans une grande chaudière en tôle; des repères, ménagés sur cette chaudière, servent à régler les quantités des deux sels proportionnellement à leurs équivalents chimiques. On évapore jusqu'à 50° B.: il se forme du salpêtre et du carbonate de soude, qui se dépose avec un seul équivalent d'eau.

Au fur et à mesure que le dépôt s'effectue, on le pousse vers la partie la moins chauffée de la chaudière, puis on l'enlève à la pelle pour le jeter dans une caisse filtrante munie d'un couvercle et d'un fond en tôle perforée. Le carbonate de soude s'y égoutte et, pour achever de le débarrasser de l'eau-mère, on introduit sous le couvercle un jet de vapeur: au bout d'un temps très-court, cette vapeur, en se condensant, forme à la partie supérieure une couche tenant en dissolution une certaine quantité de soude et qui déplace, de haut en bas, l'eau-mère mêlée de salpêtre; cet effet se produit d'autant mieux qu'à la température de 100°, la dissolution saturée de nitrate de

soude marque 33° B., tandis que celle qui est saturée de salpêtre arrive à 48° B. Quand le liquide qui coule au-dessous du filtre ne marque plus que 35° B., on peut être sûr que le carbonate de soude est complètement débarrassé de salpêtre ; il est alors traité comme soude et livré au commerce.

Après séparation du carbonate de soude, la liqueur est envoyée dans des cristallisoirs où se dépose le salpêtre. Les eaux-mères sont ajoutées aux liquides qu'on traite dans l'opération suivante ; mais, comme elles renferment toujours des sels non décomposés, surtout du nitrate de soude, il vient un moment où l'on ne peut plus les traiter aussi simplement et où il faut recourir à des procédés compliqués et coûteux.

b) Procédé russe.

En Russie, on dissout le salpêtre du Chili mélangé avec une quantité de carbonate de potasse un peu supérieure à celle qui est théoriquement nécessaire ; la quantité d'eau employée doit être déterminée de telle sorte qu'après double décomposition à 62°, les sels formés restent complètement dissous. C'est à cette température que la liqueur, tirée au clair après la précipitation des carbonates de chaux et de magnésie, arrive dans les cristallisoirs. Le salpêtre s'y dépose d'abord en majeure partie, puis la soude elle-même commence à cristalliser ; il convient, à ce moment, de transvaser la liqueur dans un autre réservoir.

Dans ces conditions, le carbonate de soude renferme du salpêtre, et réciproquement. On ne peut purifier ces deux corps que par des cristallisations successives, et encore, pour la soude, n'arrive-t-on pas à la débarrasser complètement du salpêtre. Les eaux-mères provenant de ces deux sources sont traitées séparément et donnent des sels où l'élément dominant est tantôt la soude, tantôt le salpêtre.

Cette méthode donne des résultats assez peu satisfaisants.

c) Procédé Gentile.

D'après Gentile, on dissout séparément le nitrate de soude et le carbonate de potasse dans des quantités d'eau bouillante telles que, par leur mélange, le carbonate de soude à un équivalent d'eau se précipite, en grande partie, sous forme de petits cristaux.

Après avoir enlevé ces cristaux, on continue à évaporer la liqueur

jusqu'à ce qu'il ne se précipite plus de carbonate de soude; on peut alors procéder à la séparation des carbonates terreux et des matières insolubles que contient toujours le salpêtre du Chili. Pour arriver à ce résultat, il est nécessaire d'étendre la dissolution de la chaudière d'une certaine quantité d'eau pure. En mélangeant à cette dissolution une petite proportion de colle, on obtient, avec les matières organiques colorantes, un précipité qui vient en quelque sorte servir d'enveloppe aux parties terreuses et facilite ainsi leur séparation. Après avoir décanté la liqueur, on peut l'abandonner au repos, si l'on veut obtenir de gros cristaux, ou, au contraire, l'agiter constamment lorsqu'on veut simplement former des cristaux très-petits, destinés à être soumis à un raffinage ultérieur.

Quant au carbonate de soude fourni par cette opération, on le purifie en le divisant en un certain nombre de parties qu'on soumet successivement, dans la chaudière, à l'action d'une même quantité d'eau introduite au début. Cette eau, après avoir servi au lavage de la première partie, se trouve saturée de carbonate de soude, de telle sorte qu'en agissant sur les autres parties, elle les débarrasse du salpêtre qu'elles peuvent contenir, sans se charger d'une nouvelle quantité de soude.

C. Par le nitrate de soude et la potasse brute.

Les difficultés se trouvent naturellement augmentées, lorsqu'on fait usage de potasse préparée au moyen des mélasses de betteraves. Le salin, obtenu en lessivant les matières charbonneuses données par l'incinération des vinasses, ne renferme d'ordinaire que 30 p. 100 de potasse, avec des quantités considérables de carbonate de soude, de chlorure de potassium et de sulfate de potasse, puis, en plus faibles quantités, du ferrocyanure de potassium et des sulfocyanures métalliques. A l'époque où l'on commença sérieusement la fabrication de ce produit dans les usines à sucre, on avait pensé que la présence de ces nombreuses matières étrangères n'aurait pas, pour la décomposition du nitrate de soude, les inconvénients qu'elle présente pour un grand nombre d'autres fabrications; mais, en réalité, la soude qu'on obtient ainsi est à un degré trop faible pour être marchande, car elle contient à peine 50 p. 100 de carbonate pur. De plus, les eaux-mères ont une composition extrêmement complexe; c'est ainsi qu'en dehors du salpêtre et du car-

bonate de soude, Schwartz y a trouvé du chlorure de potassium, du sulfate de potasse, une forte proportion de sulfocyanure de sodium et de petites quantités d'azotites, d'iodures et de bromures: ces eaux-mères donnent quelquefois, d'après Fehling, des cristaux de carbonate double de soude et de potasse, correspondant à la formule $\text{KO.NaO.2CO}^2.12\text{HO}$.

D. Par le nitrate de soude et la potasse caustique.

En partant de cette idée, que la décomposition du nitrate de soude devait être d'autant plus complète et donner un salpêtre d'autant plus pur que le produit obtenu accessoirement et le nitrate de potasse auraient des solubilités plus différentes, on a été conduit à l'emploi de la potasse caustique: on espérait obtenir ainsi de la soude caustique, d'une utilisation immédiate pour les savonneries.

Si l'on évapore jusqu'à 30° B. une dissolution formée d'un mélange, en proportions convenables, de nitrate de soude pur et de potasse caustique, la plus grande partie du salpêtre cristallise bien, mais il en reste assez dans la liqueur pour qu'il se forme des effervescences à la surface du savon fabriqué avec cette soude impure. En évaporant jusqu'à 50° B., on arrive à une séparation à peu près complète, mais il est alors difficile, d'après Gentele, d'obtenir des vases en fonte qui puissent résister à l'action d'une dissolution aussi concentrée. Schnitzer a proposé d'employer le carbonate de potasse pour opérer la décomposition, et de rendre ensuite la soude caustique en décomposant le carbonate par la chaux.

En décomposant le salpêtre du Chili par la potasse d'Amérique du commerce, qui renferme toujours beaucoup d'alcali caustique, on se trouve employer, en réalité, un procédé mixte.

§ IV.

ÉPREUVES DU SALPÊTRE BRUT.

Le salpêtre brut n'est payé à l'industrie que pour le nitrate de potasse pur qu'il contient; il y a de plus intérêt, au point de vue de l'opération ultérieure du raffinage, à connaître la teneur du sal-

pêtre en matières étrangères. De là, la nécessité de le soumettre à une épreuve destinée à en déterminer le degré de pureté.

Nous indiquerons d'abord les principaux procédés entrés dans la pratique et ayant pour but de doser directement le salpêtre. Nous signalerons, en second lieu, les diverses méthodes proposées pour le dosage de l'acide nitrique. Enfin, nous décrirons les procédés d'analyse complète et rigoureuse d'un salpêtre brut.

I. DOSAGE DIRECT DU SALPÊTRE.

a) Méthode du clairçage (Bottée et Riffault).

Ce procédé, introduit en France par Bottée et Riffault en 1797 (instruction du 11 messidor an V), est fondé sur la solubilité des sels autres que le salpêtre dans une solution saturée de salpêtre pur raffiné.

Pour faire l'échantillonnage du salpêtre brut, on prélève des quantités égales de sel au-dessus, au milieu et au fond des sacs ou tonneaux, et on les réunit dans une terrine de grès où elles sont broyées et mélangées. On opère sur 400^{gr}; un second échantillon de 400^{gr} est mis à part dans un bocal de verre, pour servir de vérification ou en cas d'accident survenu dans l'épreuve.

On prépare la liqueur de clairçage en traitant jusqu'à saturation par l'eau bouillante du salpêtre raffiné parfaitement pur; la liqueur est décantée dans un vase au fond duquel on a soin de maintenir du salpêtre. Si la liqueur est ancienne, on ajoute une dissolution saturée chaude, et l'on remue jusqu'à ce que l'agitation cesse de faire remonter l'aréomètre. Il faut, en outre, avoir soin que la dissolution soit ramenée à la température invariable du local. On s'assure que la liqueur reste constamment saturée au moyen d'un aréomètre spécial ou *nitromètre*, que l'on doit à Gay-Lussac; la graduation de cet instrument est telle, que les degrés qu'il indique, aux différentes températures, coïncident respectivement avec ceux du thermomètre lorsque la dissolution est exactement saturée.

L'échantillon de 400^{gr}, placé dans un bocal de verre, est arrosé de 0^l.3 de la liqueur de clairçage; on agite 15 minutes, laisse déposer le sel et décante sur un filtre à plis. On arrose de nouveau le résidu avec 0^l.25 d'eau saturée (ce qui suffirait théoriquement pour enlever 66 p. 100 d'impuretés), on agite 15 minutes et verse le tout sur le

filtre; ce filtre est placé dans un grand entonnoir en verre, soutenu par des baguettes de verre ou des tuyaux de paille. On laisse égoutter le filtre, puis on le déploie sur un double de papier gris; on étend le sel également sur toute la surface, et l'on porte le tout sur un lit de matières absorbantes (cendres, chaux, retailles de tuf, plâtre, etc.). Au bout de 24 heures, on râcle le salpêtre, on le porte dans le bocal où il a été lavé, et on le sèche sur un bain de sable à la température de 100° environ, en agitant constamment jusqu'à ce qu'il n'adhère plus aux parois ni à la spatule. Il ne reste plus qu'à le peser : la perte de poids représente le déchet du salpêtre brut.

Cette méthode comporte plusieurs causes d'erreur. Quelques-unes tendent à diminuer le déchet : ainsi, les matières terreuses insolubles du salpêtre brut, dont la proportion atteint quelquefois 2 p. 100, sont comptées comme salpêtre pur; la liqueur de clairçage qui mouille la matière laisse déposer, quand on la met sur le bain de sable, une quantité de salpêtre qui est toujours, il est vrai, au-dessous de 1 p. 100, et l'on peut même supposer que cette eau saturée abandonne immédiatement de petites quantités de salpêtre, soit par suite de l'affinité des sels terreux déliquescents pour l'eau de la liqueur, soit par un effet d'attraction du salpêtre d'épreuve déjà cristallisé, soit plutôt à cause de la présence de certains sels, tels que le chlorure de potassium ou le nitrate de soude, qui ont un élément commun avec le salpêtre et qui en diminuent la solubilité. Une circonstance analogue produit une cause d'erreur inverse : si le salpêtre est riche en chlorure de sodium, la liqueur de clairçage, une fois chargée de ce sel, peut dissoudre une nouvelle quantité du salpêtre d'épreuve, et le déchet s'en trouve augmenté. En général, un salpêtre riche en chlorure de potassium est avantageux pour le fournisseur : c'était le cas du salpêtre des Indes; un salpêtre riche en chlorure de sodium ou de magnésium est avantageux pour l'État : c'est le cas du salpêtre de fabrication indigène; aussi l'industrie modifie-t-elle ses prix en conséquence.

On a cherché à tenir compte de ces diverses causes d'erreur en prescrivant d'ajouter 2 p. 100 au déchet trouvé. La tolérance est de 15 p. 100 pour le déchet total (ordonnance du 5 août 1820). — On doit s'assurer, par une dissolution à chaud du salpêtre obtenu, que la proportion des matières insolubles ne dépasse pas 1 p. 100; on ajouterait le surplus au déchet. Cette proportion est, en moyenne, de

0,15 p. 100; pour les salpêtres les moins purs, elle atteint 0,75 p. 100
Ce procédé n'est plus employé qu'en France.

A la raffinerie de Lille, on opère sur une quinzaine de lots à la fois en se servant, pour l'agitation, d'un mélangeur mécanique qui permet de faire tourner à la fois 16 agitateurs dans 16 bocaux différents; les 16 entonnoirs sont disposés au-dessus d'une rigole en cuivre, qui recueille les eaux et les conduit à un réservoir commun.

b) Méthode de la fusion (Schwartz).

En 1813, G. Schwartz introduisit en Suède un procédé tout à fait rudimentaire. Dans ce pays, la fourniture du salpêtre constitue, pour tous les propriétaires, une partie de l'impôt. Pour en faire l'épreuve, on le fond dans une poche en fonte, et on le coule en tablettes d'une once et demie, ayant un pouce d'épaisseur. Après refroidissement, le gâteau ainsi obtenu doit avoir une cassure rayonnante; sinon, le préposé aux réceptions peut le refuser. Le salpêtre pur présente des rayons nettement dessinés; avec 1,235 p. 100 de sel marin, les rayons sont déjà moins nets; avec 1,96 p. 100, le milieu présente une bande non rayonnée; enfin, avec 2,6 p. 100, les bords seuls offrent une texture rayonnante.

Cette méthode est, il est vrai, très-rapide, puisqu'elle permet de faire 30 épreuves en une heure; mais elle présente assez peu de garanties d'exactitude.

c) Méthode du point de cristallisation (Huss).

En 1823, le colonel d'artillerie Huss fit adopter en Autriche, où l'on tolère 10 p. 100 d'impuretés, un procédé d'épreuve reposant sur cette hypothèse, que la quantité du salpêtre dissous dans un poids d'eau déterminé ne dépend que de la température du liquide; il admettait, en effet, que la présence des chlorures n'influe pas sur la solubilité du salpêtre, et que, par suite, dans une dissolution de salpêtre et de sel marin, les cristaux commencent à se déposer précisément à la température à laquelle ils se seraient déposés, si l'on avait dissous la même quantité de salpêtre pur dans la même quantité d'eau.

Huss a dressé, au moyen d'expériences directes, un tableau indiquant les quantités de salpêtre qui saturent exactement 100 parties d'eau aux différentes températures. Pour faire l'épreuve, on dissout 40 parties du salpêtre à essayer dans 100 parties d'eau préalablement

échauffée à 45° R. et pesée (soit 166^{gr},6 de salpêtre dans 416^{gr},5 d'eau), et l'on fait refroidir en agitant constamment. Un thermomètre donnant le quart de degré plonge dans la dissolution, et permet d'observer la température à laquelle les premières aiguilles de cristaux commencent à se montrer : on en déduit le taux pour 100 cherché. Si, par exemple, le salpêtre est parfaitement pur, la cristallisation commence à 20°,25 ; mais on n'aurait que 35,81 de salpêtre pur dans les 40 parties soumises à l'épreuve, si les aiguilles ne se montraient qu'à 18°, et le taux serait alors de 89,5 p. 100.

Le tableau suivant indique les différents points de cristallisation correspondant à des salpêtres dont le taux varie de 55,7 à 100 p. 100.

TEMPÉRA- TURE.	SALPÊTRE dissous dans 100 d'eau	TAUX P. 100.	TEMPÉRA- TURE.	SALPÊTRE dissous dans 100 d'eau.	TAUX P. 100
8°,00 R.	22,27	55,7	14°,25 R.	30,00	73,0
8°,25	22,53	56,3	14°,50	30,36	73,9
8°,50	22,80	57,0	14°,75	30,72	76,8
8°,75	23,08	57,7	15°,00	31,09	77,7
9°,00	23,36	58,4	15°,25	31,44	78,6
9°,25	23,64	59,1	15°,50	31,83	79,6
9°,50	23,92	59,8	15°,75	32,21	80,5
9°,75	24,21	60,5	16°,00	32,59	81,5
10°,00	24,51	61,3	16°,25	32,97	82,4
10°,25	24,81	62,0	16°,50	33,36	83,4
10°,50	25,12	62,8	16°,75	33,75	84,4
10°,75	25,41	63,5	17°,00	34,15	85,4
11°,00	25,71	64,3	17°,25	34,55	86,4
11°,25	26,02	65,0	17°,50	34,90	87,4
11°,50	26,32	65,8	17°,75	35,38	88,4
11°,75	26,64	66,6	18°,00	35,81	89,5
12°,00	26,96	67,4	18°,25	36,25	90,6
12°,25	27,28	68,2	18°,50	36,70	91,7
12°,50	27,61	69,0	18°,75	37,15	92,9
12°,75	27,94	69,8	19°,00	37,61	94,0
13°,00	28,27	70,7	19°,25	38,08	95,2
13°,25	28,61	71,5	19°,50	38,55	96,4
13°,50	28,95	72,4	19°,75	39,03	97,6
13°,75	29,30	73,2	20°,00	39,51	98,8
14°,00	29,65	74,1	20°,25	40,00	100,0

Si la température de l'eau s'était trop abaissée avant la dissolution complète du salpêtre, il suffirait de replonger le vase dans de l'eau chaude; on opérerait de même dans le cas où la précipitation des premiers cristaux aurait passé inaperçue. Inversement, si, dans l'essai d'un salpêtre très-pauvre, la température ne s'était pas suffisamment abaissée, comme il peut arriver dans la saison des fortes chaleurs, on plongerait le vase contenant la dissolution dans un bain d'eau froide, qu'on pourrait rafraîchir encore en y jetant un peu de salpêtre.— S'il arrivait, contre toute vraisemblance, que l'on eût affaire à un salpêtre contenant plus de 45 p. 100 d'impuretés, auquel cas la table de Huss ne pourrait plus servir, il suffirait d'additionner la liqueur d'une certaine quantité de salpêtre pur, dont on ferait déduction après l'essai. Supposons qu'on ait réellement à examiner un pareil salpêtre ou quelque matière analogue: on en prendra 80 parties, auxquelles on ajoutera 20 parties de salpêtre pur, on mélangera intimement la matière, et l'on en prélèvera 40 parties pour les dissoudre dans 100 parties d'eau, comme ci-dessus. Si la liqueur ne cristallise qu'à 9°,73, c'est que le titre du mélange final est de 60,5 p. 100: celui du salpêtre brut est donc de 40,5 p. 100.

Comme la rigueur des résultats d'une semblable méthode dépend de l'exacte détermination des quantités d'eau et de salpêtre, aussi bien que de celle de la température, il est évident qu'il faut opérer avec du salpêtre parfaitement sec: sans cela, la liqueur contiendrait un excès d'eau, cette eau dissoudrait une quantité de salpêtre correspondant à sa température et à son poids, et l'épreuve se trouverait ainsi faussée. Considérons, par exemple, un salpêtre dont la cristallisation commencerait à 18° R. et marquerait, par suite, un titre de 89,5 p. 100. Si ce salpêtre contenait 2,5 p. 100 d'humidité, ces 2,5 parties d'eau ont dissous, à cette température, 0,88 partie de salpêtre dont on n'a pas tenu compte, et le titre véritable serait 90,38 p. 100. On doit donc toujours faire sécher un poids déterminé du salpêtre à essayer, dont on évalue en même temps l'humidité, et l'on se sert du salpêtre sec pour faire l'épreuve.

Comme nous l'avons fait remarquer plus haut, cette méthode repose sur cette hypothèse que ni les chlorures ni les autres sels ne modifient le point de saturation de la dissolution du salpêtre. Cette hypothèse n'est pas fondée: les sels qui ont un élément commun avec le salpêtre (chlorure de potassium, nitrates de soude, de magnésie, etc.) gênent sa dissolution; au contraire, le sel marin, le

chlorure de magnésium, etc., la favorisent. D'après Longchamp, 100^g d'une dissolution saturée à 18° C. et contenant 21,63 p. 100 de salpêtre, peuvent dissoudre en plus 0^g,744 par une addition de 5^g de sel marin, 1^g,267 par une addition de 10^g, et au maximum 3^g,22 par une addition de 26^g,85. Cette dernière circonstance ne constitue pas, dans la pratique, un inconvénient sérieux, car, pendant l'opération du raffinage, la plus grande partie du salpêtre correspondant au sel marin se trouve éliminée.

Cette méthode, d'une exécution facile, serait donc à tous égards la plus sûre et la plus rapide, si plusieurs chimistes n'avaient élevé des doutes sur l'exactitude de ses résultats.

A la suite d'expériences exécutées avec le plus grand soin, Werther a trouvé, dans des circonstances identiques, des différences de 3,3 p. 100 et des oscillations de 0,35 à 3,7 de part et d'autre du titre véritable. Ces observations sont confirmées par Kayser.

Toel, au contraire, a trouvé le procédé de Huss parfaitement justifié. D'après ce chimiste, il est essentiel d'opérer sur des proportions rigoureusement exactes d'eau et de salpêtre : pour cela, on place le salpêtre préalablement séché dans un vase taré, avec la quantité d'eau prescrite et un thermomètre plongeant dans la dissolution ; on chauffe le tout au bain-marie jusqu'à 45° à 50° R., en remplaçant l'eau évaporée ; on filtre alors la dissolution, pour que la poussière et les impuretés ne gênent pas la précipitation des cristaux, et l'on fait servir à l'épreuve la première moitié du liquide filtré.

II. DOSAGE DE L'ACIDE NITRIQUE.

a) Procédé Gay-Lussac.

Pour remédier aux inconvénients du procédé de Riffault, Gay-Lussac a cherché à doser l'acide nitrique alcalimétriquement, après l'avoir transformé en acide carbonique. Il a proposé, à cet effet, de calciner 1 partie de salpêtre avec $\frac{1}{2}$ de charbon et 4 de sel marin, de dissoudre la masse dans l'eau, de filtrer et doser volumétriquement l'acide carbonique au moyen d'une solution titrée d'acide sulfurique étendu. On peut reprocher à cette méthode, comme le remarque Werther, de doser en bloc tous les nitrates, sans distinguer spécialement le salpêtre.

On peut en dire autant du procédé proposé par Mayer dans sa

Chimie militaire, et qui consiste à faire fondre ensemble 100 parties de salpêtre brut avec 80 de soufre et 400 de sel marin, pour transformer les nitrates en sulfates; à 115 parties de sulfate de baryte, résultant de l'analyse, correspondent 100 parties de salpêtre pur contenues dans l'échantillon.

Le procédé de Gay-Lussac donne encore lieu à une critique : d'après Abel et Bloxam, il reste toujours un peu de salpêtre non décomposé, et il se forme en revanche une quantité quelquefois notable de cyanure de potassium qui, pendant la calcination, se transforme en cyanate de potasse et donne ensuite naissance à des produits ammoniacaux qui se dissolvent. Ces chimistes ont proposé, pour détruire le cyanate, de refondre la masse avec 1,2 partie de chlorate de potasse. Dans une communication ultérieure, ils annoncent qu'on obtient de bons résultats en faisant déflagrer dans une capsule de platine, à la température rouge modérée, 20 parties de salpêtre avec 5 de graphite très-fin calciné d'après le procédé de Brodie, et 80 de sel marin; dans ces conditions, il ne doit pas se former de cyanure, et la nouvelle calcination avec du chlorate de potasse ne devient nécessaire que pour les salpêtres contenant des sulfates. Si le graphite renfermait du sulfure de fer, on l'en débarrasserait en le traitant par des acides. Quant au chlorate de potasse, on a soin de le répandre à la surface de la matière, après avoir éloigné la capsule du fourneau, et de chauffer à la lampe aussi longtemps qu'on aperçoit un dégagement gazeux. — Cette méthode est très-exacte, mais ne peut s'appliquer qu'à un salpêtre ne contenant pas d'autres nitrates.

b) Procédé Persoz.

La méthode de Persoz présente le même inconvénient. Elle consiste à fondre le salpêtre à essayer, dont on pèse 2 à 3^{es} après refroidissement; on les met dans une assez grande capsule de platine, et l'on ajoute un poids double de bichromate de potasse préalablement fondu et pulvérisé. On repèse et chauffe progressivement jusqu'au rouge sombre, tant qu'il se produit un dégagement de vapeurs nitreuses. On pèse après refroidissement, et la perte de poids indique la quantité d'acide nitrique éliminée. — Si le salpêtre contient de la potasse et de la soude, on trouve un poids trop fort en transformant par le calcul l'acide obtenu en nitrate de potasse, et, au contraire, un poids trop faible en le transformant en nitrate de soude: on peut

en déduire les proportions des deux sels existant dans le salpêtre brut. Mais cette conclusion n'est admissible que si le nitrate de soude est en assez grande quantité, et si la matière ne contient pas d'autres sels étrangers (*).

c) **Procédé Reich.**

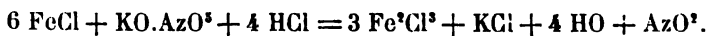
D'après Reich, on place le salpêtre préalablement fondu et pesé dans une capsule de platine avec 4 à 6 fois son poids de quartz pulvérisé, et l'on chauffe jusqu'à la température du rouge faible. L'acide nitrique est ainsi chassé et remplacé par la silice, tandis que les sulfates et les chlorures n'éprouvent aucune décomposition. L'épreuve se termine comme dans le cas précédent. — Dans ce procédé, toutes les pertes de poids sont portées au compte de l'acide nitrique; l'échantillon ne doit donc contenir ni composés organiques ou ammoniacaux, ni sels étrangers dont les acides peuvent être en partie déplacés par la silice. En outre, il est difficile de ne pas dépasser la température du rouge faible, et l'on s'expose ainsi à volatiliser du chlorure de sodium en même temps que de l'acide azotique.

d) **Procédé Gossart.**

La méthode de Gossart repose sur le principe déjà utilisé par Gay-Lussac pour la chlorométrie et l'épreuve des manganèses. Le salpêtre à essayer est mélangé à de l'acide sulfurique et traité par une solution titrée de sulfate de protoxyde de fer, jusqu'à ce qu'une goutte de la liqueur chauffée produise un précipité bleu dans une dissolution de cyanoferrure de potassium. De la quantité de réactif employée résulte celle de l'acide nitrique contenu dans la liqueur.

e) **Procédé Pelouze.**

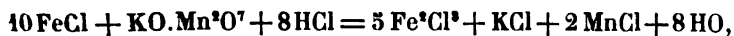
Pelouze a perfectionné le procédé Gossart en réduisant l'acide nitrique par un poids déterminé de protochlorure de fer en présence de l'acide chlorhydrique, et dosant le chlorure non décomposé par le permanganate de potasse. La formule de la réaction est la suivante :



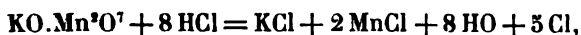
(*) Pour le dosage de la soude, cf. p. 114 sqq.

On attaque 2^{re} de fil de fer par 80 à 100^{cc} d'acide chlorhydrique concentré, dans un ballon de 150^{cc} fermé par un bouchon que traverse un tube effilé, et l'on chauffe doucement. Dès que la dissolution est terminée, on y jette 1^{re},2 du salpêtre à essayer, replace rapidement le bouchon et fait bouillir. Quand la liqueur s'est éclaircie et a passé du brun au jaune clair, ce qui arrive au bout de 5 à 6 minutes, on la verse dans un vase un peu plus grand, on lave le ballon à l'eau distillée et l'on étend le tout jusqu'au volume de 1^l. On ajoute alors une solution titrée de permanganate de potasse contenue dans une burette graduée, en agitant continuellement le liquide, jusqu'à ce qu'une goutte en excès produise une coloration rose. La quantité de permanganate employée indique la proportion de fer non oxydé par le nitrate; si on la retranche des 2^{re} primitivement introduits, on en déduit facilement le titre en salpêtre pur, sachant que 1^{re} de fer correspond à 0^{re},608 de salpêtre.

Cette méthode, qui demande beaucoup de temps, ne donne pas des résultats absolument rigoureux. Pelouze a reconnu qu'un même fil de fer contient des proportions de charbon assez variables, pouvant conduire à une erreur de 0,5 p. 100 sur le taux du salpêtre. Si le feu est trop vif, il peut arriver qu'une portion de l'acide nitrique soit éliminée avant d'avoir agi sur le chlorure. Si le bioxyde d'azote n'est pas entièrement chassé de la liqueur, ce qui est surtout à craindre pour les dissolutions très-étendues, il se transformera plus tard en acide azoteux, et la quantité de permanganate réduit sera supérieure à celle qui correspond au chlorure non oxydé. Enfin, comme l'ont démontré Löwenthal et Lenssen, quand on veut titrer par le permanganate une solution ferrique contenant de l'acide chlorhydrique, à côté de la réaction principale :



se produit toujours la réaction accessoire :



c'est-à-dire qu'on obtient du chlore libre, lequel disparaît en partie avant d'avoir agi sur le fer, et l'action oxydante de la portion correspondante du permanganate se trouve perdue. — Pour ces divers motifs, Abel et Bloxam trouvèrent, dans l'application du procédé, des résultats très-variables. — Fresenius conseille de faire trois ou quatre dosages successifs dans une même liqueur, où l'on ajoute

des quantités égales de la solution ferrique : les derniers chiffres seuls sont concordants.

f) Procédé Schlessing.

Ce procédé est fondé sur la même réaction que celui de Pelouze ; mais, au lieu de chercher à doser le chlorure de fer non attaqué, on mesure directement le volume du bioxyde d'azote produit. — Ce gaz est recueilli sur l'eau, qui dégage un peu d'oxygène et d'azote dissous : l'azote produit une légère augmentation de volume, presque exactement compensée par la contraction qui résulte de la transformation du bioxyde en acide azotique. On fait la lecture des volumes une ou deux heures après l'opération. Pour éviter les corrections de température et de pression qu'il serait indispensable de faire subir à cette lecture, on opère simultanément sur des poids égaux de salpêtre brut et de salpêtre pur, et le rapport des deux volumes obtenus représente le taux p. 100 cherché.

L'appareil se compose d'un ballon de 400^{cc}, fermé par un bouchon en caoutchouc percé de deux trous : l'un d'eux donne passage à un tube capillaire en verre qui descend jusqu'au fond du ballon, et dont l'extrémité supérieure est reliée à un petit entonnoir en verre par un tube court en caoutchouc qui peut être fermé par une pince ; le second trou porte un tube à dégagement sur lequel est fixé par un caoutchouc un tube horizontal, beaucoup plus fin, de 0^m,10 de longueur, qui sert de réfrigérant en plongeant dans une cuve à eau. Cette cuve est en bois, garnie de plomb intérieurement et divisée en deux compartiments séparés par un pont : l'eau s'écoule d'une manière continue du plus grand compartiment dans le plus petit par-dessus le pont et entraîne l'acide chlorhydrique dégagé par le tube horizontal qui plonge dans le petit compartiment.

Pour faire l'épreuve, on verse dans le ballon, avec quelques grains de porcelaine, la dissolution de chlorure de fer en quantité suffisante pour satisfaire à 15 ou 16 analyses, et l'on ajoute de l'acide chlorhydrique de manière à remplir le ballon jusqu'au tiers. On fait bouillir pour chasser l'air. Pendant l'ébullition, on remplit l'entonnoir d'acide chlorhydrique qu'on fait pénétrer dans le tube capillaire en ouvrant la pince ; puis on referme cette dernière. L'air se dégage sous forme de bulles dont le nombre va sans cesse en diminuant, jusqu'au moment où le tube horizontal est occupé par une colonne liquide qui oscille, mais ne se divise plus. On a eu soin de rem-

plir d'eau une cloche graduée en demi-centimètres cubes, et de la placer sur un têt à gaz en plomb au-dessus de l'extrémité du tube à dégagement. On verse alors, au moyen d'une pipette jaugée, un poids connu de la solution nitrique dans l'entonnoir, on ouvre la pince à deux ou trois reprises pour faire écouler la liqueur dans le ballon, on lave l'entonnoir avec une quantité d'acide suffisante pour rendre au liquide du ballon son volume primitif, et l'on referme la pince. Le gaz s'est dégagé d'abord rapidement, puis plus lentement; on retire la cloche quand la colonne liquide du tube horizontal n'est plus divisée, et il suffit de la remplacer par une autre cloche pleine d'eau pour pouvoir commencer immédiatement une seconde analyse.

Contre la paroi postérieure du grand compartiment est disposée une série de gradins sur lesquels on échelonne les cloches, de manière que les niveaux soient sensiblement dans le même plan horizontal. Si l'on fait successivement plusieurs essais, l'épreuve de l'échantillon-type devra être faite au milieu.

Les cloches ont un volume de 100^{cc}; les poids correspondants de salpêtre et de nitrate de soude purs seraient, à 20°, 0^{gr},433 et 0^{gr},364. On opère, dans les épreuves, sur 0^{gr},400 de salpêtre et 0^{gr},300 de nitrate de soude; il suffit, pour cela, de dissoudre 80^{cc} du premier sel ou 60^{cc} du second dans 1^l d'eau distillée, et de comparer 3^{cc} de la liqueur ainsi obtenue à 3^{cc} d'une dissolution normale contenant le même poids par litre du sel pur considéré.

Si l'on avait des solutions très-pauvres en salpêtre, la diffusion des gaz de l'eau varierait avec la pression à l'intérieur de l'éprouvette; on opère alors sur 10 ou 15^{cc} de la liqueur à essayer, et l'on prend la moitié ou le tiers du rapport des volumes.

Ce procédé, très-rapide et vraiment industriel, donne le taux d'acide nitrique à 0,5 p. 100 près.

III. ANALYSE COMPLÈTE D'UN SALPÊTRE.

a) En France.

Les méthodes suivies en France pour l'analyse complète d'un salpêtre sont entièrement semblables à celles que nous avons décrites pour l'analyse du chlorure de potassium (p. 66 et 68); il suffira de remarquer que l'on dissout 80^{cc} du sel (au lieu de 100^{cc}) dans 1^l d'eau distillée, et que l'on dose l'acide nitrique sur 5, 10, 15^{cc}..... de la liqueur, suivant la richesse présumée de l'échantillon.

Tous les corps ayant été dosés séparément, on en dressera le tableau dans l'ordre suivant :

- 1° Eau ;
 - 2° Matières insolubles ;
 - 3° Tout l'acide sulfurique avec la potasse ;
 - 4° Le reste de la potasse avec l'acide azotique ;
 - 5° La chaux et la magnésie avec le chlore ;
 - 6° La soude avec le reste de l'acide azotique et du chlore.
- Pour le salpêtre du Chili, on formerait le tableau ci-après

- 1° Eau ;
- 2° Matières insolubles ;
- 3° Toute la potasse avec l'acide sulfurique ;
- 4° Le reste de l'acide sulfurique avec la chaux ;
- 5° La soude avec l'acide azotique ;
- 6° Le reste de la chaux, la magnésie et le reste de la soude avec le chlore.

b) A la poudrerie de Spandau.

Essai préliminaire. — Cet essai a pour but de vérifier que la substance à essayer se compose en grande partie de salpêtre pur.

On dissout dans un vase à précipité un fragment de sulfate de protoxyde de fer avec un peu d'eau distillée, et l'on ajoute à peu près la moitié d'acide sulfurique concentré. Dès que la liqueur s'est refroidie, on y verse quelques gouttes de la dissolution du salpêtre brut. S'il se produit une coloration variant du brun au rougeâtre, il est certain que l'échantillon contient un nitrate.

Pour caractériser la potasse, on traite une autre partie de la dissolution d'épreuve par quelques gouttes d'acide perchlorique ; on voit alors apparaître un précipité blanc et grenu de perchlorate de potasse.

Pour se former une idée approchée de la proportion du salpêtre pur, on met un peu de la liqueur d'épreuve dans un verre de montre, on place le tout au-dessus d'un vase contenant de l'acide sulfurique, afin de provoquer une cristallisation spontanée du nitrate. Il suffit alors d'observer la forme des cristaux qui se déposent, et de les comparer avec ceux de diverses dissolutions préalablement préparées et contenant à l'état pur les combinaisons qui se rencontrent le plus fréquemment dans le salpêtre brut.

Analyse qualitative. — Il faut reconnaître, d'une part, les acides et le chlore, de l'autre, les bases.

1° Acides et chlore. — On prépare une dissolution concentrée du salpêtre à essayer, et l'on en traite une portion par l'acide chlorhydrique concentré. Un bouillonnement indique la présence de *carbonates*. — Dans ce cas, on ajoute encore un peu d'acide chlorhydrique et fait bouillir, jusqu'à ce que cet acide soit entièrement chassé. Si quelques gouttes de chlorure de baryum produisent un trouble ou un précipité blanc, on a des *sulfates*. — On acidifie le reste de la dissolution avec de l'acide nitrique pur, puis on verse goutte à goutte du nitrate d'argent. Suivant qu'il se produit un simple trouble ou un précipité blanc caillebotté, l'échantillon contient plus ou moins de *chlorures*.

2° Bases. — On fait une nouvelle dissolution d'épreuve, qu'on traite par l'ammoniaque; un précipité ou même un léger trouble indiquent la présence de la *magnésie* (si l'on avait des sels d'alumine ou de fer, les oxydes hydratés correspondants seraient précipités). — Dans une quatrième dissolution, on verse quelques gouttes d'oxalate de potasse: s'il se produit, immédiatement après ou au bout d'un certain temps, soit un trouble, soit un précipité, on a des sels de *chaux*. — Pour caractériser la *soude*, on remplit de salpêtre brut jusqu'aux deux tiers une petite capsule de porcelaine, et on l'arrose avec de l'alcool, qu'on allume: de très-petites quantités de soude communiquent à la flamme une coloration jaune caractéristique, qu'on a soin de comparer à celle qui correspond à du salpêtre pur placé dans une seconde capsule.

Analyse quantitative. — On prélève divers échantillons dans les différents points de la masse de salpêtre, on les mélange soigneusement à la main dans une grande capsule de porcelaine, et l'on en pèse exactement 320^{gr}, qu'on traite par un poids double d'eau distillée dans une capsule de porcelaine ayant un diamètre de 0^m,156 et une profondeur de 0^m,078 à 0^m,104. On chauffe pour accélérer la dissolution, puis on jette le tout sur un filtre A préalablement séché à 100° et pesé; pour éviter une cristallisation de salpêtre sur le filtre, on place l'entonnoir de verre dans un entonnoir en zinc à paroi double, à l'intérieur de laquelle circule un courant d'eau chaude alimenté par un tuyau fixé à l'entonnoir. On lave ensuite à l'eau chaude, puis à l'eau froide, jusqu'à ce qu'une goutte de la

liqueur filtrée, évaporée sur une lame de platine, ne donne plus de résidu.

Pendant qu'on fait sécher le filtre à 100°, on évapore la dissolution jusqu'à un tiers de son volume environ, et l'on plonge le tout dans un vase un peu plus grand contenant de l'eau froide, à laquelle on peut ajouter, vers la fin du refroidissement, de petits cristaux de salpêtre destinés à abaisser autant que possible la température au-dessous de zéro ; on a soin de remuer continuellement avec un agitateur, pour empêcher la formation de gros cristaux de salpêtre. Quand la température est devenue constante, on jette le tout sur un filtre B préalablement séché à 100° et pesé, et on lave le salpêtre resté sur le filtre jusqu'à ce qu'une goutte des eaux de lavage ne soit plus troublée par le nitrate d'argent.

La liqueur filtrée, réunie aux eaux de lavage, est évaporée jusqu'au tiers de son volume ; on provoque de même la cristallisation du salpêtre restant et jette le tout sur un filtre C.

La nouvelle dissolution est encore une fois évaporée au tiers de son volume, et le salpêtre déposé pendant le refroidissement est recueilli sur un quatrième filtre D. La liqueur restante est évaporée à sec au bain-marie ; le résidu est fondu et pesé après refroidissement.

Enfin, tous les filtres sont séchés à 100° ; on en recueille avec soin le plus de salpêtre possible, qu'on fait fondre et pèse après refroidissement ; puis on pèse les filtres.

On déduit de ces diverses pesées les résultats suivants :

α. Filtre A (tare déduite) : poids des *substances organiques* et des *matières insolubles*, telles que sable, terre, chaux, éclats de bois provenant de l'emballage, etc.

β. Somme des filtres B, C, D (tares déduites), y compris le salpêtre fondu : poids du *salpêtre pur* (non compris le salpêtre du résidu γ).

γ. Résidu de la dernière liqueur évaporée : poids des *sels étrangers* et du *salpêtre entraîné*.

δ. Excès du poids total sur la somme $\alpha + \beta + \gamma$: poids de l'eau.

Le résidu γ renfermant encore du salpêtre, il faut doser la potasse et l'acide nitrique qu'il contient.

A cet effet, on le broie dans un mortier en porcelaine. La détermination de la potasse se fait sur deux portions de 3 à 4^{gr} ; chacune d'elles est arrosée d'eau froide dans un vase à précipité, puis traitée

par un poids d'acide perchlorique à peu près quintuple de celui de son salpêtre (*). On porte alors les deux solutions au bain de sable et évapore presque à siccité. Après refroidissement, on arrose chaque résidu de quatre à cinq fois son volume d'alcool absolu, et l'on agite à plusieurs reprises pendant 2 heures. Le perchlorate de potasse qui s'est précipité est ensuite jeté sur un filtre séché à 100° et pesé, et lavé jusqu'à ce qu'une goutte de la liqueur, évaporée sur une lame de platine, ne laisse plus de résidu. Les deux filtres sont de nouveau séchés à 100°, pesés, et l'on recommence l'opération jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de différence de poids. La moyenne des deux dernières pesées donne le poids du perchlorate formé, et, par suite, celui de la potasse contenue dans le résidu γ .

Pour déterminer l'acide nitrique, on opère également sur deux portions du résidu. Chacune d'elles, pesant environ 6^{gr}, est mélangée intimement, dans un mortier de porcelaine, avec la moitié de son poids de charbon et le triple de sel marin bien sec, puis on la fait fondre dans une capsule ayant à peu près 0^m,156 de hauteur; quand tout dégagement a cessé, on porte celle-ci sur un bain de sable préalablement chauffé à la plus haute température possible, et on laisse refroidir. La masse carbonatée est ensuite introduite avec le plus grand soin dans un petit flacon; on lave la capsule à l'eau chaude, verse le contenu dans le flacon et ferme ce dernier au moyen d'un bouchon percé de deux trous, dont l'un donne passage au col d'un entonnoir et l'autre à un tube coudé à angle droit. Dès que le flacon a pris la température de l'enceinte, on le pèse à côté d'un vase contenant de l'acide chlorhydrique concentré, qu'on verse ensuite dans l'entonnoir jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de dégagement gazeux. On plonge le flacon dans l'eau tiède pendant quelques minutes pour chasser tout l'acide carbonique, on laisse refroidir, sèche et repèse avec le vase à acide chlorhydrique. La moyenne des pertes de poids se rapportant aux deux portions du résidu γ indique la quantité d'acide carbonique chassé. A 21,76 parties de cet acide correspondent 53,41 parties d'acide nitrique.

(*) On se règle sur la concentration de l'acide perchlorique. Pour la déterminer, on dissout dans l'eau froide 3 à 4^{gr} de carbonate de potasse pur, et l'on ajoute par petites portions de l'acide perchlorique, préalablement pesé, jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de dégagement gazeux. Des pesées répétées de l'acide restant font connaître le poids exact de celui qu'on a versé, et, par suite, l'état de concentration relative de la liqueur. — 1^{re} de carbonate de potasse correspond, en moyenne, à 1^{re},769 de perchlorate sec.

On déduit aisément de ces résultats le poids du salpêtré renfermé dans le résidu γ , et par suite, en l'ajoutant au poids β , celui du salpêtre contenu dans les 320^{gr} soumis à l'épreuve.

§ V.

RAFFINAGE DU SALPÊTRE.

Le salpêtre brut, retiré directement des gisements de l'Inde ou de Ceylan, extrait des terres salpêtrées ou obtenu par la décomposition du nitrate de soude, renferme toujours une quantité plus ou moins considérable de matières étrangères, qui ne seraient pas admissibles dans la fabrication de la poudre : elles jetteraient, en effet, de l'incertitude sur les dosages et rendraient la poudre hygrométrique. Ces matières se trouvent soit à la surface des cristaux, soit dans l'eau-mère remplissant les cavités qui existent dans ces cristaux, surtout pour ceux de grandes dimensions ; leur proportion descend rarement au-dessous de 4 à 6 p. 100, et peut s'élever jusqu'à 15 ou 20 p. 100.

Le procédé de purification inventé par Beaumé et Lavoisier se recommande à la fois par son efficacité et sa simplicité ; il est encore suivi aujourd'hui avec de très-faibles modifications. Il repose sur la propriété que possède l'albumine de se coaguler en entraînant les matières organiques colorantes, sur les différences de solubilité des sels en présence, et sur ce fait d'observation que l'agitation du liquide, pendant la cristallisation, donne de petits cristaux qui renferment moins d'eau-mère que les gros.

La méthode de raffinage employée à l'origine ne fournissait pas du salpêtre complètement pur ; celui qu'on obtenait, même après trois cristallisations successives, renfermait encore au moins $\frac{1}{1000}$ de substances étrangères, tandis que, pour la fabrication de la poudre, on n'admet pas aujourd'hui de salpêtre contenant plus de $\frac{1}{3000}$ de chlorures. Le procédé de Beaumé et Lavoisier permet de réduire facilement la proportion des matières étrangères à $\frac{1}{5000}$ et même à $\frac{1}{10000}$, c'est-à-dire à une fraction tout à fait insignifiante.

Le raffinage proprement dit du salpêtre comprend six groupes d'opérations distinctes : le lavage du salpêtre brut, la fonte du sal-

pêtre lavé, la cristallisation, le lavage du salpêtre raffiné, le séchage, enfin le refroidissement, le pesage et l'embarillage. Nous examinerons, en outre, quelques opérations accessoires, se rapportant à l'évaporation des eaux de cuite et au traitement de divers résidus salpêtrés.

I. LAVAGE DU SALPÊTRE BRUT.

Autrefois, on commençait toujours par dissoudre le salpêtre brut; mais aujourd'hui, suivant une recommandation de Longchamp et lorsque le salpêtre contient plus de 5 ou 6 p. 100 d'impuretés, on trouve préférable de le laver préalablement avec une dissolution saturée d'azotate de potasse obtenue dans le cours du travail.

A la raffinerie de Lille, on se sert de petits cristallisoirs en cuivre, ayant environ 5^m,40 de long, 3^m,35 de large et 0^m,43 de profondeur. On y étend 7 000^l de salpêtre brut, qu'on met en trempe avec 35 hectolitres d'eaux salpêtrées provenant soit des eaux-mères de raffinage, soit du lavage du salpêtre raffiné. On laisse tremper pendant 4 ou 5 heures environ, puis on relève le salpêtre sur les bords, on le laisse égoutter pendant plusieurs heures et on le porte aux chaudières de raffinage. On obtient ainsi 6 000^l de salpêtre lavé, avec des eaux marquant de 30 à 35° B. et contenant environ 400^l de sels et 200^l de salpêtre.

En Angleterre, le salpêtre n'est pas lavé avant le raffinage; on emploie, en effet, du salpêtre de l'Inde, dont le déchet dépasse rarement 5 ou 6 p. 100 et se compose principalement d'eau et de sulfate de potasse avec 1,50 p. 100 seulement de sel marin.

Le premier lavage est également supprimé en Prusse, où le salpêtre acheté ne contient que 2 à 3 p. 100 d'impuretés.

II. FONTE DU SALPÊTRE.

a) A Lille.

A Lille, les chaudières de raffinage en cuivre, qui ont une contenance de 63 hectolitres et pèsent 1 420^l, se composent d'une calotte sphérique haute de 0^m,50, se raccordant avec un tronc de cône ayant pour hauteur 1^m,35 et pour diamètres 2^m et 2^m,35; l'épaisseur du cuivre, qui n'est, à la partie supérieure, que de 6^{mm}, varie pour la calotte de 10 à 22^{mm}. Chaque chaudière, solidement fixée dans un

massif en maçonnerie et chauffée par un foyer spécial, a son fond à 0^m,50 environ au-dessus de la grille. La porte du foyer étant fermée et celle du cendrier ouverte, la flamme monte avec une faible vitesse, lèche le fond et les parois de la chaudière, puis se rend jusqu'à la cheminée à travers un carneau, dans lequel on peut installer des bacs en cuivre ou en tôle pour les différentes eaux de cristallisation ou de lavage; le tirage doit être réglé de telle sorte que l'air possède une température de 300 à 350° quand il arrive à la grille.

Le raffinage de la veille est décanté dès le matin, et l'on alimente aussitôt la chaudière avec 18 à 20 hectolitres d'eaux salpêtrées, se composant des eaux d'arrosage du salpêtre raffiné, des eaux de lavage des écumes et, au besoin, d'eau pure; si l'on ne se servait que d'eau pure, 14 à 16 hectolitres suffiraient: la fonte du salpêtre dans une aussi faible quantité d'eau est caractéristique du procédé de Lille. On amène 6500^k de salpêtre lavé dans des portoirs en cuivre, contenant 50^k chacun et placés par séries de huit sur des wagons. On porte les eaux à l'ébullition, et l'on verse le salpêtre à mesure qu'il arrive. Une partie des impuretés est éliminée, soit sous forme de dépôts qui tombent au fond de la chaudière et qu'on extrait, soit sous forme d'écumes qui viennent à la surface et qu'on enlève également. Quand l'ébullition a duré 5 heures environ, on y verse en plusieurs fois une dissolution de 2^l de colle-forte dans 1 hectolitre d'eau, et l'on brasse énergiquement: les matières extractives viennent alors former à la surface une écume qu'on enlève avec des écumeurs en cuivre, pour les porter directement aux chaudières de lavage des écumes, ou sous un hangar spécial après les avoir fait égoutter; ces écumes renferment de 90 à 92 p. 100 de salpêtre. Cette opération est terminée vers le milieu de l'après-midi, et l'on abandonne le liquide au repos jusqu'au lendemain matin, en maintenant sa température à 110 ou 115°. Le liquide, qui marque environ 56° B., est alors décanté dans les cristallisoirs au moyen de rigoles mobiles en cuivre et d'une pompe fixe qui, plongeant dans la chaudière, reste constamment chaude, de manière à éviter toute cristallisation du salpêtre. — La consommation en charbon est de 5^k,70 pour 100^k de salpêtre raffiné.

b) A Wetteren.

La chaudière (*fig.* 5 et 6) a 2^m,60 de diamètre et 1^m,70 de profondeur. Le soir, on verse une partie des 3000^k de salpêtre brut, qui doivent

constituer la charge totale, avec 6 hectolitres d'eau pure, quantité suffisante pour dissoudre 2 900^k de salpêtre pur à la température de l'ébullition. On maintient une température modérée pendant la nuit; le lendemain matin, on active le feu et ajoute par cinquièmes le reste du salpêtre. Pour un salpêtre contenant 6 p. 100 de chlorure de

Fig. 5.

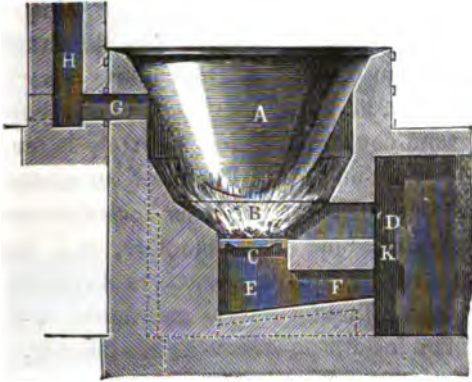
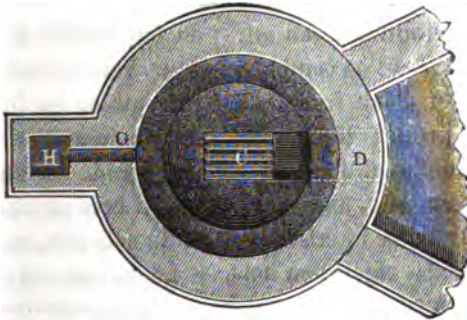


Fig. 6.



potassium et 14 p. 100 de chlorure de sodium, il se précipite immédiatement 258^k de ce dernier sel; on enlève les écumes et le sel marin non dissous. Si l'on continue à chauffer le liquide, il arrive un moment où, par suite de l'évaporation de l'eau, il tend à se déposer des cristaux; mais, avant que ce dépôt commence à se produire, on a soin d'ajouter une certaine quantité d'eau, de telle sorte que la chaudière en contienne environ 10 hectolitres. On attend que l'ébullition ait recommencé, et l'on introduit 1^k de colle

dissoute ; on enlève les écumes et maintient pendant la nuit la température du liquide à 88° environ. Le lendemain matin, on le transvase dans les cristallisoirs au moyen de poches, et l'on a soin de s'arrêter à temps pour ne pas remettre le dépôt en suspension.

c) **A Spandau.**

La chaudière est de 30 hectolitres. On y verse 14 hectolitres d'eau qu'on porte à l'ébullition, on ajoute 2500^l de salpêtre par charge de 50^l et l'on agite la masse. On traite ensuite par 830^l de colle dissoute dans 8^l d'eau bouillante. On enlève les croûtes et les écumes, et, lorsque la liqueur marque 54° B., on recouvre la chaudière avec un grand couvercle en bois et arrête le feu, de manière qu'il ne se produise qu'une faible ébullition au centre. On décante au bout de 12 heures environ. Pour éviter l'entraînement des croûtes qui se sont déposées au fond de la chaudière, on a placé le robinet au point de raccordement de la calotte et du tronc de cône ; la liqueur est, en outre, filtrée à travers une double toile tendue sur un châssis que l'on installe au-dessus du cristallisoir.

d) **A Waltham-Abbey.**

La chaudière est de 23 hectolitres. On y dissout 1800^l de salpêtre dans 12 hectolitres d'eau pure ; on fait bouillir à 110° pendant 2 heures, on brasse et l'on écume la liqueur. Vers la fin de l'opération, on ajoute un peu d'eau froide pour rassembler les impuretés. On laisse refroidir jusqu'à 104° et l'on décante au moyen d'un siphon, d'une pompe mobile ou d'un robinet. Le liquide est filtré à travers des sacs de grosse toile, fixés à une auge en bois plongée dans l'eau bouillante, pour éviter la cristallisation du salpêtre, et il arrive aux cristallisoirs par des rigoles en bois. — Le collage est presque toujours supprimé, à cause de la grande pureté du salpêtre de Calcutta, qui ne contient pas de matières organiques. Quant au procédé du filtrage, il est peu coûteux et permet de réduire à 12 heures la durée totale d'une cuite.

e) **En Suède.**

On évapore la dissolution salpêtrée jusqu'à ce qu'il se forme à la surface une croûte de sel marin, qu'on enlève. On filtre alors la liqueur et ajoute $\frac{1}{4}$ d'eau en poids, pour tenir tout le sel marin en dissolution ; puis on la verse dans les cristallisoirs.

III. CRISTALLISATION DU SALPÊTRE.

Les cristallisoirs sont en tôle de cuivre; ils sont vissés par leurs bords sur des cadres de chêne *a* (fig. 7 et 8); leur fond est formé par

Fig. 7.



deux surfaces inclinées dont l'intersection elle-même n'est pas horizontale, et la profondeur maximum est au milieu *n* de l'un des petits côtés. Les cristallisoirs de la raffinerie de Lille ont 3^m,20 de largeur, et leur longueur varie de 5^m,20 à 7^m,70.

Fig. 8.



a) A Lille et à Wetteren.

A Lille et à Wetteren, on décante dès le matin une chaudière dans un cristallisoir. Pendant le refroidissement, qui exige de 6 à 7 heures, on agite le liquide avec des râteaux en cuivre, afin d'obtenir, au lieu de cristaux volumineux, une fine poussière cristalline. Au fur et à mesure que le dépôt augmente, on l'attire vers la partie la plus élevée du cristallisoir au moyen de râteaux et d'écumoirs en cuivre, et l'on forme ainsi un tas qui se dépouille peu à peu de l'eau-mère encore colorée. Les couches supérieures blanchissent, et on les charge à la pelle dans des portoirs en cuivre, pendant l'après-midi, pour les transporter dans les caisses de lavage. Le lendemain matin, on recueille dans une recette souterraine les eaux surnageantes froides, qui sont saturées de salpêtre et contiennent tout le chlorure de potassium avec la plus grande partie du chlorure de sodium; la proportion de ce dernier sel dans le salpêtre raffiné est d'environ 1 p. 1000, et ne peut pas dépasser 1 p. 100, même dans les conditions les plus défavorables, par exemple lorsque le refroidissement a été poussé trop loin.

b) A Spandau et à Waltham-Abbey.

A Spandau, on agite la liqueur avec des râteaux en bois, on enlève le salpêtre à l'aide d'écumoirs plates en cuivre et on le fait égoutter dans des mannes en osier placées sur des planches disposées transversalement; on le porte ensuite aux caisses de lavage. Le salpêtre qui se dépose dans les 20 heures suivantes est utilisé pour le prochain raffinage; les eaux surnageantes sont également recueillies dans une recette souterraine.

A Waltham-Abbey, le salpêtre est égoutté sur des châssis inclinés vers les bords du cristalliseur.

IV. LAVAGE DU SALPÊTRE.

Le chlorure de sodium encore retenu par le salpêtre disparaît presque complètement si l'on élimine l'eau-mère interposée entre les cristaux: il suffit, pour cela, d'employer soit de l'eau pure, soit une dissolution saturée de salpêtre pur, qui s'empare de l'eau-mère et du sel marin comme le ferait l'eau pure. On obtient ainsi une poussière de salpêtre dans laquelle les vides compris entre les cristaux se trouvent remplis par une dissolution de salpêtre pur, de telle sorte qu'après dessiccation, la masse ne contient plus que des traces de matières étrangères.

a) A Lille et à Wetteren.

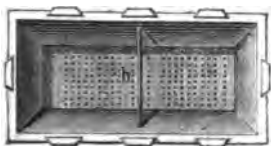
A Lille, les caisses de lavage et d'égouttage, qui sont en bois, ont de 3^m,50 à 6^m,00 de longueur; leur largeur en haut est de 1^m,00, leur largeur en bas de 0^m,80, et leur hauteur derrière de 1^m,30; la paroi antérieure est inclinée et n'a que 1^m,00 de hauteur. Ces caisses sont munies d'un double fond *b* (*fig.* 9 et 10) percé de trous; des ouvertures *a*, fermées par des tampons, permettent de faire écouler le liquide dans une rigole *d*. Chaque caisse contient de 3 000 à 5 000^k de salpêtre. Pendant l'emplissage, les tampons sont fermés et les eaux d'égouttage déposent leur salpêtre dans le double fond, dont la partie inférieure est recouverte d'une feuille de cuivre, pour éviter les infiltrations dans le sol; on prévient ainsi l'engorgement des rigoles et du réservoir de la cave où les eaux seront recueillies. Le lendemain matin, on ouvre les tampons pour laisser échapper les eaux d'égouttage, puis on les referme et l'on procède au premier arro-

sage avec 9 hectolitres d'eau pure, qu'on laisse séjourner pendant

Fig. 9.



Fig. 10.



2 heures; on laisse écouler ces eaux de lavage, qui contiennent tous les sels et 130^g de salpêtre environ, et l'on procède au second arrosage avec 4^{hectol.},5 d'eau pure, qu'on laisse également séjourner pendant 2 heures et qui n'emportent que 50^g de salpêtre, à cause de l'abaissement de la température. On laisse ensuite égoutter le salpêtre dans les caisses pendant 8 à 9 jours, jusqu'à ce qu'il ne contienne plus que 3 à 5 p. 100 d'eau. La

masse durcie est alors divisée au moyen de pelles en cuivre, et les blocs sont chargés dans des mannes en osier contenant 100^g chacune, pour être portés aux séchoirs.

A Wetteren, les caisses (*fig. 9 et 10*) ont 2^m,30 de long sur 1^m,50 de large. On commence par verser, au moyen d'un arrosoir, 30 litres d'eau qu'on laisse en contact avec le salpêtre pendant 2 ou 3 heures; on enlève les tampons, fait écouler le liquide et laisse égoutter pendant 1 heure; on recommence ensuite le lavage, d'abord avec une quantité d'eau égale, puis avec 12 litres seulement. La première eau de lavage et une partie de la seconde, qui contiennent du salpêtre et les chlorures mélangés, sont réunies aux eaux-mères; le complément de l'eau du second lavage et celui du troisième (30 litres environ) sont considérés comme formant une dissolution de salpêtre pur, qu'on peut utiliser dans l'opération suivante pour le premier lavage. Ainsi, sauf au début du travail, le premier lavage s'opère toujours avec le liquide provenant du second et du troisième lavage de l'opération précédente. On laisse égoutter pendant plusieurs jours.

b) A Spandau et à Waltham-Abbey.

A Spandau, les caisses de lavage sont en cuivre et ont un fond en bois percé de trous. Le salpêtre est étendu régulièrement dans les caisses et soumis à plusieurs lavages à l'eau pure; celui qui a été obtenu au moyen du nitrate de soude et du chlorure de potassium

ne subit qu'un seul arrosage. Un robinet permet d'envoyer dans une recette souterraine les eaux qui s'accumulent dans le double fond. Le salpêtre est ensuite versé dans de grandes caisses d'égouttage, où on le laisse séjourner pendant 12 heures environ avant de le porter aux séchoirs.

A Waltham-Abbey, le salpêtre est porté dans des caisses de lavage et soumis à deux arrosages, le premier avec de l'eau saturée provenant du second arrosage de l'opération précédente, le second avec de l'eau pure. Il conserve environ 8 à 10 p. 100 d'eau quand on le porte dans les caisses d'égouttage; 4 ou 5 jours après, il n'a plus que 3 à 5 p. 100 d'humidité.

On a cherché depuis quelque temps, en Angleterre et en Prusse, à substituer aux caisses de lavage et d'égouttage uneessoreuse à force centrifuge, analogue à celles qu'on emploie dans les sucreries; deux ouvriers suffisent pour la faire marcher. Ce procédé, à la fois économique et rapide, permet d'amener facilement le salpêtre à un état d'humidité constant et déterminé.

V. SÉCHAGE.

a) A Lille et à Wetteren.

Les deux séchoirs de la raffinerie de Lille sont en cuivre; ils ont 16^m,00 de longueur, 2^m,00 de largeur et 0^m,15 de profondeur avec un rebord de 0^m,20; chacun d'eux est chauffé par un foyer spécial. La charge d'un séchoir varie de 650 à 800^t et la durée d'une séchée de 2 à 3 heures. Le salpêtre est étendu en couche mince et régulière au fond du séchoir. Les blocs qui se forment sont brisés grossièrement avec des maillets en bois, puis au moyen d'un cylindre écraseur en bois de 1^m,20 de diamètre, pesant 380^t et mù par deux ouvriers; la couche de salpêtre adhérente au fond est détachée au moyen de pelles et de râteaux en cuivre. Quand le salpêtre n'a plus que 0,50 p. 100 d'eau, ce que l'on reconnaît lorsqu'il commence à s'égrener, on le tamise au moyen d'un tamis à main et l'on écrase les gros morceaux sur le tamis avec un morceau de bois dur. Le salpêtre tamisé est étendu sur la table et remué à la pelle et au râteau, puis versé dans des barils en bois au moyen d'une pelle ronde en tôle galvanisée et porté aux caisses de refroidissement. — La consommation en charbon est de 6 à 7^t pour 100^t de salpêtre produit.

A Wetteren, le salpêtre est porté dans la chaudière de dessiccation, chauffée à une température modérée par les flammes perdues de la chaudière de raffinage ; il est ensuite soumis à un tamisage.

b) A Spandau et à Waltham-Abbey.

A Spandau, le salpêtre est étendu sur de grands châssis munis d'un treillis en bois et recouverts de toiles ; l'air atmosphérique, qui traverse les toiles et le salpêtre, emporte une grande partie de l'humidité contenue dans celui-ci. Après une exposition de quelques jours sur les toiles, le salpêtre est porté dans des séchoirs en cuivre chauffés à l'air chaud. La matière est remuée au moyen de râtaux en bois ; des marteaux, également en bois, servent à briser les blocs. Le salpêtre est ensuite versé dans des tines en bois de 50^t chacune.

Dans les poudreries anglaises, le salpêtre est porté directement, sans être séché, des caisses d'égouttage aux ateliers de composition de la poudre. Cette simplification, qui économise à peu près le quart de la main-d'œuvre, ne peut s'appliquer qu'à la fabrication des poudres des pilons ou des meules, et exige que le salpêtre soit soumis à un essorage parfaitement conduit qui le ramène à une humidité constante et connue.

VI. REFROIDISSEMENT, PESAGE ET EMBARILLAGE.

A Lille, les caisses de refroidissement sont en sapin ; elles ont 6^m,00 de long sur 1^m,30 de large et 0^m,80 de profondeur, et peuvent contenir 5 000^t de salpêtre qu'on y laisse séjourner quelques heures. Le salpêtre refroidi est pesé dans une-tine en cuivre et versé dans un baril où on l'enfonce.

Les expéditions se font par lots variant de 25 000 à 70 000^t.

En moyenne, le raffinage de 6 500^t de salpêtre brut donne, à la raffinerie de Lille, 5 000^t de salpêtre propre à la fabrication de la poudre.

En Autriche, une partie du salpêtre est fondue et coulée dans des moules en forme de galettes ayant 0^m,36 de longueur, 0^m,13 de largeur, 0^m,13 d'épaisseur, et pesant 12^t,500. Ce salpêtre est d'abord débarrassé de son humidité aux séchoirs, puis fondu dans des chaudières spéciales. La température à laquelle on le coule, et qui est comprise entre le point de fusion et le point de décomposition de ce

corps, est loin d'être indifférente: si elle est trop élevée, la galette se colle aux parois du moule, elle se fendille et se retire avec peine, même après complet refroidissement; si elle est trop basse, le salpêtre adhère trop vite aux parois, la croûte mince qui se forme ainsi s'en détache avant que le salpêtre du centre soit solidifié et la surface de la galette présente des fissures et des écailles.

Ce procédé est également pratiqué dans quelques raffineries anglaises et surtout dans les Indes orientales, où l'on coule le salpêtre fondu dans des moules en cuivre, sous forme de galettes rectangulaires ou hémisphériques pesant de 15 à 20^l.

Le salpêtre fondu présente quelques avantages au point de vue de l'emmagasinage: 15 000^l de salpêtre non fondu tiennent autant de place que 50 000^l de salpêtre fondu. De plus, on est assuré que la matière est exempte d'humidité et se trouve à l'abri de toute altération. Mais, en dehors de la dépense de temps et de main-d'œuvre nécessaire pour obtenir le salpêtre fondu, celui-ci est d'une trituration longue et difficile.

VII. TRAITEMENT DES EAUX DE CUITES.

Les différentes eaux surnageantes de cristallisation peuvent servir au lavage du salpêtre brut jusqu'à ce qu'elles marquent 38 ou 39° B. ; à ce moment, elles sont saturées de sels étrangers et ne pourraient plus être employées qu'à la fabrication. Mais, comme on fait constamment entrer en circulation une certaine quantité d'eau pure, soit pour la fonte du salpêtre brut, soit pour le lavage du salpêtre raffiné, il faut se débarrasser d'une partie de ces eaux, tout en recueillant le salpêtre qu'elles contiennent encore.

Les chaudières d'évaporation de la raffinerie de Lille sont identiques aux chaudières de raffinage (p. 101), avec cette différence qu'elles n'ont pas de pompe fixe et qu'elles sont munies d'un chaudron en cuivre plongeant dans le liquide et mû par un palan différentiel. Les chaudières à fond plat seraient préférables pour cette opération, à cause des croûtes de 0^m,04 à 0^m,05 qui se déposent et nécessitent, toutes les deux cuites, le nettoyage des chaudières actuelles. La durée d'une cuite est de 6 à 7 jours, pendant lesquels on maintient la température à 110 ou 115°; les chaudières sont alimentées tous les soirs. Le nitrate de soude et le chlorure de potassium restent en partie dissous avec le salpêtre, mais le sel marin est complètement

précipité. La dissolution commençant à marquer 44 ou 45° B., on relève chaque matin les chaudrons, on place le sel dans des mannes en osier et on le porte aux caisses de lavage des sels (p. 78); dès qu'elle marque 50 ou 55° B., on la décante dans un petit cristalliseur en tôle, ayant 5^m,45 de long sur 2^m,92 de large, où l'on a préalablement versé 10 à 15 hectolitres d'eaux faibles destinées à produire une cristallisation fine du salpêtre. On casse les cristaux le matin et on enlève le salpêtre le troisième jour. Ce salpêtre, qui contient encore 20 à 22 p. 100 d'impuretés, est relavé comme salpêtre brut ou porté directement au raffinage. Quant aux eaux-mères, elles sont envoyées à une évaporation ultérieure. — Le produit d'une cuite est d'environ 3 000^k de salpêtre brut. La consommation de charbon est, en moyenne, de 1^k pour 3^l d'eau évaporée.

A Wetteren, on ajoute un peu de colle vers la fin de l'opération, pour faciliter la clarification; puis on décompose, par une addition de carbonate de potasse, les azotates terreux qui se sont accumulés. Le liquide clair est transvasé dans des cristalliseurs, et l'on repasse par les différentes opérations du raffinage.

A Spandau, on traite les eaux-mères de la même manière que les dissolutions de salpêtre brut.

A Waltham-Abbey, on les évapore dans des chaudières spéciales, qui peuvent être en fonte, et l'on recueille la liqueur successivement dans deux récipients, où elle est soumise à une cristallisation lente. Le salpêtre, obtenu en gros cristaux, est mélangé au salpêtre brut.

VIII. TRAITEMENT DE DIVERS RÉSIDUS SALPÊTRÉS.

a) *Écumes et croûtes.*

Les écumes, qui contiennent de 90 à 92 p. 100 de salpêtre avec de la colle, des matières terreuses, des débris de mannes, etc., sont portées dans une chaudière plate en cuivre remplie d'eau pure, qu'on fait bouillir. Quand la liqueur marque 40° B., on laisse déposer les matières terreuses en entretenant un petit feu, puis on décante et l'on envoie les eaux au raffinage; on diminue ainsi la quantité de colle à ajouter dans les chaudières. On verse de nouvelles eaux et de nouvelles écumes, et l'on recommence la même opération. Au bout de quatre ou cinq reprises, les matières insolubles encombrant le fond de la chaudière : on ajoute alors de l'eau

seule, que l'on décante à 30 ou 32° B., et l'on répète deux ou trois fois cette opération, jusqu'à ce que les dernières eaux décantées ne marquent plus que 10° B. Les boues sont enlevées, égouttées et jetées aux détritns.

Les croûtes retirées des chaudières de cuite contiennent de 15 à 16 p. 100 de salpêtre : on les casse et on les jette par petites portions dans les chaudières de fabrication.

b) Balayures et poudres avariées.

Les balayures provenant des ateliers de raffinage, de séchage et d'embarillage, qui ne contiennent que du salpêtre pur, sont portées aux chaudières de raffinage; toutes les autres sont versées dans les chaudières de fabrication.

Les poudres avariées sont placées dans des cuves en bois et lessivées avec de l'eau pure; on brasse de temps en temps. Quand les eaux sont chargées de salpêtre, on les envoie au raffinage, et l'on ajoute de nouvelles eaux jusqu'à épuisement complet de la matière.

§ VI.

ÉPREUVES DU SALPÊTRE RAFFINÉ.

Le salpêtre raffiné en France ne contient guère plus de $\frac{1}{5000}$ d'impuretés; l'État tolère $\frac{1}{3000}$.

Ces impuretés se composent de chlorures et de nitrate de soude, sels qui, par leur hygrométrie, nuiraient à la qualité et à la bonne conservation de la poudre.

Les procédés réglementaires ne se rapportent, en général, qu'au dosage des chlorures; nous insisterons, en outre, sur le dosage du nitrate de soude.

I. ÉPREUVES RÉGLEMENTAIRES.

a) En France (Instruction du 7 décembre 1818).

On suppose que les impuretés consistent uniquement en sel marin, et l'on dose ce corps par une solution titrée de nitrate d'argent.

On opère sur 10^{gr} de salpêtre raffiné : le maximum de sel marin

que l'on puisse avoir sera donc 0^m,0033, ce qui correspond à 0^m,0096 de nitrate d'argent. On fait une dissolution de nitrate telle qu'une mesure déterminée, par exemple une pipette de 1^m, sature exactement 0^m,0033 de sel marin; il suffira, pour cela, de faire dissoudre p grammes de nitrate d'argent fondu dans $\frac{p}{0,0096}$ grammes d'eau.

Pour faire l'épreuve, on dissout 10^m de salpêtre dans le moins d'eau tiède possible, on y verse une mesure de la liqueur d'épreuve et l'on filtre immédiatement. Le liquide filtré est divisé en deux parties : dans l'une, on verse quelques gouttes du réactif; s'il se produit un trouble, le salpêtre est rejeté. L'autre partie sert de contre-épreuve, dans le cas où la liqueur est restée limpide : quelques gouttes de sel marin doivent la troubler. — Pour faire un dosage exact, il suffirait de verser le réactif par gouttes dont on aurait déterminé le volume.

Ce procédé a subi de légères modifications à la raffinerie de Lille. On dissout 100^m de salpêtre dans 1^l d'eau et opère sur 100^m de la liqueur. La solution du nitrate d'argent est telle, que 1^m correspond à $\frac{1}{3,000}$ et 1 goutte à $\frac{1}{75,000}$ de sel marin. On verse d'abord 14 à 15 gouttes, correspondant à $\frac{1}{5,100}$ environ; pour voir si la saturation est complète, on met un peu de la liqueur dans un filtre et recueille quelques gouttes dans une capsule de porcelaine dont l'intérieur est recouvert de noir de fumée, de manière que le liquide ne mouille pas la surface; on y verse un peu de nitrate, et l'on s'assure qu'il ne se produit plus de trouble. Sinon, on continue à ajouter le réactif dans la liqueur, jusqu'à ce que le liquide filtré ne soit plus troublé par le nitrate. On termine par une contre-épreuve.

En Suède, le procédé réglementaire est entièrement analogue au procédé français.

A Waltham-Abbey, le nitrate d'argent ne doit donner aucun trouble dans la dissolution.

b) A Spandau.

La méthode suivie en Prusse est semblable à celle qui se rapporte à l'analyse qualitative du salpêtre brut. Le chlorure de baryum et l'oxalate de potasse ne doivent pas donner le moindre trouble, et le nitrate d'argent doit tout au plus altérer la transparence de la dissolution. — Pour reconnaître le nitrate de soude, le salpêtre est soumis à l'analyse spectrale et aussi à l'épreuve dite d'humidité.

On procède à cette dernière épreuve en pesant exactement 5^{re} du salpêtre raffiné, parfaitement séché et pulvérisé, et 5^{re} du salpêtre normal, également séché et pulvérisé; on met ces deux échantillons dans deux capsules de porcelaine séchées et tarées, placées sous une cloche de verre à côté d'une troisième capsule remplie d'eau. On les y laisse 24 heures et on les repèse. Si le salpêtre raffiné a éprouvé une augmentation de poids notable par rapport à celle du salpêtre normal, on conclut à la présence du nitrate de soude, puisqu'on s'est préalablement assuré de l'absence des autres sels déliquescents. — Enfin, pour vérifier l'élimination complète des matières insolubles (sable, colle-forte, etc.), on met un peu de salpêtre raffiné dans un vase à précipité et on l'arrose de 6 à 7 fois son poids d'eau froide : la matière doit se dissoudre entièrement et, sous l'influence d'une douce chaleur, il ne doit pas se former de mucosités.

II. DOSAGE DU NITRATE DE SOUDE.

a) Analyse spectrale.

Ce procédé, employé par Dullo, ne sert qu'à constater la présence du nitrate de soude, et pêche d'ailleurs par un excès de sensibilité.

b) Épreuve d'humidité.

Nous avons indiqué (I, b) la méthode employée à Spandau pour mettre en évidence des quantités notables de nitrate de soude.

c) Procédé de Wild.

D'après Wild, du salpêtre pur fondu a une transparence parfaite après le refroidissement, tandis qu'un peu de nitrate de soude lui donne un aspect blanchâtre et émaillé. Pour faire l'épreuve, on fond 3 à 4^{re} de salpêtre dans un verre de montre; s'il y a moins de 3 p. 100 de nitrate de soude, il est difficile de se prononcer sans une grande habitude. En outre, la présence de sulfates ou de chlorures donne lieu aux mêmes apparences.

d) Procédé de Reinsch.

H. et P. Reinsch ont fait remarquer que l'on pouvait sûrement reconnaître la présence du nitrate de soude à la coloration et à l'irisation de la flamme du chalumeau, quand on enflamme un peu de

salpêtre placé sur un morceau de charbon. On peut découvrir ainsi de 0,5 à 1 p. 100 de nitrate de soude, en pratiquant dans un charbon incandescent une petite cavité où l'on met au moins 0^m,5 du salpêtre à essayer et dirigeant sur les bords la flamme du chalumeau, jusqu'à ce que le salpêtre prenne feu.

e) **Procédé de Nöllner.**

D'après Nöllner, on place le salpêtre à essayer dans un entonnoir et on le lave avec précaution ; les eaux de lavage sont recueillies et évaporées. Le salpêtre se précipite par refroidissement, tandis que le nitrate de soude, qui est déliquescent, reste dans la dissolution. On filtre, lave, et recommence la même série d'opérations jusqu'à ce qu'on ait concentré tout le nitrate de soude dans un petit volume. La dernière dissolution est évaporée sur une plaque de verre : la forme rhomboédrique des cristaux de nitrate de soude et l'examen optique auquel on les soumet, à l'aide du microscope et de l'appareil de polarisation, permettent de les distinguer facilement des cristaux de salpêtre ou de sel marin.

f) **Procédé de Toel et Hoyer.**

D'après Toel et Hoyer, on commence par déterminer le titre en salpêtre par la méthode de Huss. On prend alors une seconde portion de la liqueur d'épreuve qu'on additionne de carbonate de soude, on détermine le point de cristallisation et fait bouillir pendant une demi-heure. Dès que la dissolution s'est refroidie jusqu'à 50° R., on remplace l'eau évaporée, filtre et détermine de nouveau le point de cristallisation. Si l'échantillon contenait du nitrate de soude, on doit trouver le point de cristallisation remonté :

De 0 ^m ,15	pour une proportion de nitrate de	1	p. 100
De 0,33	id.	2	—
De 0,80	id.	3	—
De 1,55	id.	4	—

Ce procédé, qui est long et délicat, paraît se prêter difficilement à une détermination centésimale du nitrate de soude.

g) **Procédé d'Anthon.**

Le principe de ce procédé est le suivant : une dissolution de salpêtre saturée à une température déterminée a toujours une densité

constante, mais la densité de la liqueur augmente en proportion du nitrate de soude qu'elle contient. Anthon préparait des liqueurs concentrées en dissolvant 2 parties de salpêtre dans 1 partie d'eau; puis il déterminait, à la température de 16°,5 C., la densité de la dissolution pure et les densités correspondant à des additions de 1, 2, 3,..... p. 100 de nitrate de soude. Il put former ainsi le tableau suivant :

A une addition de	0 p. 100 de nitrate	correspondait $\delta = 1,140$	ou 18°,0 B. ;
Id.	1	id.	1,163 20,5 ;
Id.	3	id.	1,193 23,3 ;
Id.	6	id.	1,217 26,0 ;
Id.	10	id.	1,242 28,1 ;
Id.	40	id.	1,436 44,0 ;
Id.	45	id.	1,464 46,0 ;
Id.	47	id.	1,475 47,0 .

Après de nombreux essais, Bolley est arrivé à cette conclusion que la méthode d'Anthon conduit à des écarts considérables et mérite peu de confiance.

D'après Morin, au contraire, ce procédé peut donner le titre du nitrate de soude à $\frac{1}{1500}$ près environ, pourvu que l'on opère à une température parfaitement fixe et déterminée, par exemple à la température de la glace fondante. Morin dissolvait 500^{gr} de salpêtre avec 400^{cc} d'eau dans un ballon chauffé et fermé par un bouchon de caoutchouc, que traversait un tube long de 2^m et incliné, de manière à ramener dans le ballon la vapeur condensée; la liqueur était refroidie jusqu'à la température extérieure dans le ballon muni de son tube, puis versée dans une éprouvette à pied entourée de glace, où on la laissait séjourner pendant 12 à 14 heures; on faisait enfin la lecture au moyen d'un aréomètre très-sensible. Deux séries d'expériences ont donné les résultats suivants :

POIDS de nitrate de sonde ajouté à 500 ^{gr} de salpêtre.	TAUX de nitrate de sonde p 100 de salpêtre.	DENSITÉ DE LA LIQUEUR.		
		1 ^{re} expérience.	2 ^e expérience.	Moyenne.
0 ^{gr}	0,0	10 ^o ,675 B.	10 ^o ,675 B.	10 ^o ,675 B.
1	0,2	10 ,775	10 ,800	10 ,787
2	0,4	10 ,900	10 ,900	10 ,900
3	0,6	11 ,025	11 ,025	11 ,025
4	0,8	11 ,175	11 ,175	11 ,175
5	1,0	11 ,350	11 ,325	11 ,337
6	1,2	11 ,500	11 ,475	11 ,487
7	1,4	11 ,650	11 ,600	11 ,625
8	1,6	11 ,800	11 ,775	11 ,787
9	1,8	11 ,950	11 ,925	11 ,937
10	2,0	12 ,100	12 ,060	12 ,080
15	3,0	12 ,800	12 ,800	12 ,800
20	4,0	13 ,575	13 ,550	13 ,567

D'après ce tableau, lorsque le taux du nitrate est compris entre 0,2 et 1,6 p. 100, l'erreur que l'on commet dans la lecture est toujours inférieure à 0^o,050 B., et comme, dans ces limites, 1^o correspond à 1,4 p. 100 de nitrate, il en résulte que l'on a le taux cherché à $\frac{1}{1100}$ près environ.

Pour isoler le salpêtre de l'eau refroidie à 0^o et faciliter ainsi les lectures, Morin a proposé d'employer un appareil qui consiste essentiellement en une cloche munie d'une douille à sa partie inférieure; à l'intérieur de la cloche est placée une allonge en verre, dont le col passe à travers un anneau en caoutchouc fixé dans la douille et peut être fermé par un bouchon placé à l'extrémité d'une tige qui traverse l'allonge; au-dessous de ce bouchon est disposé un tampon de coton pressé, destiné à arrêter les cristaux de salpêtre. L'intervalle compris entre la cloche et l'allonge est rempli de glace. On verse la dissolution dans la cloche, où on la laisse séjourner pendant 12 heures au moins, en agitant de temps à autre. On enlève alors le bouchon au moyen de sa tige et l'on recueille la liqueur exempte de cristaux dans une éprouvette à pied. Ce mode d'opérer comporte une légère cause d'erreur, résultant de l'augmentation de volume de la liqueur par suite de l'élévation de température qui se produit toujours au moment de la lecture.

CHAPITRE II.

SOUFRE.

§ I.

GÉNÉRALITÉS.

I. PROPRIÉTÉS.

A l'exception de la Suède, où le soufre est le plus souvent retiré des roches sulfureuses du pays, toutes les nations emploient, pour la fabrication de la poudre, le soufre en canon ou en morceaux provenant des gisements de la Sicile; la fleur de soufre contient des acides sulfurique et sulfureux, dont l'élimination entraînerait plus de frais que le raffinage et le broyage du soufre en canons.

Le soufre est un corps solide à la température ordinaire, d'un jaune clair particulier. Il est insoluble dans l'eau, un peu soluble dans l'alcool, l'éther, la benzine, l'essence de térébenthine, et en général dans les huiles grasses et dans les huiles essentielles; il est beaucoup plus soluble dans le sulfure de carbone : 100 parties de ce liquide dissolvent à chaud 73 parties de soufre, et 38 parties à la température ordinaire (Payen).

Sa densité à 0° est 2,067. Sa densité de vapeur est 6,617 (Dumas).

Le soufre entre en fusion à la température de 111° et en ébullition à 460°. Fondu à 111°, il présente l'aspect d'un liquide jaune clair, transparent et mobile, et donne par le refroidissement du soufre à l'état solide et coloré en jaune, tel qu'il était avant la fusion. Entre 140° et 150°, il prend une teinte d'un jaune foncé, à 190° une teinte orangée: il acquiert alors une consistance visqueuse. A 260°, il devient brun, et sa viscosité est telle qu'on peut renverser le ballon dans lequel s'est opérée la fusion sans que le soufre s'écoule. Au-

dessus de cette température, le soufre reprend quelque fluidité, et si, à ce moment, on le refroidit brusquement en le versant dans l'eau froide, il reste pâteux, transparent, et prend une élasticité comparable à celle du caoutchouc (Dumas).

Chauffé à l'air libre, le soufre s'enflamme vers 250°; en vase clos, il se volatilise vers 420°. Si on le chauffe en vase clos avec du salpêtre, il se produit, à 432°, une déflagration violente avec formation de gaz et dégagement de chaleur (Violette).

Dans des circonstances différentes, le soufre se présente sous divers états qui peuvent se ramener à l'amorphisme, au dimorphisme et à l'allotropie. Le soufre fondu et porté à 180° est visqueux, d'un rouge de rubis et, si on le refroidit brusquement, amorphe. Le soufre cristallisé offre deux systèmes de cristallisation distincts : si on ne l'a pas surchauffé et qu'on le laisse refroidir lentement, après fusion, il donne des cristaux de soufre prismatique; par suite d'une transformation moléculaire, il passe ensuite à l'état de cristaux à un seul axe ou de soufre rhomboédrique, qu'on obtient directement en laissant cristalliser une dissolution de soufre dans le sulfure de carbone; les cristaux naturels de soufre appartiennent également au système rhomboédrique. Enfin, la modification noire et la modification bleue, dont l'existence est très-probable, n'ont jusqu'ici été l'objet que d'études insuffisantes.

Plusieurs de ces variétés sont solubles dans le sulfure de carbone, tandis que les autres ne s'y dissolvent pas. Ainsi, le soufre octaédrique est soluble, mais le soufre prismatique ne le devient qu'à la condition de se transformer d'abord, sous l'influence du sulfure de carbone, en soufre octaédrique.

II. ÉTAT NATUREL.

On rencontre le soufre, dans la nature, sous trois états différents : à l'état de sulfates (gypse, anhydrite, etc.), à l'état de sulfures métalliques (pyrites diverses, blends, etc.), enfin à l'état natif. — Les sulfates ne sont utilisés pour la production du soufre qu'à titre exceptionnel et pour de très-faibles quantités. — Les sulfures métalliques abandonnent par la chaleur une partie de leur soufre : ainsi, la pyrite martiale FeS^2 se transforme, à une température modérée, en Fe^2S^3 , et, à une température plus élevée, en monosulfure FeS . Les minerais pyriteux de cuivre et de plomb doivent être grillés, avant qu'on

les fonde pour en retirer le métal : bien que ce grillage se fasse au contact de l'air, une partie du soufre échappe à la combustion et se dépose dans les tas, ainsi que sur la sole où s'effectue le grillage : on peut alors le retirer comme sous-produit. C'est ainsi qu'on procède dans le Harz, en Bohême, en Saxe, à Salzbourg, à Steiermark, en Irlande, à Agordo, dans la Vénétie, et spécialement en Suède, où presque tout le soufre employé à la fabrication de la poudre est extrait des sulfures naturels.

Le soufre à l'état natif constitue la source la plus importante pour l'industrie. Nous insisterons particulièrement sur ce dernier point, en indiquant les principaux gisements de soufre et les procédés d'extraction relatifs à chacun d'eux (*).

§ II.

EXTRACTION DU SOUFRE BRUT.

I. GISEMENTS DE SOUFRE A L'ÉTAT NATIF.

De toutes les provenances naturelles du soufre, la plus importante correspond aux dépôts qui appartiennent à une formation depuis longtemps achevée, et qui se rencontrent au-dessus de la craie, dans les couches inférieures des terrains tertiaires. Dans les pays où ces dépôts se sont formés à côté des volcans, comme en Sicile, il ne paraît pas exister de relation entre leur production et l'activité volcanique. D'autres dépôts, ceux de Cracovie notamment, sont très-éloignés des sièges d'éruptions volcaniques. En dehors des pays que nous venons de citer, le soufre des dépôts tertiaires se retrouve encore dans la Croatie, la Romagne, la Silésie, la Pologne, l'Espagne, la Mésopotamie, l'Égypte, la Régence de Tunis, la Chine et le Japon. — A Budos, on trouve une terre sulfureuse agrégée en rognons, contenant, d'après Brem, de 47 à 64 p. 100 de soufre pur, et qui ne peut pas précisément être considérée comme appartenant aux terrains de formation tertiaire.

Outre ces gisements d'origine géologique, on rencontre des dé-

(*) Knapp, *loc. cit.*, p. 3 sqq.

pôts de soufre qui se sont formés dans le voisinage et sous l'influence de volcans souterrains, et dont plusieurs sont encore aujourd'hui à l'état de formation. C'est à cette classe de dépôts que se rattachent les solfatares.

a) **Dépôts de Sicile.**

Comme nous l'avons déjà dit, ce sont surtout les terrains tertiaires qui fournissent la majeure partie du soufre du commerce. Ceux de la Sicile sont de beaucoup les plus riches et les plus importants (*). Les gisements de soufre s'étendent sur presque toute la largeur de l'île et correspondent à trois degrés de longitude. Partant de l'Etna, ils occupent à l'ouest la province de Catane, plus au sud celles de Caltanissetta et de Girgenti (la plus riche de toutes en minerai), et s'étendent jusque dans les provinces de Trapani à l'extrême ouest, de Palerme au nord-ouest. Ces gisements considérables, qui contiennent aussi du sel gemme, sont associés à des dépôts de calcaire, de marne et de gypse. Le soufre, souvent mélangé à des chaux carbonatées fétides et à des bitumes, se trouve irrégulièrement réparti dans la masse. La gangue calcaire renferme le soufre tantôt uniformément mélangé, tantôt en petits filons parallèles, souvent enfin irrégulièrement disséminé dans les cavités des roches. En général, il y existe à l'état mou (*soufre saponaire*), et exceptionnellement à l'état cristallin. Les couches de marne renferment le soufre en masses sphériques; elles sont moins riches que les précédentes, mais plus avantageuses que les couches de gypse, où le soufre se rencontre dans les mêmes conditions que celui des couches calcaires.

Les couches sont, en général, inclinées de 35 à 40°; leur épaisseur varie de 3 à 30^m (la plus puissante est celle de Sommatino). Elles constituent, par suite, des dépôts pour ainsi dire inépuisables. L'exploitation s'effectue sur 200 points environ, à l'aide de galeries en forme d'escalier tortueux (*scala*), qui descendent à une profondeur de 50 à 150^m. Elle occupe de 15 000 à 20 000 ouvriers, et les produits d'extraction représentent les 9/10 du soufre consommé dans l'in-

*. Quelques auteurs rangent ces dépôts dans les terrains crétacés ou secondaires. Voir les travaux de Constant Prévost et de Pinteville de Cussy.

dustrie. La production de l'île dépasse aujourd'hui 200 000 tonnes par an (Kuhlmann) (*).

La richesse inépuisable des dépôts, l'indolence des habitants et le manque de capitaux ont produit ce fâcheux résultat, que l'exploitation des mines de soufre s'opère d'une manière barbare et sans aucun ménagement pour l'avenir. Cette exploitation se réduit au creusement de galeries inclinées, qu'on soutient par des piliers irrégulièrement espacés. En général, on commence à extraire le minerai à une profondeur de 30^m environ; l'abatage de ce minerai se fait à la pointe du pic ou *picon*; de là le nom de *piconeri* donné aux mineurs. Les galeries sont disposées sans aucune règle et poussées simplement dans les directions où l'on espère rencontrer la couche de soufre. Si le terrain est suffisamment résistant, on construit des chambres d'une largeur de 8 à 15^m et d'une hauteur double, dont on soutient le plafond par des piliers de 3 à 4^m d'épaisseur. Le minerai, chargé dans des paniers, est remonté au jour par des enfants de 6 à 16 ans, qui suivent les escaliers des galeries.

L'exploitation des mines de soufre est exposée à deux genres d'accidents très-différents, l'inondation et le feu. Quand l'eau envahit une mine et qu'on ne peut plus maintenir l'épuisement par le travail à bras, on se borne à abandonner la mine. Cependant, dans ces dernières années, on a commencé à ménager des galeries ou saignées horizontales pour l'écoulement des eaux, et, sur certains points, on a installé des pompes puissantes, mues par des machines à vapeur. — Quand l'incendie se déclare, on n'a d'autre ressource que de laisser le feu s'arrêter de lui-même, et souvent il persiste plusieurs années; à Sommatino, par exemple, une partie de la montagne est en feu depuis 50 ans.

On comprend qu'en raison de l'irrégularité des dépôts de soufre dans les terrains, le minerai doit avoir une teneur très-variable; c'est, en effet, ce que l'on constate à peu près partout. Là où les installations se prêtent à des conditions économiques, et c'est le cas pour la majeure partie des exploitations de la Sicile, on peut encore travailler des minerais ne donnant que 6 à 8 p. 100. Dans les minerais de qualité supérieure, la proportion de soufre varie de

(*) Dans leur rapport sur l'exposition de Londres, en 1862, Combes et Dubocq évaluent même cette production à 250 000 tonnes.

15 à 20 p. 100; enfin, les minerais de très-bonne qualité produisent en moyenne 25 p. 100. Sur quelques points, la teneur en soufre s'élève à 70 p. 100. Ces données s'appliquent au minerai lui-même en morceaux; mais, en traitant des morceaux de soufre naturels (*talamoni*), on arrive souvent à obtenir, comme soufre, jusqu'à 80 p. 100 du poids total.

b) Dépôts de Cracovie.

Dans le district de Cracovie, au sommet supérieur de la contrée où se trouvent les salines de Wieliczka, près de Swoscowize, de Lusina et de Wrzosowice, on exploite, depuis près de 500 ans, une couche de marne argileuse grise et de soufre, de 80" d'épaisseur. Cette couche, qui présente la forme d'un coin enveloppé de sel gemme, se compose de filons alternatifs de marne pure et de marne sulfureuse ou de gypse, disposés dans l'ordre suivant :

Marne grise.	38",00
Première couche de soufre repliée sur elle-même. . .	0",30 à 1",00
Marne grise.	4",00
Deuxième couche de soufre repliée sur elle-même. . .	2",30 à 3",00
Marne grise.	4",00
Troisième couche de soufre.	0",65
Marne grise.	4",00
Quatrième couche de soufre.	0",65
Marne grise.	4",00
Cinquième couche de soufre.	0",65
Couches inférieures ne contenant plus de soufre	?

Ce terrain renferme donc cinq couches sulfureuses, dont l'épaisseur totale est comprise entre 3",50 et 6",50. La couche supérieure contient du soufre en grains, présentant la forme et la grosseur des grains de chènevis; les autres couches fournissent des blocs de 0",025 à 0",10, d'une grande pureté, puisqu'un échantillon soumis à la distillation ne donne que 0,2 p. 100 de résidu terreux.

En 1862, ces exploitations ont fourni de 800 à 850 tonnes de soufre brut; ce produit est principalement employé dans les fabriques de soude de Bohême.

c) Dépôts de Croatie.

A Radoboj, dans la région de Krapina, en Croatie, on rencontre des gangues sulfureuses, d'un brun foncé, composées d'une masse argileuse tendre et de cristaux de gypse libre; elles ont de 0",30 à

0^m,50 d'épaisseur. Le soufre s'y trouve en rognons d'une couleur jaune foncé, dont le poids varie de 0^m,030 à plusieurs kilogrammes. Il est assez pur et, d'après les analyses de Leithner, ne renferme que 2 à 5 p. 100 de matières étrangères. Par un triage à la main et un traitement par l'eau, on commence par amener la masse à contenir de 30 à 70 p. 100 de soufre, puis on la soumet à une purification dans des fours de sublimation et de distillation.

En 1838, à Radoboj, la production en soufre épuré a été de 90 tonnes.

d) Dépôts de la Romagne.

Les dépôts de soufre de la Romagne sont exploités par une compagnie de Bologne qui possède huit districts, dont cinq dans la province de Forli (Romagne proprement dite) et trois dans celles d'Urbino et de Pesaro. Ces dépôts, qui se composent d'un mélange de gypse, de calcaire et de marne, forment des couches dont la hauteur varie de 1 à 9^m et dont l'existence a été constatée sur une très-grande longueur (30^m). Le minerai qu'on extrait fournit environ 15 p. 100 de soufre brut, qu'on raffine à Rimini.

e) Dépôts d'Espagne.

En Espagne, le nombre des usines de soufre est assez considérable. Les plus importantes sont situées au nord-ouest, à 12 milles de Teruel (Aragon), sur l'Eva, où le soufre forme des couches horizontales qui alternent avec du calcaire renfermant des pétrifications. La même constitution de sol se rencontre au sud-ouest, près de Lorca (Murcie), où 14 usines traitent le soufre avec le bois des Baléares, qu'on peut se procurer à très-bon marché. Dans la province d'Alicante (Valence), au sud-ouest, le soufre natif se trouve mélangé à de la glaise bleuâtre qui renferme, en outre, de nombreux cristaux de quartz brillants. Ce minerai est traité par les mêmes procédés que ceux qu'on emploie en Sicile et que nous décrirons plus loin. Enfin, les dépôts d'Arcos (Andalousie), à la pointe sud de l'Espagne, qui sont exploités par galeries, présentent les mêmes caractères, notamment au point de vue de la présence des cristaux de quartz (H. Sewell).

f) Solfatares.

Certains dépôts de soufre sont aujourd'hui, en maints endroits, à l'état de formation et se rattachent aux volcans récemment éteints

ou encore en activité : il est alors facile de suivre la marche des vapeurs de soufre et la manière dont elles montent à la surface. Suivant qu'elles perdent plus ou moins rapidement leur chaleur primitive, elles fournissent des produits d'aspect différent : tantôt elles donnent naissance à des dépôts solides au milieu des roches poreuses, sous forme de stratifications puissantes, de géodes ou d'amas cristallins; tantôt elles restent à l'état liquide et remplissent les interstices du sol; enfin, dans certains cas, les vapeurs trop chaudes pour se condenser arrivent sous forme gazeuse jusqu'à l'extérieur, où généralement elles brûlent au contact de l'air, en donnant naissance à de l'acide sulfureux.

Là où les volcans sont presque éteints et ne conservent plus qu'une activité très-faible, le soufre n'arrive plus à l'état de vapeur, mais simplement comme élément constituant de différents gaz qui, au moment de leur sortie du sol, ou plus tard, se décomposent en laissant déposer le soufre. C'est notamment ce qui se produit dans les *solfatares* ou *fumerolles*, dont les plus connues sont celles d'Italie et d'Islande.

Les dégagements gazeux se produisent à la surface du sol de ces solfatares, par filets séparés, et sont d'une nature très-complexe : ils renferment des sels et des parties terreuses, notamment des chlorures métalliques et de la silice, un mélange formé d'une forte proportion de vapeur d'eau et d'acides sulfureux et chlorhydrique, enfin des gaz fixes, tels que l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, l'azote, l'hydrogène sulfuré et l'hydrogène. La proportion de ces divers éléments est très-variable avec la distance du point de dégagement au centre du volcan. On distingue les fumerolles dues à l'action de températures élevées, et qui renferment de l'acide chlorhydrique et de la silice (fumerolles chlorées), des fumerolles sulfureuses et des solfatares proprement dites, les seules dont nous ayons à nous occuper ici.

Bunsen a analysé les produits gazeux qui se dégagent d'une de ces solfatares, celle de Krisuvik, en Islande. Il y trouva plus de 82 p. 100, en volumes, de vapeur d'eau et 18 p. 100 de gaz permanents. Ces derniers étaient formés, sur 100 parties en volumes, de :

Oxyde de carbone.	87,43
Azote.	1,67
Hydrogène sulfuré.	6,60
Hydrogène.	4,30

Cette solfatare produisait, par 24 heures, 233^t d'hydrogène sulfuré et 12^t d'hydrogène. Dans les autres solfatares analysées, la teneur en hydrogène sulfuré variait entre 1 et 15 p. 100, la teneur en hydrogène entre 5 et 25.

Le mélange de l'hydrogène sulfuré et de l'air en grande quantité est très-inflammable : le simple contact d'un corps en ignition (allumette, cigare, lave fondue) suffit pour déterminer la combinaison ; il se forme alors, sur une certaine étendue, une fumée brillante, dont l'aspect est dû au soufre qui se sépare.

Suivant l'intensité de la combustion, les produits qu'on obtient sont simplement du soufre et de l'eau ($\text{HS} + \text{O} = \text{S} + \text{HO}$), ou, au contraire, de l'acide sulfureux ($\text{HS} + 3\text{O} = \text{SO}^2 + \text{HO}$). L'hydrogène sulfuré et l'acide sulfureux ne peuvent pas coexister l'un à côté de l'autre ; or, dans les solfatares, ces deux gaz forment souvent, près du sol, deux couches voisines qui ne tardent pas à se décomposer : en présence de l'humidité, 1 vol. d'acide sulfureux réagit sur 2 vol. d'hydrogène sulfuré pour produire du soufre ($\text{SO}^2 + 2\text{HS} = 2\text{HO} + 3\text{S}$).

Toutes ces réactions diverses aboutissent, comme on le voit, à la formation du soufre natif, et c'est l'une des causes qui expliquent la présence de ce métalloïde en un grand nombre de points. Les solfatares sont, en effet, assez communes : en dehors de celles de l'Italie et de l'Islande, on rencontre encore celles des volcans de la Nouvelle-Zélande, qu'on a déjà commencé à exploiter, celles de Kalnicke, près d'Altsohl, en Hongrie. Ces différentes solfatares ne livrent d'ailleurs au commerce que des quantités de soufre encore peu importantes.

Dans certaines solfatares, on trouve une variété de couleur orange, qui renferme de l'arsenic et du sélénium (11,16 p. 100 d'arsenic, 0,26 de sélénium et 87,60 de soufre).

II. TRAITEMENT DES MINERAIS SULFUREUX.

a) Séparation du soufre par liqutation (Sicile).

Si l'exploitation des mines de Sicile se fait d'une manière grossière et tout à fait primitive, le traitement même des minerais n'est guère plus perfectionné et donne lieu à des pertes considérables. Ce traitement imparfait doit être attribué, en très-grande partie, aux mauvaises conditions économiques du pays, à la rareté des capitaux, au

prix élevé du combustible, à l'absence des routes et de moyens de transport, permettant d'amener le combustible aux mines ou les produits jusqu'aux ports d'expédition. D'un autre côté, comme nous l'avons déjà fait remarquer, l'abondance de la matière première, son prix minime, sont venus s'ajouter aux causes précédentes pour retarder l'introduction de perfectionnements dans les méthodes de travail.

La séparation du soufre de sa gangue ne peut s'effectuer que par la chaleur ; en Sicile, pour les raisons que nous venons d'indiquer, cette chaleur est fournie par la combustion d'une partie du soufre lui-même, qui sert ainsi de combustible pour la fusion de l'autre partie. Pour arriver à une séparation complète, le procédé le plus convenable à employer serait celui de la sublimation, car le minerai ne contient pas d'autres corps aussi volatils que le soufre ; il suffirait de condenser ensuite les produits, pour les obtenir à l'état liquide ou à l'état solide. Mais la distillation exige une quantité de chaleur considérable, car il faut d'abord porter le soufre à la température de 420°, à laquelle il se volatilise, et lui fournir ensuite sa chaleur latente de vaporisation. Enfin, les appareils distillatoires, devant être fermés, ne peuvent être chauffés que du dehors, et la chaleur développée par la combustion du soufre n'est pas suffisante, dans ce cas, pour produire la sublimation (la combustion de 1^{er} de soufre développe 2221 calories).

C'est pour cette raison qu'on se borne à porter le minerai à la température de fusion du soufre (111°) ou un peu au delà ; le soufre, amené à l'état liquide, se rassemble et on le sépare par liquation. On arrive facilement à ce résultat au moyen de la chaleur développée par la combustion même d'une partie du soufre, mais cette méthode de traitement présente de nombreux inconvénients et est très-inférieure à la méthode par distillation. L'épuration du soufre, qui est complète quand on le recueille à l'état gazeux, est, au contraire, assez imparfaite quand on se borne à l'amener à l'état liquide ; de plus, comme les matières composant la gangue retiennent toujours une partie du liquide, il en résulte une perte notable de soufre ; d'un autre côté, si l'on dépasse, même d'assez peu, la température nécessaire, si l'on arrive, par exemple, à 150°, le soufre passe à l'état amorphe, devient épais, visqueux, et cesse de couler. Il est évident, d'après cela, que le rendement obtenu par ce procédé doit être très-peu élevé, une partie du soufre se trouvant détruite par la

combustion, tandis qu'une autre partie reste dans la gangue. Le soufre qui sert à la combustion se dégage dans l'air sous forme d'acide sulfureux, lequel exerce sur la végétation de la contrée environnante une influence extrêmement nuisible. Cet inconvénient est assez sérieux pour qu'il soit indispensable de suspendre complètement le travail pendant l'été, et d'en restreindre la durée à sept, six et souvent même à trois mois par année.

Des observations précédentes il résulte que, dans la fusion du soufre, il importe, avant tout, d'échauffer la masse du minerai aussi uniformément que possible en la portant à la température de fusion, mais sans la dépasser notablement, c'est-à-dire qu'il convient de rester beaucoup au-dessous de 150°. Il était naturel de chercher à réaliser ces conditions par les procédés les plus simples, en utilisant les éléments qui se rencontrent sur tous les points où l'on extrait le soufre. C'est ainsi qu'on a été amené à effectuer le travail en disposant le minerai en meules, dont la construction et le mode de traitement se rapprochent beaucoup des méthodes qu'on emploie pour la fabrication du coke ou du charbon de bois.

Meules ou calcaroni. — Les meules qu'on construisait autrefois en Sicile, et qui portaient le nom de *calcara* ou *calcarella*, étaient d'un diamètre très-faible et ne contenaient guère que 2 à 4 tonnes de minerai ; on se bornait à les disposer sur une sole en maçonnerie, en laissant à la partie supérieure une ouverture non recouverte. Après avoir mis le feu à ces meules, on les abandonnait à elles-mêmes sans aucune surveillance. Dans ces conditions, la liquation se fait rapidement, mais en entraînant une perte considérable (50 à 70 p. 100 de la teneur primitive en soufre).

Vers 1850, on commença à réaliser un perfectionnement d'une grande importance, en augmentant, dans une très-forte proportion, les dimensions des meules. Celles qu'on construit maintenant, sous le nom de *calcaroni*, présentent des capacités variant de 100 à 1000 mètres cubes : le poids du minerai, pour les dimensions moyennes, varie de 400 à 800 tonnes. On est arrivé ainsi à réduire de beaucoup les frais du traitement, la perte de soufre par la combustion et la proportion des vapeurs dégagées dans l'atmosphère. A partir de cette époque, des minerais qu'on avait dû jusque-là laisser inexploités, par suite de leur teneur trop faible en soufre, purent être traités avec avantage. Le diamètre des meules et leur hauteur se déterminent d'après la nature du minerai dont on dispose, et leur

construction exige, par suite, une direction intelligente. On comprend d'ailleurs que la marche du travail et, comme conséquence, le rendement dépendent de la grandeur des interstices ménagés entre les divers morceaux de minerai ; ces vides doivent laisser un passage convenable et n'offrant pas trop de résistance à l'air nécessaire à la combustion, au dégagement de l'acide sulfureux et des gaz brûlés, et enfin à l'écoulement du soufre fondu. Les interstices doivent donc être établis au bas de la meule, être assez grands et, de plus, répartis aussi uniformément que possible ; ils doivent rester ouverts pendant le travail, exactement comme dans les meules de charbon de bois ou de coke. — Les minerais compactes conviennent beaucoup mieux que les autres pour la construction des meules. Les meilleurs, parmi ceux que livre une mine, sont les blocs de calcaire compacte convenablement divisés ; viennent ensuite les calcaires poreux, qui ont l'inconvénient de retenir beaucoup de soufre fondu ; enfin, les plus désavantageux sont les blocs marneux, argileux, et le gypse. Les minerais terreux ou pulvérulents, les poussières de mines, etc., abandonnent facilement des matières solides qui se mélangent au soufre et le rendent plus impur ; aussi préfère-t-on généralement les traiter à part, afin d'éviter les complications qu'ils entraîneraient en restant mélangés avec les autres parties. D'un autre côté, il convient de tenir compte de la teneur du minerai en matières organiques ou bitumineuses, qui se décomposent sous l'action de la chaleur et cèdent leurs produits empyreumatiques au soufre fondu. Enfin un troisième élément, qui a une grande importance au point de vue de la marche de l'opération, est la proportion d'eau renfermée dans le minerai. Cette eau, qu'elle soit constitutive de la matière ou simplement hygrométrique, doit être éliminée avant que le soufre puisse entrer en fusion : or, la quantité de chaleur qu'elle absorbe pour sa vaporisation, et qu'il faut également emprunter à la combustion du soufre, constitue une perte sans compensation et qui peut diminuer le rendement dans une proportion notable. Il est évident, d'après cela, qu'il y aurait grand avantage à ne construire les calcaroni qu'avec des minerais bien secs. Malheureusement, les propriétaires des mines ne prennent aucune précaution contre les intempéries des saisons, et il arrive souvent que des blocs argileux et poreux, exposés à la pluie pendant tout l'hiver, finissent par ne donner que la moitié de leur rendement normal et par rendre même la combustion difficile. Quant à l'eau combinée

chimiquement, il est évident qu'une dessiccation préalable ne saurait l'enlever.

On peut s'expliquer par là les faibles rendements en soufre que donne le gypse, qui contient 21 p. 100 d'eau de cristallisation. Pour l'argile, son eau, plus fortement combinée, ne commence à se dégager qu'à une température très-élevée, et, en général, on n'a pas à s'en préoccuper pour la liquation du soufre.

Quant aux talamoni, ou morceaux de soufre presque purs, et aux poussières très-riches, il y a avantage à les soumettre à un mode de traitement différent de celui des meules.

Les *fig. 11* et *12* représentent la disposition des calcaroni, tels qu'on les établit aujourd'hui. La meule C est construite dans une excavation de forme circulaire et à fond incliné, entourée par un mur A de 5^m de hauteur, contre lequel est adossée une autre partie en maçonnerie B, habituellement couverte. La sole du calcarone est formée avec des matériaux humectés et fortement battus (*genese*), qu'on obtient comme résidus des traitements antérieurs; souvent aussi cette sole est en maçonnerie. Elle est divisée en deux parties, dont la pente est dirigée vers la ligne médiane *ea*, qui elle-même est fortement en pente de *e* vers *a*. Cette double inclinaison constitue, en réalité, une rigole avec une pente totale de 2^m, par laquelle le soufre fondu peut couler librement dans la chambre *d*. Dans la partie *a*, le mur d'enceinte présente une ouverture de 0^m,15 de largeur et 1^m,50 de hauteur, qui, au début de l'opération, est fermée par un remplissage en maçonnerie. L'enceinte une fois préparée, on y dispose le minerai; les morceaux les plus gros et les plus résistants sont placés à la base et l'on établit, par-dessus, les couches successives avec des morceaux de plus en plus petits. Au-dessus du mur d'enceinte A, la meule est arrondie et recouverte d'une couche *cc* de résidus pulvérisés, provenant des traitements antérieurs. Habituellement on ménage une série de petits puits verticaux *b, b, b...*, qui servent pour l'allumage et qu'à cet effet on laisse ouverts au commencement de l'opération. Lorsqu'on traite des matières de bonne qualité, on fait les meules plus hautes; on réduit, au contraire, leurs dimensions, quand on travaille des minerais très-divisés.

Lorsque la construction de la meule est terminée, on procède à l'allumage, en jetant dans les puits *b* de la paille imprégnée de soufre ou du bois résineux. Au bout de 12 heures, le feu s'est communiqué au minerai voisin et l'on peut fermer les orifices *b*. La

combustion se propage alors lentement et de haut en bas. Les interstices de la couverture servent d'ailleurs, comme dans la carbonisation du bois, à assurer l'accès de l'air extérieur et le dégage-

Fig. 11.

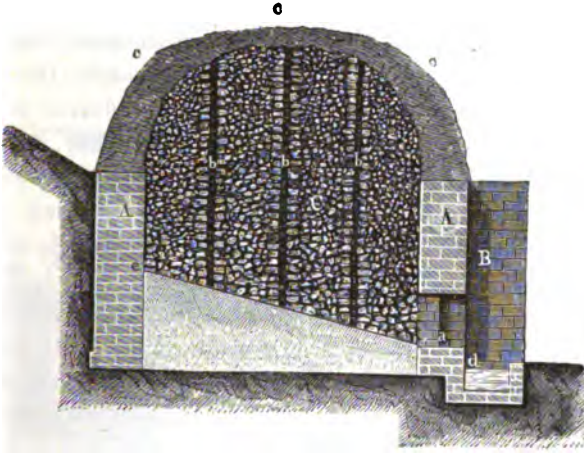
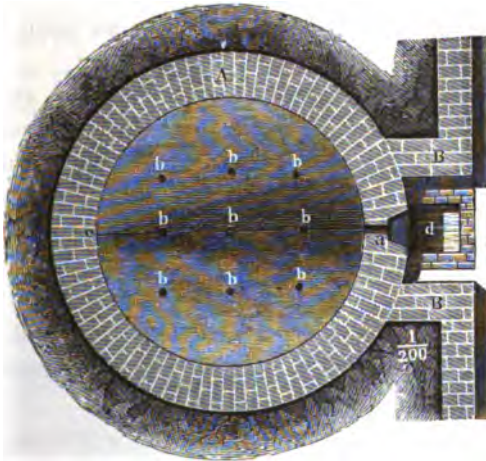


Fig. 12.



ment des produits de la combustion. C'est également à l'aide de la couverture que l'ouvrier règle la marche du feu : lorsque ce feu est trop énergique, que la meule s'échauffe trop, on augmente l'épaisseur de la couverture ; on la réduit dans le cas contraire ; quelque-

fois même, pour modérer l'action du feu, on injecte de l'eau sur la masse.

Le soufre, qui échappe à la combustion dans la couche supérieure, fond, descend dans les couches suivantes encore froides et s'y solidifie. Le même phénomène se reproduit, couche par couche, à mesure que la combustion se propage, jusqu'à ce qu'enfin les couches inférieures arrivent à être suffisamment chaudes. Le soufre se rassemble alors vers le fond à l'état liquide. Un mois environ après la mise en feu, le liquide s'élève au-dessus de l'orifice de coulée *a*. A ce moment, on commence à le recueillir, en perçant, à la partie supérieure de la cloison provisoire, un trou qu'on agrandit successivement jusqu'au bas. La coulée se produit pendant quatre ou cinq semaines, jusqu'au moment où la meule se trouve complètement brûlée.

Les calcaroni restant exposés à l'air, la pluie et le vent peuvent entraîner des irrégularités dans le travail : la pluie détermine des refroidissements nuisibles, et le vent a pour conséquence une dépense plus considérable de soufre, l'air arrivant en excès d'un côté, pendant que de l'autre l'acide sulfureux tend à éteindre le feu. Des inconvénients du même genre sont à redouter avec du minerai trop tendre ou trop compacte : souvent il arrive que les minerais de cette nature se tassent pendant l'opération, au point d'empêcher la circulation des gaz et la coulée du soufre.

Le soufre, recueilli dans la cavité en maçonnerie *d*, est coulé dans des formes en bois humides, où il se solidifie et donne des pains ou blocs, qu'on désigne sous le nom de *ballates* et qui pèsent de 55 à 60^l. C'est le soufre brut tel qu'on l'expédie, et qui arrive en France réduit en morceaux, par l'effet du transport.

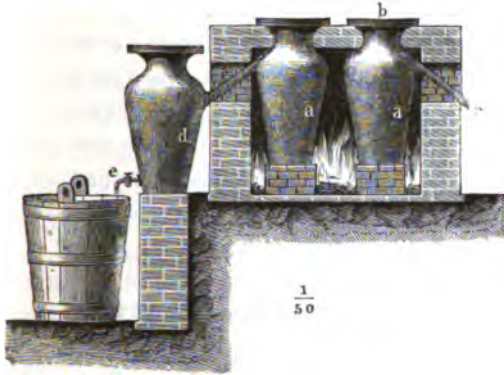
La durée du traitement d'un calcarone dépend de sa grandeur, de la nature du minerai et de la saison. Elle varie entre des limites tres-éloignées, d'un mois ou un mois et demi à deux et au delà. On ne peut donc, dans chaque campagne, faire sur la même sole que deux ou trois opérations au plus.

Calcarone Gill. — L'ingénieur anglais Gill a proposé, pour l'extraction du soufre, un four dont le principe se rapproche de celui du four suédois de Schwartz, et qui devait permettre de fondre le soufre en dirigeant à travers le minerai les gaz chauds d'un foyer. Mais on n'est pas parvenu jusqu'ici à surmonter complètement certaines difficultés d'exécution de ce mode de traitement.

b) Extraction du soufre par sublimation.

Le traitement du minerai par sublimation, pour obtenir le soufre brut, ne se trouve guère appliqué qu'exceptionnellement, dans les localités où l'on peut faire usage de combustibles ordinaires. Ainsi, dans quelques contrées, on trouve encore employée l'ancienne méthode d'extraction, représentée par la *fig. 13*. Dans un fourneau

Fig. 13.

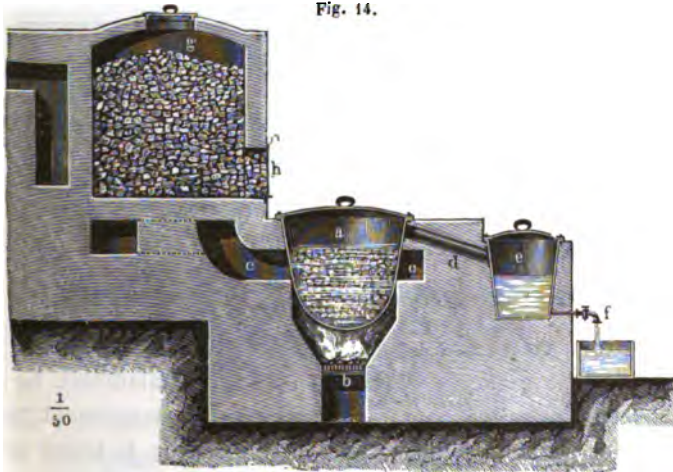


allongé en briques, qu'on désigne sous le nom de *galère*, sont disposées deux séries de pots *a*, en terre réfractaire, fermés à la partie supérieure par un couvercle *b*, et qu'on remplit de minerai sulfureux. On chauffe les pots à l'extérieur avec un feu de bois :

le soufre passe à l'état de vapeurs, qui se dégagent par les tuyaux *c* et arrivent dans des récipients *d*, d'où le soufre, redevenu liquide, est versé dans les formes par le robinet *e*.

On emploie aussi, mais plus rarement, la disposition représentée *fig. 14*. Le minerai est enfermé dans une chambre en maçonnerie *g*,

Fig. 14.



chauffée de l'extérieur à l'aide de la chaleur perdue du foyer. Par la trémie *h*, on fait couler les matières, réchauffées préalablement, dans une cornue en fonte *a*, munie d'un couvercle et exposée à l'action directe du foyer *b*, dont les gaz circulent autour de la chaudière par le carneau *c*. Les vapeurs de soufre produites passent par le tuyau *d* et se condensent en *e*, d'où l'on reprend le liquide pour le verser en *f* dans des caisses ou dans des formes.

c) Traitement des minerais par le sulfure de carbone.

La méthode des calcaroni entraîne, comme nous l'avons vu, la destruction d'une partie notable du soufre des minerais (60 à 70 p. 100 de la quantité initiale). Pour éviter cet inconvénient, on a cherché à substituer à l'action de la chaleur celle d'un des dissolvants du soufre, le sulfure de carbone, qu'on prépare sur place en introduisant du soufre dans un cylindre en fonte, porté au rouge sombre et rempli de coke et de charbon de bois.

A Bagnoli, près de Naples, où fonctionne ce procédé, l'opération constitue un véritable lavage méthodique du minerai. Les matières à traiter sont placées dans des corbeilles et descendues dans des cylindres en fonte de 2^m de hauteur environ, à fermeture hermétique. Une tuyauterie spéciale permet de faire circuler le sulfure de carbone à travers la batterie de cylindres, et, comme on a soin de faire arriver le sulfure pur sur le minerai frais, on parvient assez rapidement à épuiser ce minerai d'une manière complète; le sulfure de carbone sort, à l'extrémité du circuit, saturé de soufre, c'est-à-dire qu'il en renferme de 25 à 30 p. 100. Les liquides sont alors distillés de façon à recueillir le sulfure de carbone pour l'opération suivante, et il suffit ensuite de porter le soufre à la température de fusion pour le couler dans les formes.

Ce procédé est assurément très-rationnel, mais il a contre lui le prix élevé du sulfure de carbone et les pertes inévitables de cette substance délétère. Il est donc à craindre que, de longtemps au moins, il ne puisse se généraliser.

d) Traitement des talamoni.

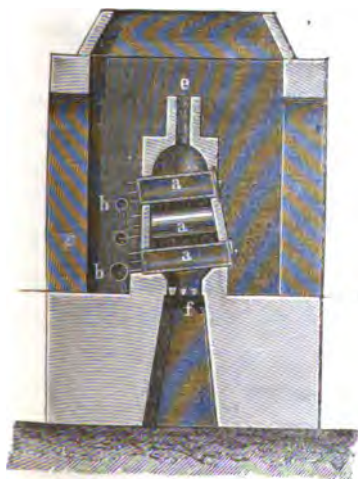
Nous avons vu (p. 123) qu'on soumet à un lavage, pour les purifier, certaines matières très-riches en soufre (talamoni). Le produit de cette première opération n'est plus, à proprement parler, un minerai, mais du soufre impur, et, au lieu de le traiter par la

méthode des meules, on se borne à le fondre dans de grandes chaudières de tôle. La charge des chaudières est assez riche en soufre pour devenir entièrement liquide, lorsqu'on la porte à une certaine température. Une fois qu'on a atteint le point de fusion, on agite la masse et l'on enlève les plus grosses impuretés et les pierres qui se déposent au fond. On introduit alors dans la chaudière une nouvelle charge de talamone, et ainsi de suite jusqu'à ce que la chaudière soit entièrement remplie. Elle finit par arriver à ne contenir plus que du soufre et des matières étrangères très-divisées. On maintient ce mélange liquide pendant quelque temps à une chaleur très-moderée : les impuretés se déposent et l'on décante le soufre pur, qui se trouve à la partie supérieure. Les matières qu'on a dû retirer, au début, de la chaudière (scorzone), comme celles qui restent à la fin du travail (metale), sont naturellement imprégnées de soufre ($1/3$ de leur poids), et pourraient rentrer avantageusement dans les calcaroni.

e) Fours de Cracovie.

Dans les mines de Swosrowice, où le combustible est très-abondant et la main-d'œuvre à bon marché, au lieu d'employer le procédé des meules, on traite les minerais sulfureux dans des fours

Fig. 15.



spéciaux. Le minerai est disposé dans des tuyaux chauffés extérieurement à la houille. Le four de la *fig. 15* renferme 27 de ces tuyaux en fonte *aa*, disposés sur 3 rangs. Chacun d'eux a 1^m de long et 0^m,50 de large. L'une de leurs extrémités est fermée par un couvercle, l'autre par une plaque où se trouvent 3 tuyaux pour la sortie du soufre. Un seul suffirait à la rigueur, mais comme, pour ménager les cornues, on doit souvent les retourner, on n'ouvre jamais que le tuyau situé à la partie la plus basse. Tous les

tuyaux *a* d'un même rang communiquent ainsi à un récipient commun *bb*, qui dirige les produits vers la chambre de condensation.

Les gaz chauds du foyer *f* se rendent dans les trois cheminées *e*. Dans une journée de 12 heures, on peut charger 4 fois les tubes du bas les plus voisins du foyer, 3 fois les suivants, 2 fois ceux de la rangée supérieure. On retire ainsi 700 à 800^k de soufre brut, en dépensant 800 à 900^k de houille. Les marnes sulfureuses qu'on traite donnent, en moyenne, 11 à 14 p. 100 de soufre.

f) Composition, prix de revient et statistique.

Le soufre brut, tel qu'on le rencontre dans le commerce, contient toujours quelques parties du minerai d'où on l'a extrait (1/2 à 3 p. 100, rarement plus). Il renferme également des matières qui influent sur sa couleur et fournissent ainsi le moyen d'apprécier sa qualité. Les minerais riches donnent le plus beau soufre, les minerais pauvres un produit brun et impur; une chaleur trop forte provoque également une coloration brune. La présence des matières bitumineuses donne un soufre gris jaunâtre et fibreux. On distingue, dans le commerce, trois qualités principales, classées d'après la couleur et l'éclat; la troisième représente du soufre mat et verdâtre.

Le prix de revient du soufre sur le carreau de la mine est naturellement très-variable pour les différentes exploitations. Rendu à Palerme, le soufre se vend de 10 à 13^{fr} les 100^k, suivant la qualité.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, la Sicile compte 200 exploitations environ, dont 2 produisent de 6 à 7 000 tonnes par an, 18 de 3 à 6 000, 30 de 800 à 1 500, 50 de 300 à 800. Le reste, soit une centaine, ne livre chaque année que de 100 à 300 tonnes. La production totale de la Sicile est de 200 000 tonnes environ, qui représentent une valeur de 20 à 22 millions. L'exportation a été, en 1866, de 179 000 tonnes, dont 73 000 en Angleterre, 43 000 en France, 18 000 en Amérique et le reste dans les autres pays.

§ III.

ÉPREUVES DU SOUFRE BRUT.

I. A LA RAFFINERIE DE MARSEILLE.

Le soufre brut de troisième qualité ne doit pas contenir plus de 3 p. 100 de matières étrangères; on tolère 2 p. 100 pour le soufre de deuxième qualité.

Échantillonnage. — On prélève sur chaque tombereau un échantillon représentant, aussi bien que possible, les différentes parties de la masse; on mélange les matières, et l'on obtient ainsi l'échantillon moyen de la fourniture du jour. On sépare par un criblage cet échantillon en trois parties: les gros morceaux, le menu et la poussière; on prend environ le quart de chacun de ces tas, et l'on en fait un mélange intime en pilonnant dans un mortier. C'est sur ce mélange qu'on prend les 500^{rs} destinés à l'essai.

Incinération. — On fait brûler les 500^{rs} dans un petit creuset de grès porté au rouge; on opère le plus souvent sur deux creusets à la fois, en introduisant la matière par cuillerées quand les creusets sont suffisamment rouges. Lorsque la combustion est terminée, on laisse refroidir, on détache avec soin le résidu et l'on pèse. Le poids ainsi obtenu ne doit pas dépasser 15^{rs} pour du soufre de troisième qualité.

Humidité. — On peut déterminer l'humidité du soufre brut par les procédés ordinaires. Le plus souvent, on juge à l'aspect si le soufre est suffisamment sec: il doit se produire une poussière abondante au moment du déchargement et du pesage.

Acides. — On broie au mortier une certaine quantité de soufre et l'on fait bouillir avec de l'eau distillée: du papier bleu de tournesol, plongé dans la liqueur, ne doit pas tourner au rouge.

II. A SPANDAU ET A WETTEREN.

Acides. — On opère comme nous venons de l'indiquer. La plupart des poudreries renvoient au fournisseur le soufre qui contient des acides; sinon, on doit le broyer et le laver avec soin.

Terres et oxydes. — Le soufre est pulvérisé, placé dans une cap-

sule de porcelaine et complètement brûlé sous une cloche de verre. Il ne doit pas rester de résidu.

Arsenic. — L'arsenic donne au soufre une coloration orangée ou légèrement rougeâtre. Pour mettre ce corps en évidence, on fait bouillir assez longtemps du soufre pulvérisé avec de l'acide sulfurique; on verse la dissolution dans un vase à précipité et neutralise avec du carbonate d'ammoniaque. Une addition de nitrate d'argent ne doit pas produire le précipité jaune caractéristique d'arséniate d'argent. — On peut encore traiter le soufre par une dissolution d'ammoniaque, puis par l'acide chlorhydrique : on aurait un précipité jaune de sulfure d'arsenic.

En Belgique, on mélange le soufre avec 4 fois son poids de salpêtre, on le met dans un creuset chaud et on le fait fondre. La matière est ensuite reprise par l'eau distillée et traitée par l'acide sulfurique. Après avoir chassé l'eau, on ajoute de l'alcool au résidu et plonge une lame de zinc dans la liqueur. Si cette lame se recouvre d'un dépôt noir feuilleté, c'est un indice certain de la présence de l'arsenic.

Le soufre qui contient de l'arsenic est toujours exclu de la fabrication de la poudre.

§ IV.

RAFFINAGE DU SOUFRE.

Le raffinage du soufre a pour objet de le débarrasser des matières étrangères qu'il renferme et qui nuiraient à la qualité de la poudre. C'est cette considération qui a fait proscrire l'usage du soufre en fleur et aussi, sauf en Suède, celui du soufre provenant du grillage des pyrites.

Nous passerons en revue les principaux appareils et procédés de raffinage successivement employés à la raffinerie de Marseille, en Allemagne et dans les Indes orientales.

I. À LA RAFFINERIE DE MARSEILLE.

Le raffinage du soufre s'effectue, à Marseille, dans 16 grandes usines dont le mode d'installation a été reproduit presque partout

sans changements appréciables. Le traitement repose sur la vaporisation ou la distillation du soufre; les matières terreuses restent comme résidus, et les vapeurs sont amenées par la condensation à l'état liquide, pour être coulées ensuite dans des moules, lorsqu'elles ne sont pas recueillies à l'état pulvérulent. Les mêmes installations peuvent d'ailleurs être utilisées pour la production de ces deux variétés. Elles se composent toutes essentiellement de deux parties principales : une chaudière en fonte pour recevoir, chauffer et volatiliser le soufre brut, et une chambre en maçonnerie assez grande pour recevoir et condenser les vapeurs. En général, on ajoute une chaudière spéciale, destinée à chauffer le soufre brut et à l'amener à l'état liquide, en utilisant la chaleur perdue du fourneau de distillation.

a) **Appareil de Michel.**

Le plus ancien des appareils employés pour la purification du soufre et celui qui a servi de point de départ à tous les perfectionnements ultérieurs est l'appareil de Michel. Il se composait, à l'origine, d'une chaudière en fonte très-épaisse, pouvant recevoir 5 à 600^l de soufre brut, communiquant par un carneau en maçonnerie avec une chambre de 100^m environ. Plus tard, le carneau fut remplacé par une hausse et des tuyaux métalliques. L'appareil de Michel fournissait, en moyenne, par mètre cube de la chambre et par 24 heures, 22 à 23^l de soufre en canons ou 3^l.500 à 3^l.750 de fleur de soufre. Cette installation, bien qu'assez rationnelle, présentait de sérieux inconvénients : les matières terreuses fixes qui, pendant le traitement, s'accumulaient dans la chaudière de distillation, exigeaient, pour en être retirées, une opération longue et pénible; la communication entre la chaudière et la chambre ne pouvant être interceptée, l'enlèvement des résidus ou l'introduction de soufre neuf ne pouvaient se faire sans que l'air pénétrât par l'ouverture pour aller brûler une partie du soufre. La perte due à cette cause n'était pas inférieure à 10 ou 12 p. 100; en outre, le dégagement d'acide sulfureux qui en résultait constituait une incommodité réelle pour les ouvriers.

b) **Réchauffeur de Feissat et Parry-Signoret.**

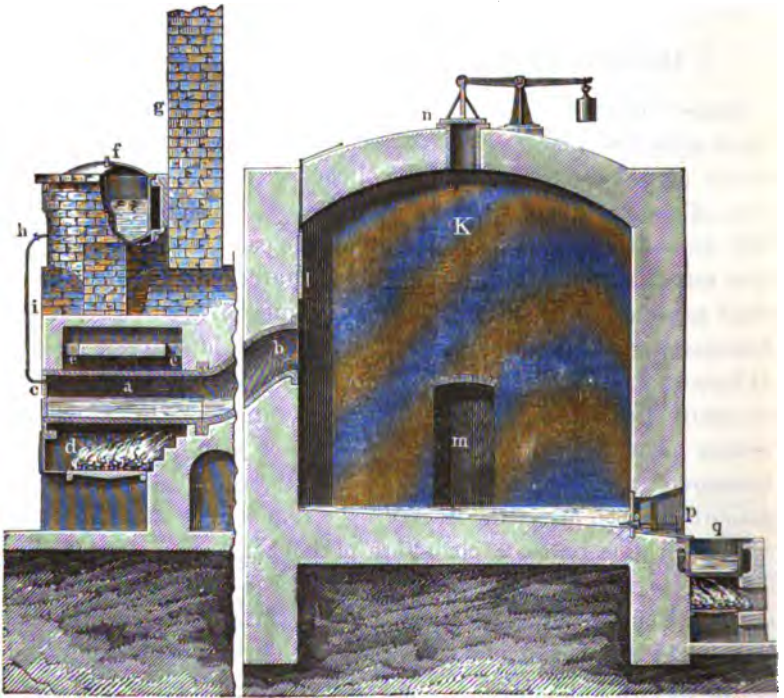
Ces imperfections conduisirent Feissat et Parry-Signoret à ajouter à l'installation un réchauffeur, où le soufre était préalablement

fondu pour être conduit ensuite dans la chaudière de distillation. Un registre, établi sur la hausse de cette dernière, permettait d'interrompre la communication avec la chambre des vapeurs. Ce dispositif avait encore l'inconvénient de conserver la forme incommode des anciennes chaudières de distillation.

c) **Appareil de Lamy (1844).**

Dans l'appareil de Lamy, qui obtint, en 1844, un prix de l'Académie des sciences, la chaudière est formée par deux cylindres *a* (fig. 16) de 1^m,50 de long sur 0^m,50 de diamètre, qui sont envelop-

Fig. 16.



pés par la flamme du foyer *d*. Ces cylindres sont fermés à l'avant par un couvercle mobile *c*; à l'arrière, ils communiquent, par un tuyau coudé *b*, avec la chambre de condensation *K*. Cette chambre, de forme rectangulaire, a un volume de 84^m³. La porte *m* permet de la vider; *n* est une soupape de sûreté équilibrée. La bonde *op* sert à

l'écoulement du soufre liquide qui se condense dans un récipient *g*, installé au-dessus d'un foyer. — Les cylindres sont chargés alternativement avec 300^k de soufre brut, provenant du réchauffeur *f*, et chaque opération dure 8 heures. On distille donc, en 24 heures, 1800^k de soufre. Au point où le tuyau *b* débouche dans la chambre, est disposée une trappe mobile *l*. Les gaz chauds, en quittant les cylindres, viennent passer en *ee* sous le réchauffeur commun *f* et, de là, après avoir circulé autour de l'appareil, se rendent dans la cheminée *g*. Le soufre brut, qu'on introduit, en soulevant le couvercle, dans le réchauffeur, s'y liquéfie et alimente chacun des cylindres par les tuyaux *hic*. Pour éviter que les résidus, en s'accumulant au fond du réchauffeur, ne viennent obstruer ce tuyau, on le fait déboucher un peu au-dessus du fond.

L'enlèvement des résidus est très-simple; malheureusement, ils restent imprégnés de soufre qui échappe à la distillation. D'un autre côté, le joint du cylindre et de son couvercle reste rarement étanche et laisse perdre du soufre.

d) Appareil de Court et Déjardin (1852).

L'appareil construit par Court et Déjardin, sur la demande de l'Administration de la guerre, pour la raffinerie de l'État à Marseille, et représenté *fig. 17 et 18*, évite les deux inconvénients que nous venons de signaler dans l'appareil précédent. Le réchauffeur *A* est muni, à la partie inférieure, d'une large tubulure qu'on peut fermer avec un tampon *b* et qui communique avec un tuyau *a*, par lequel le soufre fondu passe, en même temps que les résidus, dans la chaudière de distillation *B*. Celle-ci, qui est aplatie en forme de lentille, est venue de fonte d'une seule pièce avec les deux raccords *f* et *d*: elle ne présente donc aucun joint dans la partie chauffée. Un tuyau en plomb ou en fonte *D* établit la communication avec la chambre et est muni d'une valve *e*. Le foyer est en *C*; la flamme chauffe d'abord la partie supérieure de la chaudière de distillation, puis la face inférieure, et passe de là au réchauffeur. Pendant l'opération, la valve *e* reste ouverte. Quand on veut enlever les résidus, on la ferme, on enlève le couvercle en *f* et l'on retire par cet orifice les résidus terreux; l'opération ne présente aucune difficulté. Les résidus sont jetés par le conduit *F* dans la citerne *G*, où on les laisse refroidir.

Le réchauffeur contient 600^k de soufre brut, dont la distillation

Fig. 17.

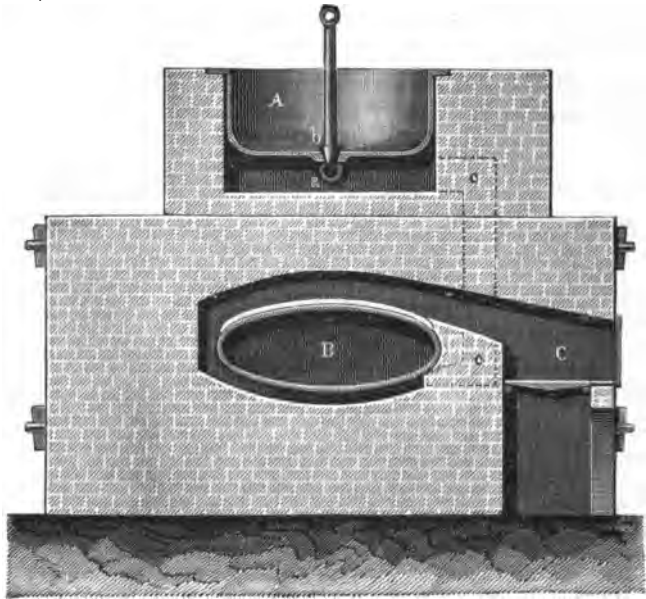
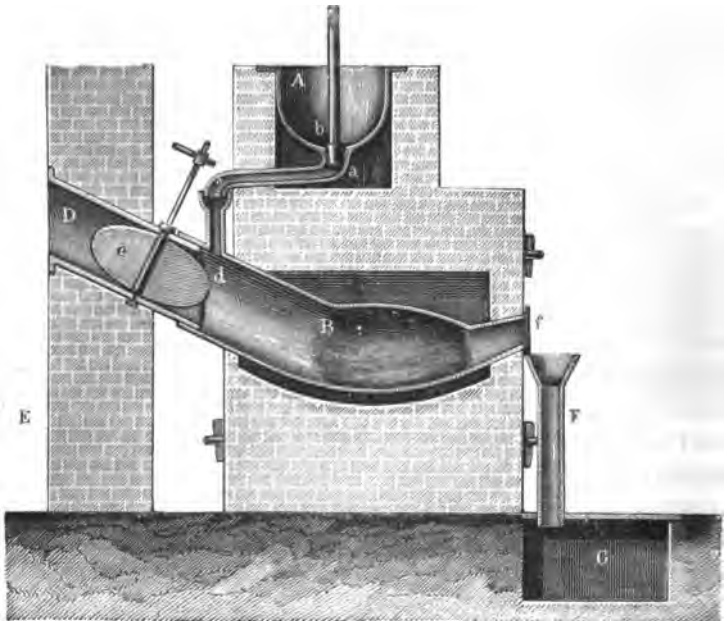


Fig. 18.



dure 4 heures. On opère donc, par 24 heures, sur 3 600^k de soufre, qui exigent 500^k de houille demi-grasse. Au bout de 5 ou 6 jours, on coule dans les moules le soufre liquide. Pour la fleur de soufre, la chambre doit être maintenue à une température assez basse pour que le soufre se dépose immédiatement à l'état solide; dans ce cas, on ne peut distiller que 400^k de soufre par 24 heures.

L'appareil de Court et de Déjardin peut durer de 6 à 7 mois, tandis que celui de Lamy était hors de service au bout de 10 semaines.

A la raffinerie de Marseille, où le travail n'est pas continu, la comparaison des deux appareils a donné les résultats ci-après :

		APPAREIL LAMY.	APPAREIL COURT ET DÉJARDIN.
Dépense en combustible pour 100 kil. de soufre. . .		38 ^h ,500	19 ^h ,400
Perte au raffinage id.		6 ^h ,600	3 ^h ,500
Main-d'œuvre id.		0 ^r ,500	0 ^r ,400
Entretien et réparations id.		0 ^r ,360	0 ^r ,200
Frais généraux de raffinage id.		2 ^r ,480	1 ^r ,690

L'économie réalisée avec le nouvel appareil est d'environ 7000^r par an.

Chez MM. de Wyndt et C^{ie}, à Merxem (Belgique), où le travail est continu, le déchet de raffinage n'est que de 0,75 p. 100.

L'appareil Clément, breveté en 1854, se rapproche beaucoup de l'appareil Court et Déjardin.

e) Coulage du soufre raffiné.

Le soufre fondu est coulé dans des futailles en bois. On attend, pour cela, que sa température se soit abaissée jusqu'à 115°, afin qu'il soit parfaitement liquide et que, solidifié, il prenne la couleur jaune citron; puis on coule dans le baril un peu de soufre fondu, pour boucher les fentes, et l'on verse le liquide. On laisse refroidir pendant 24 heures, en ayant soin de mouiller la surface extérieure, et l'on ferme le baril par un tampon en bois mastiqué avec des crasses de soufre.

Il se produit, pendant le refroidissement, de petits crépitements dus à la transformation du soufre prismatique en soufre rhomboédrique soluble dans le sulfure de carbone. Toutefois, la modification n'est jamais complète, même après un temps très-considérable, et l'analyse montre que ces soufres sont généralement composés d'une

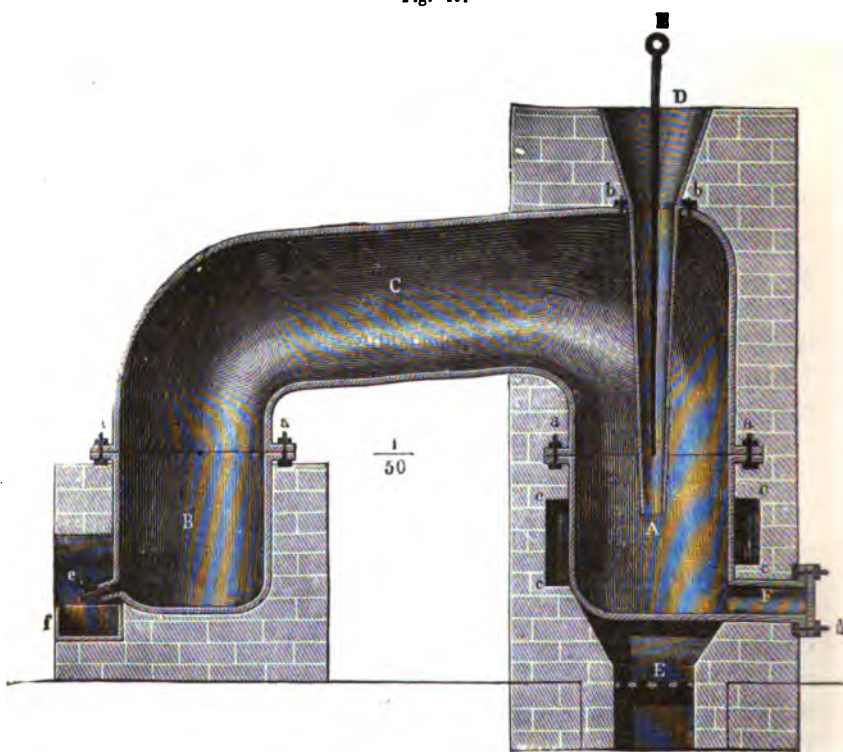
partie insoluble dans le sulfure de carbone (3 à 7 p. 100, d'après Deville) et d'une partie soluble.

II. EN ALLEMAGNE.

a) Dans les raffineries.

Dans les fabriques allemandes, où l'on peut utiliser les résidus de la fabrication pour les fours des chambres à acide sulfurique, on a adopté le dispositif en fonte représenté *fig. 19*, qui a l'avantage

Fig. 19.



d'exiger très-peu de place. La chaudière de distillation A est reliée au condenseur B par un tuyau C, de même section que la chaudière elle-même. E est le foyer avec ses carnaux de fumée *cc*, F une tubulure fermée par un couvercle *d* pour le nettoyage de la chaudière A, D une trémie pour l'introduction du soufre brut. Son extrémité in-

férieure débouche en A, au-dessous de la surface du bain liquide, et une tringle G en fer permet de maintenir le passage toujours libre. Le soufre, condensé en B, s'écoule par la tubulure e dans le récipient f.

Les chambres de raffinage fournissent des sulfures en canons ou en fleur, suivant leur température et la rapidité du travail : plus on opère rapidement, plus il arrive de vapeurs sulfureuses dans la chambre en un temps donné, et plus cette vapeur cède de la chaleur aux parois. Ainsi, l'appareil de Lamy fournit, par jour, 6 distillations de 300° pour le soufre en canons, et seulement 2 de 150° pour la préparation de la fleur de soufre. On distille donc, dans le premier cas, 6 fois plus de soufre que dans le second, pour maintenir la chambre à la température du soufre liquide.

b) A la poudrerie de Spandau.

Une chaudière, solidement fixée dans un massif en maçonnerie au-dessus d'un foyer, est remplie de 75° de soufre, qu'on fait fondre lentement; dès qu'il est liquide, on le verse dans des pots en fer émaillé, contenant chacun 25°, qu'on a essayés intérieurement avec un linge trempé dans de l'eau chaude et recouverts d'un tamis sur lequel est tendue une toile. On laisse refroidir le soufre filtré, qui, en passant à la variété rhomboédrique, devient éminemment friable, et on le conserve dans des barils de 100°. — Les crasses restées dans la chaudière et sur les filtres sont traitées comme soufre brut.

III. DANS LES INDES ORIENTALES.

Le soufre est raffiné dans des chaudières en bronze de 0^m,8 de diamètre et 0^m,5 de profondeur. Le soufre brut est d'abord concassé et débarrassé des mauvais morceaux que l'on fait fondre à part. On chauffe doucement la chaudière, en apportant successivement le soufre par pelletées, de manière que le remplissage dure 4 heures. Dès que les dernières portions de soufre sont fondues, on laisse tomber le feu et l'on enlève les impuretés qui montent à la surface, jusqu'à ce que de fines aiguilles commencent à s'y former. On décante alors le soufre dans des moules en bois, en laissant au fond de la chaudière les crasses qui s'y sont rassemblées. Ces moules contiennent également des crasses qui tombent au fond, montent à la surface ou adhèrent aux parois; on en purifie le soufre par un second

raffinage, identique au premier. — Le soufre retiré des écumes et des crasses par une fonte spéciale est traité comme soufre brut.

§ V.

ÉPREUVES DU SOUFRE RAFFINÉ.

Les épreuves du soufre raffiné sont analogues à celles du soufre brut (§ III) : l'incinération ne doit laisser aucun résidu, les eaux de lavage ne doivent pas être acides, et la dissolution sulfurique ne doit pas être précipitée en jaune par le nitrate d'argent.

CHAPITRE III.

CHARBON.

Des trois éléments de la poudre, le charbon est celui dont la préparation présente le plus de difficultés et exige le plus de soins. Il est facile, en effet, grâce aux procédés de raffinage que nous avons précédemment indiqués, d'amener le salpêtre et le soufre à un état de pureté tel qu'on peut considérer ces matières comme n'introduisant aucune substance étrangère dans la fabrication. Mais il n'en est pas de même du charbon de bois, le seul employé, qui, pour une même essence, présente une composition extrêmement variable avec la température développée pendant la carbonisation et avec la durée de cette opération. Il en résulte que sa pureté, son homogénéité et, par suite, son inflammabilité présentent elles-mêmes de grandes variations, qui ont longtemps été regardées comme l'un des éléments les plus importants de la fabrication de la poudre.

Nous aurons donc à examiner, en premier lieu, les propriétés générales des charbons et l'influence du mode de carbonisation sur leur qualité; nous décrirons ensuite les principaux systèmes de carbonisation adoptés ou proposés jusqu'à nos jours.

§ I.

GÉNÉRALITÉS SUR LES BOIS ET LES CHARBONS.

D'une manière générale, le charbon destiné à la fabrication de la poudre doit s'enflammer facilement, brûler vite et ne pas donner de cendres. Ces trois qualités dépendent à la fois de l'essence du bois

et du mode de carbonisation ; nous allons en étudier séparément l'influence.

I. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES DIVERSES ESSENCES DE BOIS.

a) Inflammabilité des diverses essences (Proust).

Proust a proposé un procédé simple pour mesurer l'inflammabilité des diverses essences de bois. Il remplissait de petits tubes en cuivre, ayant 0^m,06 de longueur et 0^m,006 de diamètre, avec un mélange intime de 4^g de salpêtre et de 0^g,8 de charbon de différents bois ; il y ajoutait un peu de poussier de poudre, qu'il enflammait. Il notait la durée de la combustion et le poids du résidu. Les expériences étant faites dans des conditions aussi identiques que possible, le meilleur charbon était celui dont la combustion s'effectuait le plus rapidement, et cela d'autant mieux que le résidu se trouvait être en même temps le plus faible, comme le montre le tableau ci-après :

ESSENCES DE VÉGÉTAUX. (Mélange de 4 gr. de salpêtre et de 0 ^g ,775 de charbon)	DURÉE	POIDS
	de la combustion.	du résidu.
	secondes.	gr.
Bois de chènevotte.	10	0,775
Tige d'asphodèle.	10	0,775
Cep de vigne.	12	1,275
Tige de pois.	13	1,355
Bois de pin.	17	1,936
Bois de bourdaine.	20	1,550
Fusain.	21	1,746
Bois de noisetier.	23	1,936
Tige de piment.	25	2,325
Paille de maïs.	25	2,450
Bois de châtaignier.	26	2,325
Bois de noyer.	29	2,130
Grains de maïs.	45	2,774
Houille, coke.	50	2,900
Sucre.	70	3,100

Proust trouva même des charbons qui ne brûlaient pas dans les conditions de l'expérience : tels étaient les charbons du blé, du riz, de la noix de galle, etc. Il en était de même pour la paille de blé et

d'autres graminées trop riches en silice, tandis que certains bois pourris, en particulier les bois de saule et de hêtre, donnaient un charbon excessivement friable et éminemment inflammable, avec un faible résidu. Enfin Proust a reconnu que, pour une même essence, l'écorce est moins inflammable et donne plus de cendres que le bois proprement dit.

En général, plus une essence de bois est riche en cellulose, meilleur sera son charbon; c'est pour cela que l'on choisit, pour la fabrication du charbon à poudre, des bois tendres et légers, le plus souvent dépouillés de leur écorce.

b) Rendement en charbon des diverses essences (Violette).

Les différentes espèces de bois ne se distinguent pas seulement par la qualité de leurs charbons, mais aussi par la quantité qu'elles en produisent dans des circonstances identiques. On doit à Violette une série d'expériences destinées à déterminer les rendements de 72 espèces de bois, préalablement séchées à 150° et carbonisées à la température de 300°. Ces expériences sont résumées dans le tableau suivant :

NUMÉROS.	NATURE DU BOIS.	DESSICCATION A 150°.				CARBONISATION A 300°.			OBSERVATIONS.
		POIDS DU BOIS		PERTE		POIDS DU BOIS DRESSÉ		RENDEMENT en charbon p. 100 parties de bois.	
		avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative.	pour 100.	avant la carbonisation	après la carbonisation		
		gr.	gr.	gr.		gr.	gr.		
1	Liège.	26,52	25,00	1,52	5,75	25,00	15,70	62,80	"
2	Ébène.	154,29	141,50	12,79	8,39	141,50	76,85	54,30	"
3	Satiney.	83,08	74,00	9,08	10,93	74,00	38,50	52,00	"
4	Saule pourri.	"	"	"	"	23,00	12,00	52,17	"
5	Bois d'Herculanum.	1,50	1,30	0,20	13,33	49,50	24,60	49,69	Semblable à l'amadou Fragment d'une petite trouée dans fouilles d'Herculanum
6	Paille de blé.	66,93	58,20	8,73	13,13	58,20	24,80	46,99	"
7	Chêne.	151,30	128,00	23,30	15,40	128,00	59,00	46,09	"
8	If.	194,14	175,20	18,94	9,75	175,20	80,70	46,06	"
9	Acajou.	115,25	98,00	17,25	8,80	98,00	44,00	44,89	"
10	Bois de lettre.	91,17	77,50	13,67	15,00	77,50	34,30	44,25	"
11	Bois de fer.	94,62	81,60	13,02	13,76	81,60	35,70	43,75	Fragment d'une coupe de sauge de 10 centim.
12	Génévrier.	110,33	67,30	43,03	39,00	67,30	29,00	43,07	8 à 10 ans.
13	Galac.	309,54	278,50	31,04	10,03	278,50	116,60	41,86	"
14	Pin maritime.	89,48	47,00	42,48	47,47	47,00	19,50	41,48	10 ans.
15	Peuplier (feuilles).	24,20	10,50	13,70	56,61	10,50	4,30	40,95	15 ans.
16	Peuplier (racines).	34,94	22,00	14,94	37,00	22,00	9,00	40,90	15 ans.
17	Pin sauvage.	69,20	37,30	31,90	46,10	37,30	15,20	40,75	10 ans.
18	Agaric de saule.	62,36	49,20	13,16	21,32	49,20	20,00	40,64	3 à 5 ans.
19	Buis.	82,00	71,70	11,70	12,56	71,70	29,00	40,44	"
20	Alisier (alouchier).	148,11	68,40	79,71	51,91	68,40	27,60	40,35	8 à 10 ans.
21	Mélèze.	132,33	95,50	36,83	27,83	95,50	38,50	40,31	10 à 12 ans.
22	Palmier.	92,05	79,50	13,55	13,63	79,50	31,40	39,49	"
23	Thuya du Canada.	72,16	50,70	21,46	29,11	50,70	20,00	39,44	12 à 15 ans.
24	Chênevotte.	56,38	51,50	4,88	14,23	51,50	20,20	39,22	"
25	Clématite.	88,65	43,00	45,65	51,50	43,00	16,70	38,83	4 à 5 ans.
26	Jonc.	14,67	13,00	1,67	11,39	13,00	5,00	38,46	"
27	Bois de cocotier.	91,30	77,50	13,80	15,12	77,50	29,40	37,93	"
28	Coton cardé.	30,70	27,80	2,90	9,44	27,80	7,40	37,41	"
29	Sureau.	197,29	141,50	55,79	28,02	141,50	52,80	37,31	8 à 10 ans.
30	Aylanthé (vernis du Japon).	112,07	78,60	33,47	29,91	78,60	29,30	37,27	5 à 6 ans.
31	Églantier.	112,06	82,50	29,56	26,38	82,50	30,70	37,21	10 ans.
32	Chèvrefeuille.	87,01	51,40	35,61	40,93	51,40	19,00	36,96	4 à 5 ans.
33	Fusain.	86,89	56,00	30,89	35,55	56,00	20,50	36,60	8 à 10 ans.
34	Vigne.	44,19	37,50	6,69	15,15	37,50	13,76	36,53	10 à 12 ans.
35	Châtaignier.	61,48	40,20	21,28	34,61	40,20	14,50	36,06	10 à 15 ans.
36	Cytise (faux-ébénier).	66,80	47,20	19,60	29,33	47,20	17,00	36,01	15 à 20 ans.

N ^o LIEN.	NATURE DU BOIS.	DESSICCATION A 150°.				CARBONISATION A 300°.			OBSERVATIONS.
		POIDS DU BOIS		PERTE		POIDS DU BOIS DESSÉCHÉ		RENDEMENT en charbon p. 100 parties de bois.	
		avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative.	pour 100.	avant la carbonisation	après la carbonisation		
37	Groseillier.	90,83	68,70	22,13	24,36	68,70	24,50	35,66	3 à 4 ans.
38	Néflier.	44,04	38,50	5,54	16,16	38,50	13,70	35,57	8 à 10 ans.
39	Cerisier.	188,63	121,00	67,63	35,85	121,00	43,00	35,33	15 à 20 ans.
40	Tremble.	105,10	91,50	13,60	12,94	91,50	32,00	34,97	"
41	Baguenaudier.	65,76	54,50	11,26	17,12	54,50	19,00	34,85	5 à 6 ans.
42	Lierre.	82,06	61,00	21,06	25,67	61,00	21,20	34,75	15 à 20 ans.
43	Aubépine (alisier).	167,40	111,50	45,90	27,88	115,50	38,70	34,70	8 à 10 ans.
44	Platane.	125,33	108,00	17,33	13,82	108,00	37,50	34,69	10 ans.
45	Pommier.	169,85	147,00	22,85	13,99	147,00	51,00	34,69	7 à 8 ans.
46	Orme.	134,27	122,00	12,27	9,13	122,00	42,20	34,59	8 à 10 ans.
47	Charme.	125,21	104,50	20,71	16,54	104,50	36,00	34,44	15 à 20 ans.
48	Aune.	98,58	84,00	14,58	14,90	84,00	28,90	34,40	8 à 10 ans.
49	Épine-vinette.	93,09	66,50	26,59	28,57	66,50	22,80	34,28	10 ans.
50	Ajonc.	122,58	95,50	27,08	22,86	95,50	32,70	34,24	3 à 5 ans.
51	Bouleau.	112,73	70,80	41,93	37,20	70,80	24,20	34,17	10 à 12 ans.
52	Prunier.	250,50	182,00	68,50	27,34	182,00	62,00	34,06	7 à 8 ans.
53	Sycomore (érable).	135,04	84,40	50,64	37,50	84,40	28,50	33,76	12 à 15 ans.
54	Érable.	122,68	94,80	27,88	22,72	94,80	32,00	33,75	6 à 7 ans.
55	Saule.	95,91	81,50	14,41	15,03	81,50	27,50	33,74	8 à 10 ans.
56	Bourdaine.	125,13	108,00	17,13	13,69	108,00	36,30	33,61	2 à 3 ans.
57	Robinier (faux-acacia).	100,96	67,90	33,06	32,31	67,90	22,70	33,42	10 à 12 ans.
58	Cornouiller (sanguin).	164,41	90,50	73,91	43,80	90,50	30,20	33,36	4 à 5 ans.
59	Genêt.	73,99	63,00	10,99	14,85	63,00	21,00	33,33	3 à 5 ans.
60	Frêne.	155,70	129,20	26,50	17,39	129,20	43,00	33,28	30 à 40 ans.
61	Cognassier.	104,54	70,00	34,54	33,04	70,00	23,30	33,28	8 à 10 ans.
62	Coudrier (noisetier).	106,78	75,60	31,18	29,20	75,60	24,80	32,79	4 à 5 ans.
63	Merisier à grappes.	118,15	96,00	22,15	18,75	96,00	31,40	32,70	4 à 5 ans.
64	Houx.	181,35	113,00	68,35	37,69	113,00	36,40	32,21	8 à 10 ans.
65	Troène.	113,65	78,00	35,65	31,22	78,00	25,00	32,05	8 à 10 ans.
66	Boule-de-neige.	117,93	95,20	22,73	19,27	95,20	30,50	32,03	6 à 8 ans.
67	Poirier.	147,26	114,80	32,46	22,47	114,80	36,60	31,88	7 à 8 ans.
68	Tilleul.	127,94	70,00	57,94	45,31	70,00	22,30	31,85	"
69	Lilas.	94,42	60,60	33,82	35,82	60,60	19,30	31,84	8 à 10 ans.
70	Catalpa (bignon).	68,63	51,70	16,93	24,67	51,70	16,20	31,33	8 à 10 ans.
71	Peuplier (tronc).	47,11	25,70	21,41	45,45	25,70	8,00	31,12	15 ans.
72	Marronnier d'Inde.	116,16	62,20	53,96	46,45	62,20	19,20	30,86	20 à 30 ans.

La comparaison des n^o 15 et 16 avec le n^o 71 montre que les différentes parties d'un même arbre correspondent à des rendements inégaux : les feuilles et les racines du peuplier donnent 40,95 et 40,90 p. 100, et le tronc 31,12 seulement. Dans un autre essai relatif au bois de cerisier, Violette a trouvé que le feuillage et les filaments des racines avaient la même composition et donnaient 5 p. 100 de charbon de moins que le tronc.

Il résulte de l'ensemble de ces expériences qu'au point de vue de la carbonisation, il faut faire un choix, non-seulement entre les différents végétaux, mais encore entre les diverses parties d'un végétal déterminé. On prendra de préférence le bois proprement dit et les filaments développés qui se trouvent au-dessous de l'écorce et de l'aubier.

c) Réception des bois.

Dans les différents pays, on choisit, autant que possible, pour la fabrication du charbon à poudre, des bois tendres et légers, le plus souvent des bois blancs.

En France, le bois de bourdaine (*rhamnus frangula*), à sève rouge, est exclusivement employé pour la fabrication des poudres de guerre et de chasse; il coûte de 15 à 17 fr. les 100^k et ne donne, à 300°, qu'un rendement en charbon de 33,61 p. 100 (Violette). En outre, l'approvisionnement en devient de jour en jour plus difficile; aussi cherche-t-on à le remplacer par le saule ou le fusain. — Les bois blancs (saule, aune, peuplier, tremble, châtaignier, coudrier, fusain) sont affectés à la préparation du charbon de mine; ils ne coûtent que de 4 à 8 fr. les 100^k secs et donnent, à 300°, un rendement qui varie de 33 à 37 p. 100.

En Angleterre, on emploie le saule, l'aune, le cornouiller sanguin, et rarement la bourdaine, à cause de son prix élevé; en Belgique, le bois de chènevotte, pour les poudres de chasse, et, pour les autres poudres, la bourdaine, le saule, l'aune et le coudrier; en Espagne, la chènevotte, et quelquefois le laurier-rose, l'if, le saule et la vigne; en Italie, la chènevotte, le saule et l'aune; en Suisse, le coudrier; en Allemagne, la bourdaine, qui coûte 13,5 marcs (environ 17^{fr}) le mètre cube, le saule et l'aune; en Autriche, la bourdaine et le cornouiller, ou, au besoin, l'aune et le coudrier; en Danemark, l'aune; en Suède, l'aune et le saule; en Russie, l'aune; dans

les Indes orientales, les espèces connues sous les noms de *cytiscus cajan* (faux-ébénier), *parkinsonia*, *euphorbia tiraculli*.

Ces bois ont, en moyenne, de 2 à 10 ans; ils doivent être coupés au printemps, alors qu'ils sont en pleine végétation et que la sève est parvenue jusqu'aux branches minces et aux feuilles; les transports se font en été. Les bois doivent être, en général, dépouillés de leur écorce; en France, les bois blancs sont reçus non écorcés.

La longueur des brins est déterminée d'après celle des cylindres de carbonisation; elle doit être comprise, pour la poudrerie de Sévran, entre 1^m,25 et 1^m,30, tandis qu'en Allemagne elle est fixée à 0^m,31. Leur grosseur peut varier de 0^m,027 à 0^m,070, pour les bois blancs, et seulement de 0^m,010 et 0^m,035 pour les bois de bourdaine; en Allemagne, elle ne doit guère dépasser 0^m,026: les brins trop gros sont refendus aux frais du fournisseur. Les bois sont livrés en bottes de 0^m,30 à 0^m,40 de diamètre; les différentes essences doivent former des bottes distinctes, et les brins de même grosseur sont réunis dans les mêmes bottes. On a enlevé les menues branches en les coupant à la naissance, et l'on rejette absolument les pattes de souche, qui donnent beaucoup de cendres, les bois morts, qui contiennent peu de charbon, et les bois tortillards ou les gros nœuds, qui sont difficiles à placer dans les cylindres.

La réception se fait au poids; on déduit du poids des bottes celui des harts, déterminé par une ou plusieurs pesées effectuées sur plusieurs bottes prises au hasard. On fait, en outre, pour chaque lot, une épreuve de dessiccation. Pour cela, on prend un échantillon de 20^g par 25000^g de bois, en prélevant un ou deux brins sur chaque botte; chaque échantillon est chauffé dans un cylindre de carbonisation à la température de 125° environ, et l'on constate de temps en temps la perte de poids qu'il éprouve, jusqu'à ce que deux pesées consécutives donnent le même résultat: on obtient ainsi le déchet d'humidité.

d) Conservation des bois.

Les bois récemment coupés ont, à très-peu près, la même composition chimique. Ils renferment, en moyenne:

49,37	p.	100	de carbone,
6,14	—		d'hydrogène,
43,42	—		d'oxygène et d'azote,
1,07	—		de cendres;

composition analogue à celle de la cellulose pure, qui contient :

43,69	p. 100	de carbone,
6,23	—	d'hydrogène,
50,07	—	d'oxygène et d'azote.

Mais ils sont, en outre, chargés d'une quantité d'humidité très-variable, qui peut s'élever jusqu'à 60 p. 100 et dont il faut les débarasser, autant que possible, par une exposition prolongée à l'air libre, sans toutefois produire aucune altération de leurs tissus.

L'humidité du bois vert varie, en général, de 20 à 50 p. 100; elle est minima en hiver et maxima pendant la végétation : elle peut alors atteindre 60 p. 100. Si l'on expose le bois à l'air libre, il s'établit peu à peu un équilibre entre son état hygrométrique et celui de l'air ambiant : au bout de 1 an 1/2 ou 2 ans, il a perdu tout ce que l'air peut lui enlever, et possède encore de 12 à 15 p. 100 d'eau. Pour le dessécher plus complètement, il faut le soumettre à une température de 125 à 150°; si alors on l'expose de nouveau à l'air, il reprend rapidement 10 à 12 p. 100 d'humidité. Si l'exposition est prolongée au delà de 2 ans, le carbone est partiellement brûlé et le bois se transforme en une masse spongieuse, à cassure courte, qui est de l'humus; le même résultat se produit au bout de 1 an 1/2 environ, par une exposition à l'air humide. Enfin, l'écorce s'oppose à la dessiccation du bois : ainsi, une branche dépouillée de son écorce sur une certaine longueur a perdu, au bout de 3 mois, 39 p. 100 de son humidité pour la partie libre, et 1 p. 100 seulement pour la partie encore recouverte.

En France, les approvisionnements sont de 2 ans 1/2 pour le bois de bourdaine, et de 1 an 1/2 pour le bois blanc. Le bois est empilé, à l'air libre, en tas correspondant à chaque réception de 10 000^l environ : les bottes inférieures sont placées sur des madriers assez forts pour les préserver du contact du sol, et la partie supérieure de la pile est disposée en forme de toit pour faciliter l'écoulement des eaux. Après être resté exposé pendant un hiver et un été, le bois est empilé et conservé sous des hangars.

Malgré son utilité réelle au point de vue de la dessiccation, le système d'exposition du bois à l'air libre présente l'inconvénient d'exiger beaucoup d'espace, une grande dépense de main-d'œuvre et une mise de fonds considérable, sans compter les chances permanentes d'in-

condie; en outre, les bois peuvent être souillés de matières étrangères apportées par le vent, telles que du sable, des feuilles, etc.

En Angleterre, la durée d'exposition du bois à l'air libre est de 3 ans; elle était autrefois de 10 à 12 ans : on recueillait alors un bois poreux et filamenteux, qui n'était autre que de l'humus. — A Spandau, l'exposition se fait sur un emplacement abrité par des arbres, et dure 2 ou 3 ans; elle a pour but de produire l'entraînement des sucs végétaux par les eaux de pluie et aussi, par l'action de l'air et de la chaleur, une désorganisation partielle des tissus. — A Dresde, on conserve, au contraire, le bois dans de grands hangars, pour le soustraire à l'action du vent et à l'intempérie des saisons.

II. THÉORIE DE LA CARBONISATION.

L'essence du bois étant déterminée, il reste à considérer la température et le mode de la carbonisation. De ces deux facteurs dépendent, en effet, le rendement du bois en charbon et la composition des produits, aussi bien que les propriétés physiques et chimiques des charbons obtenus, propriétés que nous examinerons dans l'ordre suivant : aspect extérieur, densité, hygrométrie et conductibilité, pour les premières; et, pour les secondes : solubilité, inflammabilité, force de décomposition.

a) Rendement en charbon (Violette).

L'influence de la température de carbonisation sur le rendement résulte d'une série d'expériences exécutées par Violette sur des bois de bourdaine qu'il choisissait, autant que possible, du même âge, et qu'il avait préalablement desséchés à 130° : pour les températures inférieures à 350°, il opérait la carbonisation au moyen de la vapeur d'eau surchauffée; pour les températures supérieures, il se servait d'un fourneau à vent, et finalement d'un fourneau-forge. Le tableau ci-après donne les résultats de ces expériences :

NUMÉROS.	DESSICCATION A 150°.				CARBONISATION.				OBSERVATIONS.	
	POIDS DU BOIS		PERTE		TEMPÉRA- TURE.	POIDS DU BOIS		POIDS DES MATIÈRES VOLATILES dégagées pour 100 de bois.		RENDEMENT en charbon pour 100 de bois.
	avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative.	p. 100.		avant la carboni- sation.	après la carboni- sation.			
	gr.	gr.	gr.	»	150°	gr.	gr.	0,00	100,00	Violette donne le nom gé-
1	»	»	»	»	150°	114,50	114,50	0,00	100,00	nérique de charbon au pro-
2	129,56	110,00	19,33	15,00	160	110,00	107,81	2,00	98,00	duit obtenu par l'exposi-
3	126,40	104,70	21,70	17,17	170	104,70	99,00	5,45	94,55	tion du bois à une températu-
4	122,38	103,20	17,18	14,04	180	105,20	93,20	11,41	88,59	quelconque.
5	123,20	105,50	17,70	14,36	190	105,50	86,50	18,01	81,99	Dans chaque expérience,
6	120,92	107,00	13,92	17,28	200	107,00	82,50	22,90	77,10	c'est le même bois séché à
7	127,29	107,60	19,69	15,40	210	107,60	78,70	26,86	73,14	150° qui a été soumis à la
8	123,52	104,00	19,52	15,80	220	104,00	70,20	32,50	67,50	carbonisation.
9	112,87	98,50	14,37	12,73	230	98,50	54,50	44,63	55,37	Les charbons, du n° 14 au
10	126,40	106,70	19,70	15,58	240	106,70	54,20	49,21	50,79	n° 10, sont incuits ou brûlés.
11	125,18	108,70	16,48	13,16	250	108,70	54,00	51,33	49,67	
12	138,20	117,80	20,40	14,76	260	117,80	47,40	59,77	40,23	
13	121,49	105,80	15,69	12,91	270	105,80	39,30	62,86	37,14	
14	130,03	110,60	19,43	14,94	280 (*)	110,60	40,00	63,84	36,16	(*) Charbon très-roux, com-
15	128,55	110,00	18,55	14,43	290	110,00	37,50	65,91	34,09	mençant à être friable; il
16	125,12	108,00	17,12	13,69	300	108,00	36,30	66,39	33,61	commence la série véritable
17	115,83	101,30	14,53	12,54	310	101,30	33,30	67,13	32,87	des charbons.
18	113,52	99,30	14,22	12,52	320	99,30	32,00	67,77	32,23	
19	122,20	104,50	17,70	14,48	330	104,50	33,20	68,23	31,77	
20	129,64	111,00	18,64	14,38	340 (**)	111,00	35,00	68,47	31,53	(**) Charbon très-noir, ainsi
21	125,55	104,50	21,05	16,37	350	104,50	31,00	70,34	29,66	que les suivants.
22	103,95	90,45	13,50	12,98	432 (***)	90,45	17,07	81,13	18,87	(***) Fusion de l'antimoine
23	51,10	44,00	7,10	13,90	1023	44,00	7,50	81,25	18,75	— de l'argent.
24	80,14	69,00	11,14	13,90	1100	69,00	12,70	81,60	18,40	— du cuivre.
25	45,26	39,00	6,26	13,84	1250	39,00	7,00	82,06	17,94	— de l'or.
26	73,75	63,00	10,75	14,60	1300	63,00	11,00	82,54	17,46	— de l'acier.
27	96,69	82,60	14,09	14,60	1500	82,60	14,30	82,69	17,31	— du fer.
28	46,82	40,00	6,82	14,60	Fusion du platine	40,00	6,90	85,00	15,00	— du platine.

On voit que le rendement du bois en charbon est d'autant plus faible que la température de carbonisation est plus élevée : entre 280° et 1 500°, il s'abaisse de 36 à 15 p. 100 ; mais, en même temps, le poids des substances volatiles dégagées augmente d'une manière continue. Il se produit, en effet, pendant la carbonisation, un véritable départ entre le carbone et les gaz qui constituent le bois,

sans que la séparation soit jamais complète : le carbone se divise en deux parties, dont l'une reste combinée dans la cornue avec une certaine quantité de gaz, tandis que l'autre se dégage avec la majeure partie des substances volatiles. C'est ce que Violette a encore montré en déterminant séparément la composition du charbon et celle des gaz produits par la carbonisation de 100 parties de bois de bourdaine préalablement séché à 150°; le tableau suivant résume ces analyses.

TEMPÉRATURE de la carbonisation.	PRODUITS DE LA DÉCOMPOSITION DU BOIS PAR LA CARBONISATION.					TOTAL des produits.
	MATIÈRES SOLIDES OU CHARBON restant dans le récipient, p. 100.			MATIÈRES VOLATILISÉES p. 100.		
	Carbone.	Gaz.	Cendres.	Carbone.	Gaz.	
150°	47,51	52,41	0,08	"	"	100
160	46,66	51,26	0,08	0,85	1,15	100
170	45,18	49,28	0,09	2,33	3,12	100
180	43,36	45,12	0,11	4,15	7,26	100
190	41,50	40,31	0,18	6,01	12,00	100
200	39,95	36,97	0,18	7,56	15,34	100
210	36,03	36,96	0,15	8,48	18,38	100
220	36,83	30,51	0,16	10,68	21,82	100
230	31,64	23,56	0,17	15,87	28,76	100
240	31,14	18,39	0,26	16,37	32,84	100
250	32,58	16,78	0,31	14,93	35,40	100
260	27,31	12,69	0,23	20,20	39,57	100
270	26,17	10,65	0,32	21,34	41,52	100
280	26,27	9,68	0,21	21,24	42,60	100
290	24,71	9,17	0,21	22,80	43,11	100
300	24,62	8,80	0,19	22,89	43,50	100
310	24,20	8,43	0,24	23,31	43,82	100
320	23,71	8,35	0,17	23,80	43,97	100
330	23,37	8,25	0,15	24,14	44,09	100
340	23,71	7,68	0,14	23,80	44,67	100
350	22,73	6,75	0,18	24,78	45,56	100
432	15,40	3,25	0,22	32,11	49,02	100
1023	15,37	3,12	0,30	32,14	49,11	100
1100	15,32	2,86	0,22	32,19	49,41	100
1250	15,81	1,91	0,22	31,70	50,36	100
1300	15,86	1,40	0,20	31,65	50,89	100
1500	16,37	0,83	0,11	31,14	51,55	100
au delà de 1500	14,48	0,23	0,29	33,03	51,97	100

Il résulte, en outre, de ce tableau qu'à 250°, le carbone restant dans le résidu est le double du carbone dégagé; les deux quantités sont sensiblement égales entre 300° et 350°; enfin, de 350° à 450°, c'est le carbone dégagé qui est double du carbone resté dans le résidu.

Indépendamment de la température, la durée et l'activité de la carbonisation exercent une grande influence sur le rendement en charbon : une carbonisation lente produit un rendement beaucoup plus élevé qu'une carbonisation rapide, à la même température (Violette). C'est ce que montre le tableau ci-dessous :

NATURE de la carbonisation.	TEMPÉRA- TURE de la carboni- sation.	POIDS DU BOIS préalablement séché à 150°		POIDS des matières volatiles dégagées p. 100 de bois.	RENDE- MENT en charbon p. 100 de bois.	OBSERVA- TIONS.
		avant la carboni- sation.	après la carboni- sation.			
Carbonisation lente. .	432°	gr. 90,45	gr. 17,07	81,13	18,87	Charbon dur.
Carbonisation rapide.	432	69,72	6,25	91,04	8,96	Charbon friable.

b) Composition des charbons (Violette).

Violette a montré que, si le rendement en charbon diminue rapidement avec l'élévation de la température, la teneur en carbone du produit obtenu augmente, au contraire, dans une proportion considérable, comme l'indique le tableau ci-après :

N. MÉTRON.	TEMPÉRATURE de la carbonisation.	SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES trouvées dans 100 parties de charbon de bourdaïne.				OBSERVATIONS.
		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et pertes.	Cendres.	
1	150°	47,5105	6,1200	46,2900	0,0800	
2	160	47,6055	6,0645	46,2710	0,0850	
3	170	47,7750	6,1950	45,9535	0,0980	
4	180	48,9360	5,8400	45,1230	0,1170	
5	190	50,6145	5,1150	44,0625	0,2215	Violette donne le nom générique de <i>charbon</i> au produit obtenu par l'exposition du bois à une température quelconque.
6	200	51,8170	3,9945	43,9760	0,2265	
7	210	53,3735	4,9030	41,5380	0,2000	Tous ces charbons sont imparfaits, soit encore bois, soit incuits ou brûlés.
8	220	54,5700	4,1505	41,3935	0,2170	
9	230	57,1465	5,5080	37,0470	0,3145	
10	240	61,3070	5,5070	32,7055	0,5150	
11	250	65,5875	4,8100	28,9670	0,6320	
12	260	67,8905	5,0380	26,4935	0,5595	
13	270	70,4535	4,6415	24,1920	0,8355	Charbon très-roux, commençant à être pulvérisable; éminemment convenable pour la poudre de chasse.
14	280	72,6395	4,7050	22,0975	0,5680	
15	290	72,4940	4,9810	21,9290	0,6100	
16	300	73,2360	4,2540	21,9620	0,5690	
17	310	73,6330	3,8295	21,8125	0,7440	Série décroissante de charbons roux, convergeant vers la couleur noire.
18	320	73,5735	4,8305	21,0860	0,5185	
19	330	73,5515	4,6260	21,3330	0,4765	
20	340	75,2020	4,4085	19,9620	0,4775	
21	350	76,6440	4,1360	18,4415	0,6130	Charbon très-noir, ainsi que les suivants, et convenable pour la poudre de guerre.
22	432 (*)	81,6435	1,9610	15,2455	1,1625	(*) Fusion de l'antimoine. Idem.
23	1023	81,9745	2,2975	14,1485	1,5975	— de l'argent.
24	1100	83,2925	1,7020	13,7935	1,2245	— du cuivre.
25	1250	88,1385	1,4150	9,2595	1,1990	— de l'or.
26	1300	90,8110	1,5835	6,4895	1,1515	— de l'acier.
27	1500	94,5660	0,7395	3,8405	0,6640	— du fer.
28	1500	96,5170	0,6215	0,9360	1,9455	— du platine.

On voit que le teneur du produit obtenu en carbone est à peu près proportionnelle à la température de la carbonisation. Violette a constaté qu'elle croît également, pour une même température, avec la lenteur de la carbonisation : ce qui s'explique en remarquant que, par une brusque application de la chaleur, le carbone se trouve entraîné, soit à l'état de combinaison, soit sous forme de suie ou de goudron. C'est ce qui résulte du tableau suivant :

NATURE de la carbonisation.	TEMPÉ- RATURE de la carboni- sation.	SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES trouvées dans 100 parties de charbon.				OBSERVA- TIONS.
		Carbone.	Hydro- gène.	Oxygène, azote et pertes.	Cendres.	
Carbonisation lente.	432°	82,106	2,190	14,849	0,953	Charbon dur.
Carbonisation rapide.	432	79,589	2,169	15,736	2,506	Charbon friable.

c) **Marche de la carbonisation et aspect des produits.**

Il résulte des expériences que nous venons de décrire que le bois, soumis à l'action de la chaleur, commence par perdre son eau hygrométrique et, jusqu'à 150°, ne paraît pas subir d'autre altération, puisqu'une exposition prolongée à cette température n'augmente pas la déperdition de poids. A partir de 150° se produit la décomposition chimique proprement dite, et le bois se transforme, vers 260°, en *brûlots* parfaits, représentant environ 40 p. 100 du poids du bois à l'état sec. Au delà de 260°, la décomposition se continue et le rendement va sans cesse en diminuant, en même temps que la matière s'enrichit en carbone.

A 280°, le charbon commence à être friable: il est *roux*, éminemment inflammable et propre à la fabrication de la poudre de chasse. La grande difficulté pour la préparation des charbons roux est d'arrêter la carbonisation entre 280 et 300°. Il se produit, en effet, vers 270°, par le fait du dégagement des carbures d'hydrogène, une élévation subite de température qui peut aller jusque vers 340°, quelque précaution que l'on prenne pour s'y opposer, et qui amène la transformation d'une partie de la charge en charbon noir.

A 300°, les propriétés du charbon roux subsistent, avec un rendement de 34 p. 100 environ. Vers 340°, le charbon commence à devenir *noir*, et l'on obtient, entre 350 et 400°, les qualités qui conviennent aux poudres de guerre et de mine, avec des rendements qui varient de 31 à 28 p. 100. Les charbons noirs, pour lesquels la température de carbonisation n'a pas dépassé sensiblement 432°, sont faciles à triturer, présentent une cassure unie qui laisse voir la texture du bois, et sont sillonnés de fissures transversales, rarement de fissures longitudinales.

Entre 1 000 et 1 500°, le charbon obtenu est très-noir, dur, et ré-

siste à la trituration ; le rendement s'abaisse à 48 et 17 p. 100. Enfin, le produit correspondant au point de fusion du platine est noir jusqu'au centre, difficile à briser, et possède une sonorité métallique ; le rendement n'est que de 15 p. 100.

Une carbonisation lente à 432°, par exemple, donne un charbon très-dur, lourd, parfaitement calciné et sonore, avec un rendement de 19 p. 100. Une carbonisation rapide donne, au contraire, un charbon friable, très-léger, et abaisse le rendement à 9 p. 100.

d) Densité du charbon (Violette).

Pour déterminer la densité de divers charbons de bois de bourdaine obtenus à des températures croissantes, Violette les pesait dans l'air, puis les laissait séjourner dans l'eau pendant huit jours, afin de chasser l'air contenu dans les pores, et mesurait la densité par la méthode ordinaire. Il est ainsi arrivé aux résultats suivants :

TEMPÉRATURE de la carbonisation.	DENSITÉ des charbons.	TEMPÉRATURE de la carbonisation.	DENSITÉ des charbons.
150°	1,507	310°	1,422
170	1,490	330	1,428
190	1,470	350	1,500
210	1,457	432	1,709
230	1,416	1023	1,841
250	1,413	1250	1,862
270	1,402	1500	1,869
290	1,406	Fusion du platine.	2,002

A 150°, les tissus n'étant pas décomposés, la densité correspond à celle du bois sec ; puis elle diminue à mesure que la température s'élève, pour atteindre son minimum vers 290° ; on voit que les charbons roux sont les plus légers. A partir de 300°, la densité augmente, pour reprendre, vers 350°, la valeur de celle du bois, laquelle correspond ainsi aux charbons noirs. Elle croît ensuite d'une manière continue, jusqu'à devenir double de celle de l'eau.

e) Hygrométrie du charbon (Violette).

L'hygrométrie du charbon suit une marche toute différente.

D'après les expériences de Violette, si l'on expose du charbon de bourdaine à l'air humide, il absorbe des quantités de vapeur d'eau d'autant plus faibles que la température de carbonisation est plus élevée, comme le montre le tableau ci-après :

TEMPÉRATURE de la carbonisation.	QUANTITÉ D'EAU absorbée par 100 parties de charbon.	TEMPÉRATURE de la carbonisation.	QUANTITÉ D'EAU absorbée par 100 parties de charbon.
150°	20,862	290°	6,920
160	18,220	300	7,608
170	18,180	310	7,200
180	16,660	320	5,554
190	11,626	330	4,504
200	10,018	340	5,924
210	9,742	350	5,894
220	8,954	432	4,704
230	8,800	1023	4,676
240	6,666	1100	4,444
250	7,406	1250	4,760
260	6,836	1300	2,224
270	6,306	1500	2,204
280	7,879		

Le charbon pulvérisé absorbe, en moyenne, deux fois plus d'eau que le charbon en morceaux, parce qu'il offre une plus grande surface à l'action de l'humidité. — Les chiffres que nous venons de citer ne sont pas entièrement rigoureux, car, dans la détermination de l'humidité du charbon, Violette a négligé de tenir compte des gaz condensés dans les pores; la marche générale du phénomène n'en est pas moins parfaitement établie.

f) Conductibilité du charbon (Violette).

Afin de déterminer la conductibilité du charbon pour la chaleur, Violette s'est servi d'un cylindre de 25^{mm} de longueur et de 7^{mm} de diamètre environ, dont l'une des extrémités plongeait dans du mercure entretenu à une température constante par un courant de vapeur d'eau, tandis qu'à l'autre extrémité était logée à frottement la boule d'un très-petit thermomètre à mercure, dont les indications

mesuraient la conductibilité du cylindre soumis à l'expérience. Le tableau ci-dessous présente les résultats auxquels il est arrivé :

TEMPÉRATURE		INDICATIONS DU THERMOMÈTRE			CONDUCTIBILITÉ comparée à celle du fer représentée par 100.
de la carbonisation.	de la substance avant la mise en expérience.	après 5 minutes.	après 10 minutes.	après 15 minutes.	
160°	27°,00	56°,0	57°,0	57°,5	59,5
200	27°,00	57°,0	57°,5	58°,0	60,1
250	27°,00	57°,5	57°,5	58°,0	60,1
300	27°,00	58°,0	59°,0	59°,5	61,6
1023	26°,50	61°,0	62°,0	62°,0	64,2
1250	26°,50	62°,0	62°,5	63°,0	65,2
1500	26°,00	63°,0	63°,5	64°,0	66,3
Charbon des cornues à gaz.	26°,00	81°,0	82°,0	82°,0	84,7
Fer plein.....	22°,00	96°,5	96°,5	96°,5	100,0

Ainsi, la conductibilité du charbon pour la chaleur croît avec la température de carbonisation, d'abord lentement et à peu près de la même manière pour tous les charbons obtenus entre 150° et 300°, puis de plus en plus rapidement; aux températures élevées, elle est environ les 2/3 de celle du fer.

g) Solubilité du charbon.

Les charbons préparés à 270° sont presque entièrement solubles dans une solution bouillante de potasse ou de soude; mais cette solubilité diminue rapidement avec l'élévation de la température de carbonisation, et finit par disparaître complètement pour les charbons obtenus à 340° et au-dessus.

h) Inflammabilité du charbon (Violette).

D'après Violette, le plus inflammable de tous les charbons de bois prend feu spontanément dans l'air à 300° : c'est celui de l'agaric de saule. Les charbons de tous les bois, préparés à la température constante de 300°, prennent feu spontanément dans l'air à des températures comprises entre 360° et 380°, selon la nature du bois qui les a produits; les charbons provenant de bois légers et poreux brûlent

plus facilement que ceux qui proviennent de bois durs et serrés. Si, pour un même bois, la température de carbonisation s'élève, l'inflammation se produit à des températures assez irrégulièrement croissantes :

Température de carbonisation.	260° à 280°	290° à 350°	432°	1000° à 1500°	Fusion du platine.
Température d'inflammation.	340° à 360°	360° à 370°	envir. 400°	600° à 800°	environ 1 250°

L'addition de soufre abaisse la température d'inflammation. Ainsi, du charbon, préparé entre 270 et 400° et mélangé avec du soufre, prend feu à 250° et brûle complètement; si le charbon a été obtenu entre 1 000 et 1 500° et qu'on chauffe le mélange jusqu'à 250°, c'est le soufre seul qui brûle.

i) Force de décomposition (Violette).

En introduisant dans un bain de salpêtre un petit fragment du charbon de bourdaine le plus inflammable, qui prend feu spontanément dans l'air à 340°, Violette a reconnu que la décomposition du salpêtre se produit aux environs de 400°. Il en est de même pour tous les charbons obtenus entre 270 et 432°; mais les charbons préparés aux températures supérieures, comprises entre 1 000 et 1 500°, ne décomposent le salpêtre qu'au rouge vif.

§ II.

SYSTÈMES DE CARBONISATION.

Les procédés de carbonisation peuvent se diviser en deux classes. Dans les systèmes de la première classe, qui comprend les procédés des *meules*, des *fosses*, des *fours* et des *chaudières*, la carbonisation s'opère au moyen de la combustion, en présence de l'air, d'une partie du charbon déjà obtenu. Dans ceux de la seconde classe, qui comprend les procédés de distillation dans des *cylindres fixes* ou *mobiles*, avec ou sans l'emploi de la *vapeur d'eau surchauffée*, l'opération s'exécute, en vase clos, au moyen d'un combustible auxiliaire.

Le procédé *danois* sert de transition entre les systèmes de la première classe et ceux de la seconde.

I. PROCÉDÉ DES MEULES.

Le procédé des meules était autrefois généralement employé pour la fabrication du charbon à poudre. Mais on s'est bientôt aperçu que le revêtement de la meule introduisait dans les charbons des matières étrangères, telles que du sable, de la terre, etc., et qu'il était très-difficile d'obtenir une carbonisation uniforme de toute la masse, d'où résultait un rendement en charbon excessivement faible. Aussi cette méthode n'est-elle plus en usage aujourd'hui que dans le Harz, en Suède et à Achenbach, dans le Tyrol, où l'on prépare du charbon de bois d'aune destiné à la fabrication de la poudre de mine ordinaire.

II. PROCÉDÉ DES FOSSES.

Pour une charge de 500 à 1 000^l, les fosses, qui sont carrées, ont 1^m de profondeur et environ 3^m de côté. Les parois et le fond sont en maçonnerie de briques; le sol est battu tout autour de la fosse, de manière à former une aire que l'on nettoie sur deux côtés opposés, tandis que l'on entasse de la terre glaise sur les deux autres. On place au-dessus de la fosse une forte barre transversale, contre laquelle on adosse la première couche de bottes, en ménageant au fond un espace libre, et l'on ajoute plusieurs autres séries de fagots, de manière à former un tas qui s'élève de 1^m environ au-dessus du niveau supérieur. On peut ainsi charger 200 bottes, en ayant soin que la largeur du tas, à la partie supérieure, ne dépasse pas celle de la fosse, et en conservant la communication avec l'espace laissé libre dans le fond. Dans cet espace on dispose de la paille et du petit bois, que l'on allume aussitôt le chargement terminé; on bouche l'accès de l'air avec quelques fagots, et la flamme envahit bientôt tous les points de la masse. On laisse marcher la carbonisation jusqu'à ce que la barre transversale soit elle-même brûlée et, en se rompant, laisse tomber les bottes au fond de la fosse; on y jette alors peu à peu un nombre de bottes égal à celui du chargement primitif, et, la disposition régulière du tas se trouvant détruite,

on ranime de temps en temps la combustion, aux points où elle paraît se ralentir, au moyen de crocs en fer. Quand la flamme a disparu, la combustion est terminée; la fosse doit se trouver remplie de charbon. On aplanit la surface et on la recouvre d'une couverture mouillée en laine, sur laquelle on jette de la terre glaise placée à côté, qu'on tasse en marchant dessus, de manière à ne pas laisser d'espace vide entre la couverture et le charbon. Cette opération doit se faire rapidement, quoique avec précaution; on la continue jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de fumée. On ne doit pas vider la fosse avant 3 ou 4 jours, afin d'éviter l'inflammation spontanée du charbon en présence de l'air. Dès que la fosse est refroidie, on enlève avec précaution la terre et la couverture, on retire le charbon au moyen d'une pelle et l'on trie les brûlots. — Les rendements sont assez variables. D'après des essais exécutés en France, 6 000^t de bois (400 bottes de 15^t chacune) donnent de 950 à 1 000^t de charbon, ce qui correspond à un rendement de 16 à 17 p. 100.

On a proposé une autre disposition, qui présente quelques avantages sur la précédente : les fosses sont rondes et n'ont pour diamètre que le tiers de la largeur des premières, avec une profondeur égale ou un peu plus grande. En outre, la combustion s'effectue sur des barres de fer placées à la partie supérieure de la fosse, et le charbon tombe dans un espace presque complètement fermé à l'accès de l'air, de sorte qu'il ne peut continuer à brûler. On remplit ainsi très-facilement la fosse, sans avoir à craindre la production de brûlots ou la réduction en cendres d'une partie du charbon, comme il arrivait dans les fosses du premier système, à cause de leur trop grande largeur. La forme arrondie donne de la solidité à la construction : les premières fosses ne pouvaient durer plus d'un an. — C'est ce dernier mode de carbonisation qui est employé, en Espagne, pour le bois de chènevotte.

III. PROCÉDÉ DES FOURS.

Ce procédé ne paraît pas donner de meilleurs résultats que celui des fosses. Le sol et la voûte du four sont en maçonnerie de briques. Les deux portes, percées en avant et en arrière, restent ouvertes au moment de l'allumage. Quand le feu a pris dans toute la masse, on ferme la porte par laquelle on a allumé, et on laisse l'autre ouverte pour le dégagement de la fumée. On arrange le feu de temps en

temps et l'on repousse les parties carbonisées jusqu'au fond du four. Quand la fin de l'opération approche, on ferme la seconde porte. Au bout de 1 heure $\frac{1}{4}$, on fait tomber le charbon dans des étouffoirs en tôle, où il reste pendant 2 jours.

En Suisse, la carbonisation s'opère dans un four carré construit en pierres plates et ouvert à la partie supérieure, dont la largeur varie de 0^m,60 à 0^m,90 et la hauteur de 2 à 3^m. Les branches de noisetier, qui ont 2^m,50 de long, sont placées verticalement, allumées et carbonisées comme à l'ordinaire. Le charbon est également recueilli dans des étouffoirs munis d'un couvercle en fer.

Le procédé employé en Suisse offre, sans doute, des avantages réels sur l'ancienne méthode. Toutefois, dans les deux systèmes, il est extrêmement difficile d'obtenir des charbons d'une nuance déterminée, et, dans le premier, les produits sont presque toujours souillés de suie ou de goudron. Si, en effet, les substances volatiles ne trouvent pas un espace suffisant pour se dégager, elles se précipitent sur les charbons en ignition et s'y carbonisent, en formant un dépôt brillant très-difficilement inflammable.

IV. PROCÉDÉ DES CHAUDIÈRES.

Le mode de carbonisation en chaudières est un perfectionnement du procédé des fosses : on évite au moins l'introduction du sable dans les produits. Les chaudières sont en fonte, hémisphériques, et enfoncées dans le sol jusqu'à leur bord supérieur; elles ont 1^m,20 de diamètre et 0^m,84 de profondeur. On y jette quelques poignées de bois allumé, qu'on recouvre successivement de fagots, de manière à étouffer la flamme autant que possible. Quand la chaudière est pleine, on la ferme avec un couvercle en fonte, muni de quelques ouvertures pour le dégagement des substances volatiles.

Dans ce procédé, 100^k de bois de bourdaine d'une humidité moyenne donnent environ 20^k de charbon noir. Mais, d'après Violette, les produits ainsi obtenus ont les compositions les plus variables, depuis le charbon roux contenant 73 p. 100 de carbone jusqu'au charbon noir à 83 p. 100 de carbone. C'est ce qui résulte des analyses suivantes, exécutées sur les produits de diverses poudreries françaises :

LIEU DE LA FABRICATION.	SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES TROUVÉES DANS 100 PARTIES DE CHARBON.			
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et pertes.	Cendres.
Le Bouchet.	73,961	3,0190	22,5750	0,4750
Saint-Chamas.	74,894	3,6120	21,0242	0,4750
Vonges.	76,010	2,9821	19,8646	1,6410
Saint-Médard.	79,928	3,1886	16,0259	0,8685
Metz.	80,364	3,6140	15,1437	0,9425
Angoulême.	81,028	3,2398	14,9810	0,7802
Saint-Ponce.	81,067	3,0022	15,0250	0,9125
Esquerdes.	83,034	3,4210	12,0960	1,4460

Les expériences de Violette ont montré, en outre, que le charbon du milieu de la chaudière est plus riche en carbone que celui du fond ou de la surface. Le procédé des chaudières ne permet donc pas, dans un même établissement, d'obtenir des produits homogènes.

V. PROCÉDÉ DANOIS.

La méthode de carbonisation usitée en Danemark forme la transition entre le procédé des fours et celui des cylindres. Le bois d'aune, préalablement soumis à une exposition prolongée à l'air sous un hangar ouvert, est placé dans des caisses spéciales en fer qu'on introduit dans un four à trois étages; la charge d'une caisse étant de 6 à 7^t, on en retire 4^t,500 à 4^t,750 de charbon, ce qui donne un rendement d'environ 25 p. 100. L'opération dure à peu près 1 heure; on l'arrête quand les produits volatils, qui s'échappent par les ouvertures ménagées à la partie supérieure de la caisse, brûlent avec une flamme bleue. Le charbon est enfermé dans des étouffoirs pendant 18 à 24 heures, puis on fait le triage des nœuds et des brûlots.

Ce procédé présente tous les inconvénients de la carbonisation en cylindres (p. 176); il donne, en outre, des produits beaucoup plus souillés de goudrons, et il n'offre pas d'avantages, au point de vue de la marche et de la conduite de l'opération, sur les systèmes précédemment décrits.

VI. PROCÉDÉ DES CYLINDRES.

Le procédé de carbonisation en cylindres ou par distillation fut découvert par l'évêque anglais Landloff et introduit en Angleterre dès 1797. Il fut d'abord tenu secret, et ce n'est qu'en 1802 que Colman en publia la description.

Dans ce mode de carbonisation, la décomposition s'effectue, à l'abri de l'air, au moyen d'un combustible auxiliaire. Nous décrirons successivement le système des cylindres fixes et celui des cylindres mobiles, puis nous examinerons les propriétés spéciales des charbons distillés. — Nous étudierons à part (VII) le procédé de distillation à l'aide de la vapeur d'eau surchauffée.

A. Système des cylindres fixes.

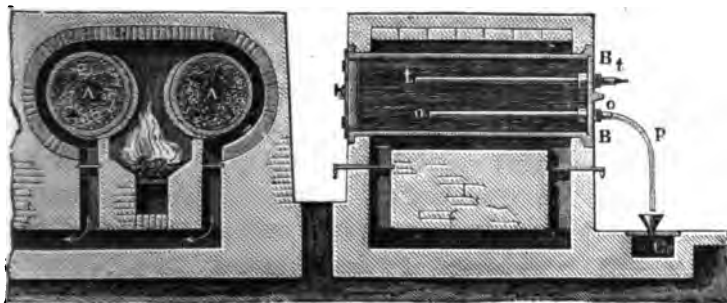
a) Appareils français.

Les cylindres fixes de la poudrerie du Bouchet se rapprochent beaucoup des anciens appareils anglais et de ceux qui existent encore dans la plupart des poudreries françaises, où ils seront peu à peu remplacés par des cylindres mobiles.

L'atelier de carbonisation a 23^m,80 de long sur 9^m,60 de large et contient 12 foyers. Les cylindres sont en fonte ; ils ont 2^m de longueur, 0^m,67 de diamètre et 0^m,025 d'épaisseur, et sont encastés horizontalement dans la maçonnerie d'un four par leurs deux extrémités. Deux cylindres AA, distants de 1^m d'axe en axe, sont chauffés par un même foyer (fig. 20 et 21) ; la grille est placée dans l'intervalle, et le foyer, fermé par deux portes opposées, s'étend sur toute

Fig. 20.

Fig. 21.



la largeur du massif au-dessous des cylindres, qui sont protégés contre les coups de feu par des voûtelettes en briques dans lesquelles s'ouvrent les carneaux donnant passage à la flamme et à la fumée. Les gaz montent entre les deux cylindres, redescendent à droite et à gauche pour aller échauffer les parties extérieures, et aboutissent à un carneau communiquant avec la cheminée, dont la hauteur est d'au moins 20^m, afin d'assurer un tirage suffisant ; les carneaux sont munis de registres qui permettent de régler la marche du feu pour chaque fourneau. Du côté de la grille, les cylindres sont revêtus d'une enveloppe d'argile destinée à les mettre à l'abri des coups de feu et à produire un échauffement plus régulier. Ils sont fermés, à leurs deux extrémités, par des fonds ou couvercles. Le fond postérieur B est solidement vissé. Il était autrefois muni de 4 tubulures métalliques de 0^m,1 de diamètre : à la tubulure *o* était adapté le tube en cuivre *p*, qui conduisait les produits volatils dans le réservoir C, où ils se condensaient en partie, tandis que le reste s'échappait par la cheminée ; les trois autres contenaient les tubes en tôle *u*, dits *cylindres-éprouvettes*, ouverts seulement vers l'intérieur du cylindre, et dans lesquels on avait introduit des morceaux de bois destinés à indiquer la marche de l'opération. Le fond antérieur se composait de deux disques constituant un obturateur et dont l'intervalle, qui était de 0^m,20, devait être rempli avec un mélange de cendres, de terre glaise et de poussière de charbon.

Les cylindres fixes actuellement existant en France ont de 1^m,50 à 2^m,00 de longueur et 0^m,70 de diamètre ; ils sont en fonte de 0^m,03 d'épaisseur ; on emploie de préférence la fonte blanche, qui est plus difficile à travailler, mais s'altère moins rapidement que la fonte grise. L'obturateur antérieur est fixé au moyen de deux pattes solides, percées d'un trou dans lequel s'engage une pièce munie d'un écrou dont la vis presse fortement sur le couvercle ; les bords en contact de l'obturateur et du cylindre sont garnis de deux anneaux en cuivre rouge de 7 à 8^{mm} d'épaisseur, qu'on fixe par des vis et qui se mangent moins rapidement que la fonte. Enfin, les produits volatils peuvent être utilisés comme combustible dans le fourneau même qui contient les deux cylindres ou dans le fourneau voisin, au moyen d'un système de tuyaux en cuivre deux fois recourbés qui les ramènent au-dessus ou au-dessous de la grille postérieure. — A la poudrerie de Saint-Chamas, trois cylindres sont chauffés par un même foyer, placé au-dessous de celui du milieu.

b) Appareils russes et allemands.

En Russie, les cylindres de carbonisation sont en tôle; ils ont 2^m de longueur sur 0^m,65 de diamètre et 0^m,012 d'épaisseur. Les produits volatils ne sont pas utilisés comme combustible; les cuites sont de 6 heures, et on laisse refroidir le charbon dans les cornues pendant 16 heures environ. On obtient ainsi du charbon noir au rendement de 28 à 30 p. 100, renfermant de 81 à 82 p. 100 de carbone.

L'installation de Neisse est analogue à celle du Bouchet. Les cylindres-éprovettes ont été remplacés par un simple robinet, permettant d'observer le dégagement des produits volatils de la distillation.

A Dresde, où les cylindres ont 2^m,17 de longueur et 0^m,77 de diamètre, chaque cylindre a un foyer spécial, ce qui permet de diriger plus facilement et plus régulièrement la marche de la carbonisation; la partie inférieure est garantie contre la flamme par un manteau en tôle placé à une distance de 0^m,026, et l'intervalle est rempli avec un mélange de brasque de charbon et d'argile. La fermeture antérieure se compose de deux obturateurs distants de 0^m,31: pour appliquer solidement l'obturateur intérieur contre le cylindre, on coince un morceau de bois entre cet obturateur et une barre de fer fixe; l'obturateur extérieur, qui est en fonte, est solidement vissé. A la partie postérieure du cylindre, un large tube en cuivre conduit les produits volatils à l'appareil de condensation; il est recourbé à angle droit au point où il entre dans cet appareil.

A Spandau, les cylindres fixes, identiques à ceux de Neisse, ont été récemment remplacés par des cylindres mobiles (B, a).

c) Appareils anglais.

En Angleterre, deux et souvent trois cylindres correspondent à un même foyer: dans ce dernier cas, le foyer est latéral. La partie inférieure des cylindres est protégée au moyen d'un revêtement en terre réfractaire, maintenu par une enveloppe en tôle.

Le mode de carbonisation usité à Waltham-Abbey rappelle le procédé danois (V). Le bois est chargé dans des cylindres en tôle que l'on introduit dans les cylindres en fonte; l'opération terminée, on les retire et on les remplace immédiatement par de nouveaux cylindres. On peut ainsi travailler d'une manière presque continue, et

l'on n'a pas besoin d'étouffoirs spéciaux. Le procédé anglais présente, toutefois, l'inconvénient de donner des produits souillés de goudrons.

d) Appareils suédois et italiens.

On a proposé, en Suède, de faire tourner le cylindre, pendant la carbonisation, de 90° autour de son axe, de manière à amener successivement tous les morceaux de charbon au contact de la paroi. On espérait ainsi obtenir des produits plus homogènes, avec une moindre dépense de combustible. Les résultats de ces essais ne nous sont pas encore connus.

L'appareil de carbonisation de la poudrerie de Fossano comprend 40 cylindres en fonte couplés deux à deux sur un fourneau. Les produits volatils de deux cylindres sont conduits, par des tuyaux abducteurs, dans une même boîte en fonte, d'où partent deux couples de tuyaux : les uns sont verticaux, en cuivre, et plongent dans un baquet où se condensent la vapeur d'eau et l'acide pyroli-gueux ; les autres sont horizontaux, en fonte, coulés d'une seule pièce, placés entre les deux cornues un peu au-dessous du plan des axes, et portent des fentes, par lesquelles s'échappent les gaz enflammés, et, sur la paroi antérieure, des regards fermés par des tampons, au moyen desquels on peut vérifier la couleur des gaz et le degré d'avancement de la cuite. Le bois est chargé dans des cylindres en tôle mince, ouverts à une extrémité et supportés par des galets fixés sur la cornue en fonte ; un trou pratiqué au centre de l'obturateur permet d'introduire une clef carrée dans une boîte ménagée sur le fond du cylindre en tôle, de faire tourner celui-ci dans le cours de l'opération, et d'assurer ainsi une carbonisation plus uniforme des différentes parties de la charge. Un pyromètre doit compléter cette installation. — Chaque cylindre reçoit de 60 à 70^k de bois ; la durée d'une cuite est d'environ 6 heures ; on arrête l'opération au moment où la flamme des gaz devient bleue. La dépense en combustible (bois d'aune) est de 1^{fr},50 par kilogramme de charbon produit. On obtient ainsi un charbon au rendement de 28 p. 100 ; une analyse chimique en vérifie, chaque jour, la teneur en carbone, qui doit rester comprise entre 84 et 88 p. 100.

e) Dispositions générales des cylindres fixes.

On voit que la longueur des cylindres fixes n'est pas la même dans

tous les pays : elle varie de 1^m,50 à 2^m,17, tandis que le diamètre reste à peu près constant. En général, on obtient des produits d'autant plus homogènes que les cylindres sont plus petits, puisqu'il n'est pas nécessaire de pousser aussi vivement le feu pour porter la chaleur jusqu'au centre de la charge ; aussi les poudreries anglaises ont-elles une tendance à diminuer les dimensions de leurs cylindres, dont quelques-uns ne contiennent que 35^l de bois. D'un autre côté, les frais de main-d'œuvre et de chauffage varient en sens inverse de ces dimensions.

La durée des cylindres en fonte est de 15 ans environ ; celle des cylindres en tôle n'est guère que de 6 ans.

f) Chargement et opération (France et Allemagne).

Le cylindre est complètement rempli de bois. En Allemagne, on laisse, sur une longueur de 0^m,35 à 0^m,40, un espace libre aux deux extrémités qui, reposant sur la maçonnerie, ne reçoivent pas l'action directe du foyer ; on ménage, en outre, un petit passage à la partie supérieure pour le dégagement des produits volatils.

Le chargement peut se faire en introduisant le bois brin à brin et en l'enfonçant à l'aide d'un maillet ; cette manœuvre est pénible, surtout quand le cylindre est encore chaud. Il est préférable de préparer les bottes dans deux cercles de fer qu'on introduit avec la charge dans le cylindre, ou de les attacher avec des liens en paille qu'on retire dès que la charge est en place ; les vides sont ensuite comblés à la main. On peut enfin charger le bois dans un demi-cylindre en tôle qui entre exactement dans le cylindre fixe ; ce système est surtout commode au point de vue du déchargement, car la matière n'occupe, après la carbonisation, que la capacité du demi-cylindre. — La charge de bois varie de 60 à 100^l.

Le chargement terminé, on ferme l'ouverture antérieure du cylindre, on bouche les joints avec de la terre glaise ou tout autre enduit réfractaire, et la carbonisation peut commencer.

Le combustible employé est du charbon de terre en petits morceaux, du bois ou de la tourbe ; celle-ci est quelquefois préférée à cause de sa combustion plus régulière.

Supposons que l'on veuille obtenir du charbon noir. On commence par chauffer lentement, et, à cet effet, on n'entretient le feu qu'à la partie antérieure du foyer. Au bout d'une demi-heure environ, on voit sortir des vapeurs blanchâtres du tube de dégagement : on

repousse alors le feu vers le fond du foyer et l'on active la combustion, en évitant la production de longues flammes ; en tous cas, la flamme ne doit jamais lécher la surface du cylindre. Au bout de 4 heures $\frac{1}{2}$ à 5 heures commence la distillation proprement dite : les vapeurs blanches prennent une coloration jaunâtre et répandent une forte odeur empyreumatique. Si l'appareil est muni d'un système ramenant les produits volatils dans le foyer, la carbonisation s'achève par la combustion même de ces produits sous la grille postérieure. Si l'on dispose de cylindres-éprouvettes, on retire un des bâtons, que l'on brise en plusieurs points, pour reconnaître ceux où la carbonisation est en retard : on active alors la combustion en ces points. Les vapeurs dégagées passent peu à peu au blanc, et finalement au bleu : dans beaucoup de poudreries, c'est là le signe que l'opération est terminée ; dans celles où l'on brûle les gaz sous les cylindres, on peut reconnaître la fin de la carbonisation à la couleur de la flamme. A Dresde, on se règle sur la température du tube de dégagement des gaz : si le coude qu'il présente est assez froid pour qu'on puisse le prendre à la main, on laisse tomber le feu, on l'enlève au bout d'un quart d'heure et l'on ferme les registres des carneaux. — La durée totale de l'opération, assez variable dans les différents pays suivant le procédé de chauffage, est, en France, de 6 à 7 heures pour la première cuite ; il suffit, pour les cuites suivantes, de chauffer très-peu au début, afin de provoquer le dégagement des produits volatils, qui opèrent presque seuls la carbonisation, et l'opération ne dure guère que 3 heures $\frac{1}{2}$ à 4 heures. — Il faut, entre deux cuites consécutives, laisser refroidir le cylindre pendant quelque temps : cette précaution est indispensable au double point de vue de la bonne conservation des appareils et de leur rendement en charbon, lequel s'abaisse quand la durée des dernières cuites est inférieure à 3 heures. En outre, le charbon lui-même ne peut être immédiatement déchargé, à cause des dangers d'inflammation spontanée. Dans la plupart des poudreries, on laisse refroidir le charbon dans les cylindres pendant 1 heure environ ; à Dresde, la durée du refroidissement varie de 16 à 24 heures, suivant les conditions atmosphériques. En France, une Instruction de 1791 prescrivit, afin d'accélérer la fabrication, d'éteindre le charbon en l'aspergeant avec de l'eau ; mais ce mode d'opérer parut exercer, d'après les expériences de Robin, une si fâcheuse influence sur les qualités de la poudre, qu'il fut proscrit dès 1798.

Pour obtenir des charbons roux, il faut maintenir constamment, et pendant plusieurs heures, la température entre 250 et 270° ; nous avons vu, en effet (p. 160), que, si l'on dépasse 270°, il se produit une élévation subite de température qui peut aller jusque vers 340° et donner une proportion considérable de charbons noirs, quelque précaution qu'on prenne pour s'y opposer, soit qu'on éteigne complètement le feu dans le foyer, soit qu'on retire immédiatement du fourneau le cylindre supposé mobile. Aussi le feu doit-il être conduit très-lentement ; on a un très-faible dégagement de gaz combustibles, qu'on laisse le plus souvent échapper dans la cheminée, et l'on chauffe tout le temps avec de la houille ou avec du bois. L'opération dure, en France, de 10 à 12 heures ; si l'on veut marcher d'une manière continue, il faut laisser 2 ou 3 heures d'intervalle entre les cuites successives. En Allemagne, la durée de l'opération ne doit pas être inférieure à 14 heures.

g) Déchargement et triage (France et Allemagne).

Quand le refroidissement est terminé, on procède au déchargement du charbon. Si la charge a été placée dans un demi-cylindre, il suffit de retirer celui-ci et d'en verser rapidement le contenu dans des étouffoirs au moyen d'un entonnoir en tôle ; sinon, on se sert d'une poignée à main, ou plutôt d'une tige de fer terminée par un demi-cercle de tôle fixé à angle droit, et qui permet de ramener tout le charbon d'un seul coup. Les étouffoirs sont des cylindres en tôle de 1^m,5 à 2^m,5 d'épaisseur, munis de poignées et de couvercles à fermeture hermétique. Le charbon doit séjourner au moins 4 jours dans les étouffoirs.

Avant d'être porté aux ateliers de composition, le charbon est soumis, en France, à un triage spécial. A cet effet, on verse un étouffoir sur une toile métallique à larges mailles fixée à un cadre en bois incliné. S'il s'agit de charbon roux, on met à part le charbon le plus roux pour les poudres de chasse superfine et extrafine, les parties goudronneuses qui sont renvoyées à la poudre de mine, et les brûlots qui seront recuits ; quant au poussier et à la braisette, qui peuvent servir de combustible, ils tombent, ainsi que la terre et les graviers, dans une trémie en cuir et, de là, dans un étouffoir placé au-dessous de la toile métallique. Le triage du charbon noir, qui est généralement plus homogène, se réduit à la séparation de la braisette et des

parties goudronneuses. Enfin, les charbons de bois blancs destinés à la fabrication des poudres de mine ne subissent aucun triage.

A Dresde, le charbon est, au sortir des cylindres, étendu en couche mince sur des claies en bois, où il reste exposé à l'air pendant 48 heures; on le met toutefois à l'abri des rayons solaires. Il est ensuite trié, pesé et versé dans les étouffoirs.

h) Résultats généraux.

La carbonisation dans les cylindres fixes offre, sur les procédés des fours et des chaudières, cet incontestable avantage que l'on peut régler, dans une certaine mesure, la marche de l'opération. Mais elle présente encore plusieurs inconvénients sérieux, que nous allons passer rapidement en revue.

1° Les produits sont loin d'être homogènes, surtout quand on cherche à obtenir du charbon roux, et se composent de charbons correspondant à tous les degrés de carbonisation, avec une assez forte proportion de parties goudronneuses. Cette variation dans l'état des différentes parties d'une même charge résulte surtout de la communauté de foyer pour deux ou trois cylindres et de l'encastrement de leurs extrémités dans le massif, dispositions qui ont pour effet de donner beaucoup plus de chaleur à la partie de chaque cylindre qui se trouve du côté du foyer, et de soustraire complètement à l'action directe de ce foyer les extrémités de la charge, qui se carbonisent ainsi plus lentement ou plus imparfaitement que le reste. En outre, les gaz qui s'échappent par l'unique orifice ménagé vers le fond de la cornue, et dont la température est supérieure à la température moyenne de la charge, donnent lieu à un échauffement plus considérable dans la partie postérieure du cylindre, où ils affluent vers l'orifice de sortie. Enfin, leur combustion ayant lieu dans le fond des foyers, où ils sortent des tuyaux, c'est encore cette partie des cylindres qui est le plus fortement chauffée : le charbon s'y trouve donc plus cuit que dans le reste de la masse.

2° On n'a pas la faculté de distribuer les gaz combustibles sous chaque cylindre à volonté, et en quantité convenable pour obtenir un charbon déterminé; de là résultent une grande difficulté de régler la marche de la carbonisation et la nécessité de protéger les cylindres contre les coups de feu par l'interposition de voûtes en maçonnerie, qui sont une cause de perte de chaleur.

3° Le mode de chargement au moyen de bottes préparées à

l'avance présente l'inconvénient de diminuer un peu le poids de la charge, par suite du vide qu'il faut laisser autour de la botte pour que l'introduction en soit facile. Quant au chargement brin à brin, il constitue une opération pénible devant un cylindre chaud, et donne lieu à une perte de temps et au refroidissement du cylindre.

4° Enfin, le déchargement, opéré au contact de l'air et à une température souvent élevée, peut occasionner l'inflammation de la charge, quelque rapide que soit son passage du cylindre dans l'étau.

On a réussi, en France, à diminuer les irrégularités de l'opération et à élever le rendement en charbons roux, en réduisant notablement la température de chauffage des cylindres et augmentant la durée de chaque carbonisation, laquelle, comme nous l'avons vu, varie de 10 à 12 heures. Mais les plus importants perfectionnements ont été réalisés par l'installation des cylindres mobiles, que nous allons maintenant décrire.

B. Système des cylindres mobiles.

Les appareils de distillation du bois dans les cylindres mobiles ont été installés par Maurouard à la poudrerie de Metz (1864) et à la poudrerie de Sévran (1869); à la suite de la guerre de 1870-1871, les Allemands ont reproduit une installation semblable à la poudrerie de Spandau.

Dans ce nouveau mode de carbonisation, chaque cylindre, en tôle, est chauffé par un foyer spécial et peut, au moyen d'un système de rails et de galets, se mouvoir avec facilité, soit à l'intérieur d'un logement ménagé dans la maçonnerie du fourneau, soit sur des chariots mobiles le long d'un chemin de fer et destinés à opérer les chargements et déchargements, soit sur des chaises fixes en fer, placées aux deux extrémités de l'atelier et recevant les cylindres pleins de bois à carboniser ou de charbon non encore refroidi. Une buse tronc-conique, fixée au cylindre, vient s'adapter exactement dans un orifice ménagé au fond du fourneau et verse les produits de la distillation, amenés en quantités égales de chacune des extrémités du cylindre, dans un appareil de distribution en cuivre rouge, qui permet de les envoyer à volonté dans l'un quelconque des foyers ou d'en laisser échapper une partie dans la cheminée; la combustion des gaz dans chaque fourneau s'opère au moyen d'un

tuyau horizontal, parallèle à l'axe du cylindre et présentant deux ou trois rainures longitudinales. Deux cylindres sont affectés au service de chaque fourneau : on procède au chargement de l'un, pendant qu'une cuite est en cours d'exécution dans l'autre. Enfin, un appareil pyrométrique, établi au-dessus de chaque cylindre, permet de connaître, à chaque instant, la température intérieure.

a) Description des appareils.

Nous décrivons d'abord l'ensemble des appareils, tels qu'ils ont été primitivement construits à la poudrerie de Metz, nous bornant à indiquer ensuite les modifications qu'ils ont subies à Sévran et à Spandau.

Le massif en maçonnerie A (Pl. I, *fig. 1 et 2*) a 2^m de largeur sur 2^m de hauteur ; sa longueur dépend du nombre des cylindres, qui sont éloignés l'un de l'autre de 1^m,20 d'axe en axe et dont le centre est à 1^m,35 au-dessus du sol. Le logement cylindrique E de la cornue, qui s'étend sur toute l'épaisseur du massif, à l'exception d'une paroi de 0^m,30 ménagée à la partie postérieure, a un diamètre de 0^m,85 et s'élargit sur le devant, où la saillie *h* de la cornue a fait porter son diamètre à 0^m,92 ; il est muni, dans la partie ainsi élargie, d'une garniture en tôle forte F, entourée sur le devant du massif d'un rebord en fer à cornière, contre lequel s'applique une porte cylindrique légère en fonte G. Cette porte est supportée par un galet en fonte *g* roulant sur une tringle en fer, et pressée contre la tranche bien dressée de l'orifice au moyen d'une vis *g'* à laquelle sert d'écrou une barre horizontale mobile *g''*, qui s'introduit dans deux crampons rivés à la garniture cylindrique. Quatre petits orifices *b* donnent issue à la fumée, qui descend verticalement dans la cheminée souterraine par des conduits ou carneaux. Les parois du foyer et celles du logement cylindrique sont en briques réfractaires.

Les cornues H, qui ont 1^m,35 de longueur sur 0^m,70 de diamètre, sont formées par moitié de deux feuilles de tôle, dont les épaisseurs sont de 0^m,006 pour la feuille inférieure et de 0^m,003 pour la feuille supérieure ; elles reçoivent, à chaque extrémité, une couronne extérieure en fer à cornière *h*, contre laquelle on fixe le fond postérieur au moyen de rivets, et le fond antérieur au moyen de pinces ou serres mobiles *h'*. Ce dernier fond est percé d'une petite porte *h''*, permettant de surveiller la marche de l'opération par l'extraction d'un brin de bois ou d'un fragment de charbon ; un orifice circulaire *h'''* est

percé, pour l'échappement du gaz, à la partie supérieure du fond fixe, et prolongé à l'extérieur au moyen d'une buse tronç-conique en tôle forte, ayant 0^m,06 de longueur et 0^m,10 de diamètre à sa grande base. A l'intérieur de la cornue, un tuyau demi-cylindrique *h^v*, fixé au moyen de rivets depuis le fond postérieur jusqu'à 0^m,05 du fond mobile et laissant découverte la partie inférieure de l'orifice d'échappement, a ses ouvertures calculées de manière à permettre un écoulement, à peu près égal vers les deux extrémités, des produits de la distillation. Deux fers à T, parallèles à l'axe de la cornue et distants de 0^m,45, sont fixés au moyen de rivets à sa partie inférieure et font l'office de rails glissant sur quatre galets en fonte *e*, qui tournent dans des supports reliés à une semelle commune fixe en fonte.

La distribution des produits volatils se fait au moyen de deux lignes de tuyaux en cuivre convenablement inclinés vers le milieu du massif, où se réunissent les produits condensés. La ligne supérieure *i* est, par l'intermédiaire des tuyaux tubulés en fonte *i'*, en communication avec l'intérieur des cornues; les produits distillés descendent verticalement, par le tuyau *i''*, jusqu'à la rencontre de la ligne inférieure *i'''*, dans laquelle la partie de ces produits non encore condensée remonte pour se répartir dans chaque fourneau, au moyen des bifurcations *i''''*. La combustion des gaz dans chaque fourneau s'opère par l'intermédiaire du tuyau horizontal en fonte *i^v*, ayant 0^m,08 de diamètre sur 1^m,40 de longueur, placé à 0^m,08 environ au-dessous de la cornue, et percé, suivant sa génératrice supérieure, de deux rainures longitudinales séparées par un intervalle plein de 0^m,45 et dont la largeur est de 0^m,002, pour la plus rapprochée, et de 0^m,003, pour la plus éloignée de l'orifice d'arrivée des gaz. Des tampons tronç-coniques en fonte *i^v* et *i^v'*, pénétrant dans des orifices de même forme, alésés avec soin et se déplaçant au moyen de tiges en cuivre rouge qui sortent à travers des presse-étoupes garnis au mastic Serbat, permettent de régler l'entrée des gaz dans les tuyaux de combustion, ou de boucher les orifices de sortie des gaz pendant les changements de cornues; d'autres tampons semblables *i^v''* servent à laisser échapper directement les gaz en excès dans les carneaux extrêmes. Les produits condensés sont conduits, par le tuyau *i^x*, dans un bassin *i^x* convenablement installé pour la séparation et l'enlèvement de l'acide pyroligneux et du goudron, qui s'écoulent, le premier, par un trou constamment ouvert à la partie supérieure, le

second, par un autre trou qu'on débouche à la partie inférieure, avant que le goudron vienne obstruer l'extrémité du tuyau qui, plongée dans le liquide, fait l'office de soupape de sûreté.

Deux cornues au moins par fourneau sont nécessaires pour le travail continu.

Outre les quatre galets inférieurs *j* qui roulent sur les rails, chacun des chariots mobiles *J* est muni, à sa partie supérieure, de six galets *j'* sur lesquels glisse la cornue, et porte latéralement des bras mobiles permettant de l'arrêter exactement, soit devant un fourneau, soit devant un support fixe. Les supports fixes sont en nombre au moins égal au nombre des fourneaux; ils sont également munis de galets, et font l'office de voies de garage pour les charges de bois à carboniser ou de charbon à refroidir.

Enfin, l'appareil pyrométrique se compose d'une barre horizontale en laiton *m*, fixée par un rivet vers l'extrémité postérieure du tuyau de sortie des gaz *h''*, et traversant le fond mobile par une buse qui reçoit, à chaque charge, un petit tampon de terre à four. L'extrémité libre se termine par une pointe d'acier qui vient buter contre une vis fixée à la partie inférieure d'un levier vertical *m'm'*; ce levier est formé de deux tiges réunies par une glissière et porte, vers le haut, un doigt mobile qui agit sur le talon d'une aiguille *m''*, munie d'un contre-poids *m'''* et constituant un levier coudé dont les tourillons reposent sur un support en fonte; l'extrémité de cette aiguille, qui a 4^m,75 de longueur, se meut sur un arc gradué *m''*. L'immobilité de l'extrémité fixe de la barre en laiton s'obtient au moyen d'une vis *h'* qui, solidement rivée dans le fond fixe de la cornue, pénètre par sa partie filetée à l'intérieur d'une boîte en fonte *m''*, contre le fond de laquelle est serré un écrou à oreilles *m''* qui fait entrer jusqu'au refus la buse d'échappement des gaz *h''* dans son logement; cette boîte se ferme d'ailleurs au moyen d'une porte en tôle à coulisses. Pour préparer le fonctionnement de l'appareil, il suffit d'entourer les buses du fond fixe et du fond mobile d'un tampon de terre à four, d'introduire le cylindre dans le fourneau, de serrer l'écrou *m''*, d'abaisser la partie inférieure du levier vertical et d'amener la vis *m'* au contact de la pointe d'acier. L'arc est gradué au moyen de la fusion de différents métaux ou alliages, de manière qu'un changement de température de 10° corresponde pour l'aiguille à un déplacement d'environ 0^m,015, très-facilement appréciable à distance.

L'installation des cylindres mobiles à la poudrerie de Sévran ne diffère que par quelques détails de celle que nous venons de décrire. Les épaisseurs des deux feuilles de tôle qui forment le cylindre ont été respectivement portées à 0^m,010 et à 0^m,006. Les portes des fourneaux sont à deux battants et s'ouvrent à charnières. Le fond mobile est assujéti au moyen de tiges percées, qui font corps avec des équerres fixées sur le cylindre et qui passent à travers des trous ménagés à cet effet dans le couvercle; on enfonce des coins dans les tiges et on lute avec de la terre glaise. Le tuyau de combustion porte trois fentes de largeurs inégales. On a été conduit à adapter au cylindre 8 galets roulant sur des rails fixes. Enfin, l'appareil pyrométrique a été complètement supprimé : un système de robinets en cuivre, disposés sur les tuyaux de sortie des gaz, permet de reconnaître la fin de l'opération à la couleur des produits volatils qui s'en dégagent. — D'après un mode de distribution récemment mis en essai, les gaz produits par la distillation sont amenés directement, au moyen de conduits verticaux, dans un barillet en fonte rempli d'eau jusqu'à la moitié de sa hauteur environ. Les tuyaux d'amenée plongent dans l'eau, et les gaz, débarrassés d'une partie de leur vapeur d'eau et des matières goudronneuses, sont distribués sous les cylindres à l'aide de tuyaux de sortie disposés à la partie supérieure du barillet. On rend ainsi impossible, en isolant chaque cylindre, tout passage des produits gazeux d'une cornue dans une autre, et l'on évite, outre les dépôts de goudrons au début ou à la fin d'une cuite, les chances d'explosion qui pourraient résulter de la formation de mélanges détonants à l'intérieur d'un cylindre, quelques instants après son introduction dans le fourneau.

A Spandau, les cylindres ont 1^m,24 de longueur sur 0^m,60 de diamètre environ, et contiennent 90^l de bois. Ils sont munis de galets. La porte du fourneau se déplace au moyen d'une poulie, ce qui permet, par un très-petit mouvement de la porte, de surveiller la combustion des gaz dans le foyer. Enfin, le pyromètre se compose d'une barre en bronze, dont l'extrémité libre agit sur le petit côté d'un levier coudé; cet appareil semble avoir jusqu'ici fonctionné de la manière la plus satisfaisante.

6) Fonctionnement des appareils.

Les appareils de carbonisation installés à la poudrerie de Metz

fonctionnent, pour chaque paire de fourneaux, dans les conditions suivantes.

Le chargement s'opère sur des supports fixes, en introduisant d'abord le bois par brassées, puis en l'enfonçant brin à brin et jusqu'au refus avec une masse en bois : si les brins sont suffisamment droits, on peut les employer dans toute leur longueur, qui est d'environ 1^m,25 ; s'ils sont tortus, il y a avantage à scier les bottes en deux. On ferme la cornue avec l'interposition d'un lut en terre à four, et l'on recouvre tout l'extérieur d'un badigeon formé de la même terre délayée dans l'eau et destiné à protéger la surface contre l'oxydation ; on entoure les buses d'un bourrelet en terre glaise, on ouvre la porte du fourneau extrême n° 1, par exemple, on amène devant ce fourneau le chariot qui porte la cornue pleine de bois, on la pousse jusqu'au fond, on opère la mise au zéro du pyromètre, et l'on ferme la porte extérieure. On charge de même toute la série des fourneaux dans lesquels on veut opérer.

Cela fait, on ouvre les orifices des buses et ceux des tuyaux de combustion des fourneaux impairs n° 1, 3, 5, etc. ; puis on allume le feu, qu'on pousse avec plus ou moins de vigueur suivant la qualité du charbon à obtenir, jusqu'à ce que les produits combustibles se présentent et s'enflamment le long des rainures des tuyaux. On cesse alors le feu, et l'on ouvre les orifices qui donnent accès aux produits de la distillation dans les fourneaux pairs n° 2, 4, 6, etc., sans fermer ceux des fourneaux impairs plus qu'il ne convient, pour que la distillation s'y continue dans des conditions convenables : ce qui se règle d'après les indications des pyromètres. Au bout de quelques instants, la chaleur développée par la combustion des gaz sous les cornues paires élève la température intérieure de ces cornues : on ouvre alors les orifices de leurs buses, qu'on a tenus jusque-là fermés pour empêcher à l'intérieur la condensation, avec dépôt de goudron, des produits volatils sortis des cornues impaires ; puis les opérations marchent simultanément dans les fourneaux pairs et impairs, avec une activité qu'on modère, au besoin, en ouvrant les orifices destinés à l'échappement direct des produits combustibles dans la cheminée.

Le travail se continue ainsi jusqu'au moment où, la combustion d'une partie des gaz des cornues impaires ayant commencé la distillation des cornues paires, les gaz de ces dernières prennent feu. A ce moment, si la répartition de la chaleur a été convenable, la

cuisson du charbon des cornues impaires doit être arrivée au degré voulu. On ouvre alors la porte du fourneau n° 1, on amène en face de ce fourneau un chariot vide, qui reçoit la cornue n° 1, puis est poussé de côté pour faire place au second chariot, qui porte une charge de bois préparée pendant l'opération précédente dans une autre cornue, laquelle est introduite dans le fourneau vide; la porte de ce fourneau est refermée, et l'orifice de sortie des gaz de la cornue encore froide est momentanément bouché, pour éviter le dépôt des goudrons dans cette cornue. Une proportion convenable des gaz est alors amenée sous la nouvelle cornue, dont l'orifice d'échappement doit être débouché au bout de quelques minutes. Les autres fourneaux impairs reçoivent de même leurs secondes charges, au fur et à mesure de la cuisson des premières, et la distillation recommence dans ces fourneaux, comme cela a eu lieu pour les fourneaux pairs, de sorte que les produits combustibles des cornues impaires se présentent de nouveau en quantité suffisante, au moment où la cuisson du charbon des cornues paires est achevée. Ces dernières sont alors remplacées à leur tour, et les opérations se succèdent ainsi, sans l'emploi d'un combustible étranger, jusqu'à la fin de la journée de travail.

Si deux cornues seulement sont affectées à chaque fourneau, il est évident que la troisième charge des fourneaux impairs doit être faite dans les cornues qui en ont été retirées pleines de charbon et ont dû être garées sur les supports fixes; mais, une heure environ après leur sortie des fourneaux, le charbon contenu dans ces cornues est, quel que soit son degré de cuisson, suffisamment refroidi pour pouvoir, sans prendre feu, être transvasé dans un étouffoir au moyen d'un rabot à poignée qui a été placé au fond de la cornue avant l'introduction du bois, de sorte qu'une nouvelle charge de bois peut être préparée dans ces cornues pour le moment où les fourneaux impairs réclameront un nouveau chargement.

La durée d'une opération, qui doit être plus considérable pour la production du charbon roux, n'est que de 2 heures $\frac{1}{2}$ à 3 heures pour les charbons noirs. Il y aurait évidemment avantage, au point de vue de l'homogénéité des produits, à ralentir la marche de l'opération.

La charge d'un cylindre peut être portée à 90° de bois de bourdaine et 130° de bois blanc.

c) Résultats généraux.

Les principaux avantages que le système des cylindres mobiles présente sur celui des cylindres fixes peuvent se résumer comme il suit :

1° Chaque cylindre étant disposé dans un fourneau spécial, la sortie des gaz ayant lieu à peu près également aux deux extrémités, et la combustion des produits de la distillation s'effectuant dans toute la longueur du foyer, les causes précédemment indiquées (A, h) comme déterminant le défaut d'homogénéité des charbons cessent de subsister.

2° L'appareil de distribution des gaz permet d'en régler la combustion à volonté, de manière à rendre leur emploi comme combustible aussi facile pour la production des charbons roux que pour celle des charbons noirs.

3° La totalité des gaz peut être employée comme combustible, de sorte que, en travail continu et en dehors de la mise en train de la première charge, l'emploi de tout combustible étranger est rendu à peu près inutile.

4° Le chargement et le déchargement se font de la manière la plus simple, à l'aide des cylindres de rechange, en dehors du massif des fourneaux et pendant la durée même des cuites. Par suite, l'orifice de chaque fourneau n'est ouvert que pendant le temps très-court nécessaire à l'introduction et à la sortie des cylindres, et il n'y a pas de perte de chaleur.

5° Enfin, la lecture de la température intérieure sur l'appareil pyrométrique permet de conduire l'opération avec toute la précision désirable.

C. Propriétés générales des charbons distillés.

a) Composition du charbon des cylindres fixes.

Nous avons vu que les produits de la carbonisation dans les cylindres fixes ne sont jamais homogènes : à côté du charbon noir, on trouve régulièrement du charbon roux, dont la proportion peut atteindre la moitié du rendement total. C'est ce qu'ont montré les expériences exécutées par Violette à la poudrerie d'Esquerdes sur du bois de bourdaine à 10 ou 12 p. 100 d'humidité, et résumées dans le tableau suivant :

ANNÉE de l'expérience.	COMBUSTIBLE (bois) employé p. 100 de charbon produit.	RENDEMENTS.		
		Charbon roux.	Charbon noir.	Total.
1843	65,2	12,79	20,12	32,91
1844	77,0	16,39	14,89	31,28
1845	75,7	15,47	16,00	31,47
1846	93,8	12,07	20,25	32,32
Moyennes.	74,2	14,18	17,81	31,99

Par suite du défaut d'homogénéité de la charge, les charbons pris dans différentes parties du cylindre ne doivent pas présenter la même composition. Les analyses faites par Kahl à la poudrerie de Dresde ont, en effet, donné les résultats ci-après :

POINTS DU CYLINDRE où ont été pris les charbons.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.			
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.
Partie antérieure et supérieure; température faible.	83,88	3,24	11,56	1,33
	85,36	3,82	9,21	1,61
	83,43	3,30	11,80	1,47
	79,22	3,29	16,24	1,25
	77,83	2,71	18,21	1,55
Milieu.	90,39	2,51	5,49	1,61
	91,08	2,69	4,58	1,65
Partie postérieure et inférieure; température maxima.	90,27	2,18	6,14	1,41
	91,10	1,97	5,06	1,87
	92,24	2,03	3,85	1,88

Enfin, si l'on opère un mélange intime des diverses sortes de charbon contenues dans un même cylindre, les produits ainsi obtenus seront encore notablement différents suivant les poudreries, comme le prouvent les analyses suivantes :

LIEU de la fabrication.	NATURE de la poudre.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.			
		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et pertes.	Cendres.
Le Bouchet. . .	Chasse extrafine. . .	71,1805	2,5210	25,9855	0,3085
Le Bouchet. . .	Chasse fine.	74,0110	2,6465	22,3475	0,5130
Esqueredes. . .	Chasse extrafine. . .	72,0900	4,3410	22,7105	0,8730
Esqueredes. . .	Chasse fine.	75,6640	3,3820	20,2225	0,7835
Angoulême. . .	Chasse fine.	70,3765	2,6550	26,4955	0,4815

b) Résultats comparatifs des divers systèmes de carbonisation.

Si l'on considère d'abord l'ancien système des chaudières et le système des cylindres fixes en fonte, il résulte d'expériences comparatives (1855-1859), exécutées sur du bois de bourdaine coûtant 41^{fr},00 les 100^k, que les cylindres donnent lieu à une dépense de main-d'œuvre et de combustible plus élevée, mais que le prix de revient final est sensiblement moindre, à cause de l'augmentation du rendement :

SYSTÈME de carbonisation.	RENDEMENT en charbon noir.	DÉPENSES de main-d'œuvre et de combustible pour 100 kil. de charbon produit.	PRIX DE REVIENT total par 100 kil. de charbon produit.
Chaudières.	20 p. 100	3 ^{fr} ,00	53 ^{fr} ,78
Cylindres fixes. . . .	30 p. 100	4,99	41,79

Le système des cylindres mobiles présente encore de sérieux avantages sur celui des cylindres fixes, au point de vue de l'uniformité du rendement et du prix de revient total. Si l'on compare, en effet, les résultats obtenus à la poudrerie de Metz pendant la première quinzaine de juillet 1864 avec les relevés comparatifs des résultats de la carbonisation dans les différentes poudreries françaises pour l'année 1863, on arrive à former le tableau suivant :

Système de carbonisation.	NATURE du charbon obtenu.	RENDEMENT en charbon, p. 100 de bois.			PROPOR- TION de brûlots, p. 100 de charbon.	DEPENSE pour 100 ^k de charbon.			CHARGE d'un cylindre en bois	
		Maxi- mum.	Mini- mum.	Moyen		Main- d'œuvre.	Combus- tible.	Totale.	brut.	sec.
Cylindres mobiles (Metz, juill. 1864).	noir (guerre).	30,24	29,83	30,00	0,01	fr. 1,50	fr. 0,52	fr. 2,02	kil. 90	kil. 80,100
	noir (mine).	36,94	35,41	36,10	0,03	0,92	0,39	1,31	130	109,200
	roux (chasse).	40,95	39,04	40,01	0,90	2,02	0,69	2,71	90	80,100
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cylindres fixes (poudreries Iran- çaises, 1863).	noir (guerre).	33,35	29,24	30,99	"	"	"	6,31	61	"
	noir (mine).	38,64	34,03	36,05	"	"	"	4,25	88	"
	roux (chasse).	50,09	37,01	41,87	"	"	"	10,09	61	"

On voit, d'après ce tableau, que la charge brute des cylindres mobiles a pu être portée à 90^k de bois de bourdaine et à 130^k de bois blanc, au lieu de 61^k et de 88^k, qui constituaient les charges maxima des cornues fixes de même capacité au moyen de bottes préparées à l'avance. En outre, les rendements en charbon, qui sont d'une grande uniformité, se rapprochent autant que possible de la moyenne des rendements réglementaires, lesquels sont de 30 p. 100 pour le charbon noir de guerre (bourdaine), de 36 p. 100 pour le charbon noir de mine (bois blancs) et de 40 p. 100 pour le charbon roux de chasse (bourdaine); la proportion de brûlots est, par suite, complètement insignifiante pour les charbons noirs de guerre et de mine, et n'atteint 0,90 p. 100 que pour les charbons roux, dont l'état de cuisson convenable est si voisin du brûlot qu'il est presque impossible d'éviter la présence de quelques parties insuffisamment carbonisées. Enfin, les dépenses de fabrication des charbons et, par conséquent, le prix de revient total sont notablement diminués par l'emploi des nouveaux appareils.

c) Absorption de gaz et d'humidité et inflammation spontanée.

Le charbon fraîchement préparé possède au plus haut point la propriété d'absorber l'humidité et de condenser les gaz à sa surface. D'après des essais exécutés par Kahl sur du charbon de bourdaine préparé dans les cylindres, cette absorption était, dans un intervalle de 2 à 4 jours, de 7,5 p. 100 du poids de la matière par un temps très-sec, et de 10 p. 100 par un temps très-humide; la vapeur d'eau pouvait être complètement chassée par un séchage convenable, mais

il n'en était pas de même des gaz proprement dits. Ainsi du charbon, qui avait absorbé à l'air libre 6,98 p. 100 de gaz et d'humidité, n'a perdu en moyenne, par un courant d'air sec chauffé à 150°, que 4,85 p. 100 d'eau, conservant encore les 2,13 p. 100 de gaz condensés à sa surface, et il a en outre absorbé 0,69 p. 100 de gaz provenant de l'air chaud ; ce charbon, séché à 150°, contenait donc encore 2,82 p. 100 de gaz, qui n'ont pu être chassés par une dessiccation ultérieure à 270°.

Cette condensation des gaz à la surface du charbon est toujours accompagnée d'un dégagement de chaleur qui, dans des conditions déterminées, peut produire l'inflammation spontanée de la matière, surtout lorsque le charbon est fraîchement préparé, pulvérisé et conservé en grandes masses sous une épaisseur considérable.

d) Conditions de l'inflammation spontanée.

Les diverses circonstances de cette inflammation ont fait l'objet d'une série d'expériences entreprises à l'ancienne poudrerie de Berlin sur des charbons préparés dans les cylindres, et qui ont donné les résultats suivants :

1° Du charbon de bourdaine au rendement de 28 p. 100 s'enflamme d'autant plus facilement qu'il s'est écoulé moins de temps entre sa préparation et sa mise en caisse à l'état pulvérisé.

2° Du charbon noir, fortement carbonisé, s'échauffe et s'enflamme plus facilement que du charbon roux, peu carbonisé.

3° Une masse de 60^g de charbon fraîchement préparé et pulvérisé ne s'enflamme spontanément que si elle est conservée dans un vase ayant au moins 0^m,62 de hauteur.

4° Enfin, l'inflammation commence presque toujours à se produire à l'intérieur de la masse, rarement à la surface.

En outre, pour déterminer les variations correspondantes du poids de la matière et de sa température, on a trituré, environ 36 heures après la sortie des cylindres, une masse de 50^g de charbon au rendement de 28,5 p. 100, on l'a versée dans un cylindre en tôle ouvert à sa partie supérieure et placé sur le plateau d'une balance, et l'on a observé de temps en temps l'augmentation de poids et l'élévation de température. Les résultats trouvés sont consignés dans le tableau ci-dessous :

INTERVALLES des observations.	TEMPÉRATURE.	AUGMENTATION de poids.	INTERVALLES des observations.	TEMPÉRATURE.	AUGMENTATION de poids.
heures. 0	17°,50 C.	grammes. »	heures. 14	70°,00 C.	»
1	28,75	»	15	72,50	203
2	32,50	»	16	75,00	»
3	38,75	39	18	77,50	»
4	41,25	»	21	80,00	250
5	43,75	»	22	82,50	359
6	46,25	37	24	98,75	390
7	48,75	»	26	102,50	»
8	53,75	105	28	112,50	421
9	56,25	121	30	133,75	437
10	58,75	140	31	158,75	»
11	61,25	156	33	176,25	476
12	63,75	172	36	Inflammation.	»
13	67,50	»			

L'accroissement de poids correspondant à l'inflammation est ainsi de près de 500^{es} ou d'environ 1 p. 100, ce qui, en supposant l'air parfaitement sec, indiquerait une absorption finale de 356 litres de gaz. Au début, l'échauffement est lent et assez régulier; il se précipite quand on approche de l'instant de l'inflammation.

Les résultats furent tout différents quand on opéra sur de petites quantités de charbon, pulvérisé 18 heures après la sortie des cylindres. La température du lieu d'expérience variant de 5° à 8°,5, celle du charbon avant l'essai fut trouvée de 18°,75. On le soumit alors aux épreuves rapportées dans le tableau suivant :

Charge de charbon.	50 ^h	20 ^h	16 ^h	11 ^h	7 ^h ,500	6 ^h ,500	2 ^h ,500
Nature du récipient.	cyl. en fer	tine en bois	cyl. étalé en tôle	tine en bois	tine en bois	tine en bois	tine en bois
Diamètre du récip.	0 ^m ,67	0 ^m ,59	0 ^m ,35 et 0 ^m ,57	0 ^m ,38	0 ^m ,336	0 ^m ,344	0 ^m ,234
Épais ^r de la couche.	0 ^m ,59	0 ^m ,468	0 ^m ,468	0 ^m ,417	0 ^m ,365	0 ^m ,313	0 ^m ,261
TEMPÉRATURE DU CHARBON.							
heures.	12	15	18	21	23	24	25
	83°,75 C.	33°,75 C.	28°,75 C.	25°,00 C.	16°,25 C.	20°,00 C.	15°,00 C.
	91,25	31,25	26,25	23,75	15,00	20,00	13,75
	245,00	30,00	26,25	23,75	12,50	18,75	12,50
	Inflammation	»	»	»	»	»	»
	»	30,00	26,25	21,25	12,50	18,75	12,50
	»	28,75	25,00	21,25	12,50	17,50	11,25
	»	17,50	13,75	13,75	14,25	13,75	11,25
	»	12,50	11,25	11,25	11,25	12,50	11,25
TEMPS ÉCOULÉ à partir du moment où le charbon a été versé dans le récipient.							

Nous citerons enfin des expériences de Kahl, se rapportant également à l'inflammation spontanée des charbons distillés. Pour déterminer la température d'inflammation, Kahl prenait un tube d'épreuve; qu'il remplissait de charbon pulvérisé jusqu'au tiers de sa hauteur; ce tube était fermé par un bouchon portant deux trous, dans lesquels passaient deux tubes de verre recourbés dont l'un pénétrait dans le charbon. L'appareil était ensuite plongé dans un bain métallique jusqu'à moitié de sa hauteur, et l'on appliquait contre la partie inférieure du tube la boule d'un thermomètre à mercure. A chaque élévation de température de 5°, on faisait passer, au moyen d'un aspirateur, un lent courant d'air à travers la couche de charbon, et l'on notait la plus basse température à laquelle se produisait l'inflammation. — En opérant ainsi sur cinq échantillons différents de charbons de bourdaine, dont deux étaient durs et sonores, deux assez tendres, le cinquième ayant des propriétés intermédiaires, Kahl a trouvé les températures suivantes : 360°, 352°, 342°, 320°, 325°, soit en moyenne 340°. Les charbons de bois d'aune ont donné 360°, 360°, 360°, 346°, 333°, soit en moyenne 352°; pour les trois premières expériences, l'inflammation ne s'étant pas produite à 355° dans le bain métallique, on a dû plonger le tube d'épreuve dans un bain de mercure porté à l'ébullition.

e) Causes de l'inflammation spontanée.

L'origine de l'inflammation spontanée du charbon est d'autant plus difficile à découvrir que ce phénomène ne se reproduit pas toujours identiquement dans les mêmes circonstances. Le colonel français Aubert rapporte qu'ayant placé dans deux récipients identiques des quantités égales de charbons pulvérisés, fabriqués simultanément et de la même manière, il vit s'enflammer la charge de l'un des récipients, tandis que l'autre charge resta intacte. Il est même arrivé que du charbon en morceaux, fabriqué depuis trois jours, s'est enflammé pendant la nuit, après avoir subi un trajet de seize lieues anglaises; Hadfield, qui cite le fait, admet qu'il s'est formé, pendant le parcours, du poussier de charbon qui a déterminé l'inflammation. Cette explication paraît peu plausible, car le même accident s'est reproduit en Saxe pour du charbon entassé en morceaux et n'ayant subi aucun transport.

Parmi les circonstances qui influent sur l'inflammation spontanée du charbon, on doit compter, sans doute, les diverses conditions at-

mosphériques, telles que la température ambiante, la pression barométrique, l'état hygrométrique de l'air et sa tension électrique. Mais leur influence n'est que secondaire : d'après les résultats acquis jusqu'à ce jour, la cause principale réside dans la propriété plus ou moins prononcée que possède le charbon d'absorber et de condenser l'air atmosphérique avec production de chaleur, et dans sa conductibilité plus ou moins grande pour la chaleur ainsi dégagée.

Nous ne citons que pour mémoire l'hypothèse de Davies, lequel attribue le phénomène à l'oxydation du potassium qui se serait formé, pendant la carbonisation, par la décomposition du carbonate de potasse contenu dans le bois ; on s'expliquerait ainsi qu'un mélange de charbon et de soufre prit feu plus difficilement que le charbon seul, parce qu'alors il se serait produit du sulfure de potassium. Mais la réduction du carbonate de potasse à la température de la carbonisation est tout à fait invraisemblable : on sait qu'il faut chauffer jusqu'au blanc pour réaliser cette transformation. En outre, l'hypothèse de Davies ne rendrait pas compte des nombreux cas d'inflammation survenus dans les usines à pilons, pendant la trituration simultanée des trois substances dans les mortiers.

VII. PROCÉDÉ DE CARBONISATION PAR LA VAPEUR D'EAU SURCHAUFFÉE.

Dès 1847, Violette avait proposé d'employer, pour la carbonisation du bois, un procédé déjà appliqué par Thomas et Laurens à la revivification du noir animal. Ce nouveau système fut mis en pratique d'abord à Esquerdes, puis à Wetteren, et plus tard à Dresde. Il consiste à décomposer le bois dans un courant de vapeur d'eau, portée à une température qui dépend de la nature du charbon qu'on veut obtenir ; cette température étant toujours de beaucoup supérieure à celle de la vapeur saturée à la pression où l'on opère, il faut recourir au surchauffage.

A. Système Violette.

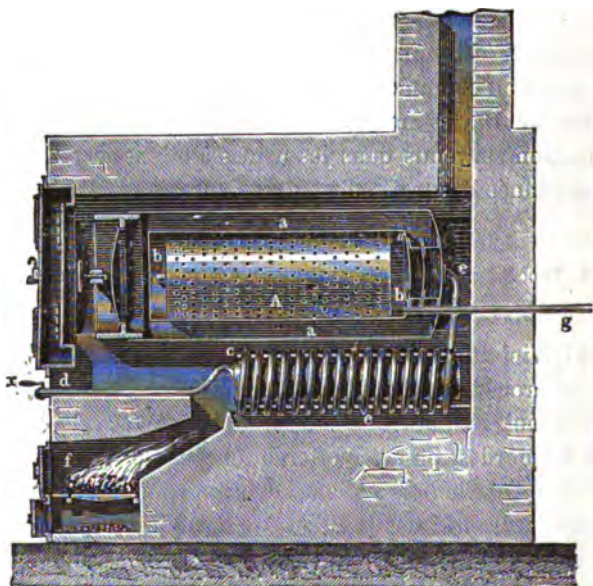
Ce procédé ne permet pas seulement de régler facilement la température : il offre, de plus, l'avantage d'effectuer la carbonisation du bois dans une atmosphère neutre, où il ne peut entrer en combustion ; enfin, le goudron, étant entraîné au moment même où il se forme, ne peut altérer la pureté du produit. Pour obtenir ce dernier

résultat, il est essentiel que la vapeur circule avec une certaine vitesse et possède, par suite, une certaine pression : l'expérience a montré qu'il suffisait d'une pression effective comprise entre $\frac{1}{2}$ et 1 atmosphère. Pratiquement, l'appareil doit permettre de surchauffer la vapeur au degré voulu et de l'envoyer dans la chambre de carbonisation, en évitant aussi complètement que possible tout refroidissement.

a) Appareil d'Esquerdes.

L'appareil [installé par Violette à la poudrerie d'Esquerdes (Pl. II, fig. 22)] se compose essentiellement de deux cylindres en tôle concen-

Fig. 22.



triques *aa* et *bb* (fig. 22); le cylindre extérieur sert d'enveloppe au cylindre intérieur, qui reçoit la charge. Sous les cylindres se trouve un tube en fer *cc*, contourné en spirale et communiquant par une de ses extrémités avec la chaudière qui fournit la vapeur, dont l'admission est commandée par le robinet *x*; ce tube est chauffé directement par le foyer *f*, qui est surmonté d'une petite voûte et dont la flamme est forcée, au moyen d'un pont en briques, de s'élever jusqu'à la partie supérieure du serpentin. Le serpentin *cc*, qui est en fer forgé de

5^m d'épaisseur, a un diamètre intérieur de 20^m et une longueur totale d'environ 20^m ; il aboutit en *e* au cylindre extérieur *aa*. Dans l'axe du serpentín est assujetti, au moyen de crampons en fer, un tambour fermé aux deux bouts et destiné à obliger la flamme à suivre les sinuosités du tube ; la fumée s'échappe par la cheminée. Du côté opposé du massif se trouvent deux épaisses portes en fonte fermant hermétiquement, afin d'éviter toute perte de chaleur. Le cylindre *aa* est en tôle de 10^m ; il repose sur le massif et sur deux supports intermédiaires en fer ; ces derniers sont encastrés dans la maçonnerie et forment les carnaux dans lesquels circule l'air chaud provenant du foyer *f*. Ce cylindre est fermé à sa partie postérieure ; en avant, il est muni d'un large collier circulaire en fonte. Le cylindre intérieur *bb*, qui est en tôle de 5^m, est fermé en arrière, ouvert en avant ; il s'appuie sur huit agrafes en fer et porte à sa partie postérieure quatre tiges de fer, fixées à un disque circulaire et servant à assujettir le cylindre *bb* à l'intérieur du cylindre *aa*.

On opère, pour chaque cuite, sur 25 à 30^l de bois de bourdaine qu'on introduit, en morceaux pas trop gros, dans un cylindre mobile *A* percé de trous ; ce cylindre, dont l'emploi facilite le chargement et le déchargement, est alors poussé dans le cylindre fixe *bb*. La vapeur, pénétrant en *e* au fond de *aa*, circule d'arrière en avant dans l'intervalle des deux cylindres *aa* et *bb* et s'introduit, par l'extrémité ouverte de *bb*, dans le cylindre *A* rempli de bois : après avoir opéré la distillation en passant dans les interstices de la charge, elle s'échappe dans l'atmosphère avec les produits empyreumatiques, à travers le tube en cuivre *g*, fixé à l'extrémité postérieure de *bb* ; elle peut encore être recueillie et condensée dans un appareil spécial.

Dès que le générateur est en pression, on allume le feu sous le serpentín *cc* ; au bout d'un quart d'heure, on introduit dans *bb* le tambour *A* avec sa charge, et l'on met en place le couvercle du cylindre *aa*, qu'on lute avec de l'argile. On ferme les deux portes en fonte, et au bout de dix minutes, l'argile étant sèche, on ouvre le robinet *x* pour introduire la vapeur. Il est important de régler la marche du feu en *f* de manière que la température de la vapeur reste, autant que possible, constante : on se guide, à cet effet, sur l'aspect de la flamme, qu'on observe par un regard *d* muni d'un verre, et sur les indications de la température dans le cylindre, fournies par des métaux et des alliages fusibles. Lorsque la température nécessaire pour la carbonisation se rapprochait trop du point

d'ébullition du mercure pour permettre l'emploi d'un thermomètre ordinaire, Violette introduisait à travers la voûte du fourneau, dans l'intérieur du cylindre, deux petits tubes creux en cuivre fermés à leur partie inférieure et contenant un très-petit cylindre de zinc, d'étain ou d'un alliage fondant à une température connue; pour rendre la fusion apparente de l'extérieur, il faisait reposer sur le métal ou sur l'alliage un fil de fer lesté à sa partie inférieure, qui s'enfonçait dès que la fusion s'était produite.

Au bout d'une heure environ, on est arrivé à la température de fusion de l'étain, et la vapeur qui se dégage dénote, par son odeur et sa coloration, la présence de matières empyreumatiques, c'est-à-dire le commencement de la carbonisation. Puis la vapeur s'épaissit et change successivement d'aspect. Au bout de deux nouvelles heures, l'absence d'odeur indique la fin de l'opération.

On décharge aussitôt l'appareil, afin que la chaleur qu'il renferme ne transforme pas le charbon roux en charbon noir: 3 à 4 minutes suffiraient pour cela. A cet effet, le maître-ouvrier ferme le robinet x d'admission de la vapeur, ouvre les portes en fonte et enlève le couvercle, pendant que deux ouvriers saisissent l'étouffoir, grand cylindre en tôle de 1^m,20 de hauteur sur 0^m,55 de diamètre, et le présentent horizontalement devant l'ouverture du cylindre extérieur, qui se trouve ainsi bouchée; le maître-ouvrier fait alors tomber dans l'étouffoir le tambour A, qu'il pousse au moyen d'une longue barre en fer introduite par le tube g .

Le cylindre reçoit immédiatement une nouvelle charge, et la seconde cuite marche beaucoup plus rapidement: la distillation commence au bout d'un quart d'heure, et la durée totale de l'opération n'est que de 2 heures, au lieu de 3. Les cuites suivantes sont encore plus rapides, et la sixième, qui est la dernière de la journée, ne dure guère plus de 1 heure 1/2.

On produit ainsi 50^t de charbon par jour.

La dépense de vapeur est, par heure, de 20^t pour une pression effective de $\frac{1}{4}$ d'atmosphère, de 23^t pour $\frac{1}{2}$ atmosphère, et de 45^t pour 1 atmosphère. La dépense journalière de houille pour le générateur varie de 80 à 120^t, suivant la tension de la vapeur. Sous le serpentín, on brûle, pour chaque cuite, 15 à 20^t de bois ou 5 à 6^t de coke, soit 150 à 200^t de bois ou 60 à 80^t de coke par 100^t de charbon obtenu. — La température correspondant à la production du charbon roux est d'environ 280°.

b) Appareils de Wetteren et de Dresde.

A Wetteren, on a construit deux appareils identiques à celui d'Esquerdes et qui peuvent, à volonté, marcher alternativement ou simultanément. La conduite des opérations est celle que nous venons de décrire.

A Dresde, les appareils de distillation au moyen de la vapeur d'eau surchauffée n'ont été installés qu'à titre d'essai; Kahl a d'ailleurs adopté une disposition un peu différente de celle de Violette. Le serpentin et les cylindres en tôle étaient placés dans deux massifs distincts et juxtaposés, de sorte qu'on pouvait chauffer le premier indépendamment des seconds; en outre, l'espace annulaire compris entre les deux cylindres était rempli d'un corps mauvais conducteur de la chaleur, de pierre ponce, par exemple; enfin, dans le voisinage du point où la vapeur pénétrait dans le cylindre de carbonisation, on introduisait soit un thermomètre à mercure, soit un thermomètre métallique. Ce dernier consistait en deux lames, l'une d'acier, l'autre de laiton, superposées et soudées sur toute leur longueur; cette bande métallique était contournée en spirale et avait l'une de ses extrémités soudée au fond d'une petite boîte cylindrique, tandis que l'autre agissait sur un levier coudé ou sur un engrenage, qui amplifiait les allongements de la lame au moyen d'une aiguille mobile sur un cadran. — Pour obtenir du charbon noir, Kahl commençait par faire passer sur le bois de la vapeur à 100°: il élevait la température jusqu'à 280°, pendant la première demi-heure, et, dans les trois quarts d'heure suivants, jusqu'à la température jugée nécessaire pour la carbonisation; il maintenait alors cette température pendant 2 heures 1/2. En élevant la température encore plus lentement, la durée de la carbonisation augmentait très-notablement, et la dernière période de l'opération finissait même par présenter d'assez grandes difficultés.

c) Propriétés des charbons et rendements.

Des essais exécutés par Violette à la poudrerie d'Esquerdes (juillet 1848), avec du bois de bourdaine contenant 10 à 12 p. 100 d'humidité, et destinés à déterminer les conditions nécessaires et suffisantes pour la production du charbon très-roux, ont donné les résultats suivants :

INDICATIONS du manomètre.	DURÉE de l'opération.	HOUILLE consommée sous le générateur.	BOIS consommé sous le serpentin.	CHARGE.	POIDS DE CHARBON OBTENU			RENDE- MENT p. 100.
					Roux.	Noir.	Brûlots.	
atm.	h. min.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	
1	2 45	118	25	25	9,220	»	»	36,88
1	2 »		13	30	11,200	»	»	37,33
1	2 »		11	25	10,050	»	»	40,20
1	2 45		12	30	10,450	»	»	34,83
1	2 »		12	30	10,500	»	»	35,00
1	3 »	115	26	25	8,950	»	»	35,80
1	2 »		12	25	8,900	»	»	35,60
1	2 30		11	25	9,350	»	»	37,40
1	2 »		9	25	9,250	»	»	37,00
1	2 15		13	30	11,150	»	»	37,16
1/2	3 15	85	30	25	9,100	»	»	36,40
1/2	2 10		11	30	10,500	»	0,150	35,00
1/2	2 15		13	30	10,650	»	»	35,50
1/2	2 »		12	30	11,350	»	0,700	37,83
1/2	2 »		15	30	10,150	»	0,750	33,83
1/2	3 0	82	26	30	11,100	»	»	37,00
1/2	2 0		9	30	14,150	»	0,400	37,16
1/2	2 15		12	30	11,050	»	»	36,83
1/2	2 15		10	30	11,050	»	»	36,83

La poudre fabriquée avec ce charbon roux, obtenu à la température de 280°, accusait une plus grande vitesse au fusil-pendule que la poudre ordinaire, comme le montre le tableau ci-après :

CHARBON ayant servi à fabriquer la poudre.	VITESSE PAR SECONDE.		
	Chasse fine.	Chasse superfine	Chasse extrême
	m.	m.	m.
Charbon ordinaire.	330,0	350,0	375,00
Charbon d'Esqueredes.	356,2	357,7	382,07

D'après Violette, si l'on surchauffe la vapeur jusqu'à 350° environ, on obtient un mélange de charbon roux à 70 p. 100 et de charbon noir à 83 p. 100 de carbone. Si l'on chauffe simultanément, outre le générateur, la cornue et le serpentin, mais à une température infé-

rieure à 450°, le bois se trouve débarrassé des substances volatiles au même point que s'il avait été calciné à 1200° dans une capsule, comme le prouvent les analyses suivantes :

POIDS du charbon analysé.	RENDE- MENT p. 100.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.				OBSERVATIONS.
		Carbone.	Hydro- gène.	Oxygène, azote et pertes.	Cendres.	
gr. 0,5670	28,18	76,806	2,738	19,929	0,529	En chauffant la vapeur seule, aussi fortement que possi- ble.
0,4550	à 30,00	77,135	3,900	18,440	0,549	
0,4545	19,09	89,939	2,684	5,852	1,540	En chauffant à la fois le gé- nérateur et le récipient du bois.
0,5670	à 20,00	88,399	2,523	7,849	1,235	

Dans les deux dernières expériences, la vapeur a joué le double rôle d'agent calorifique et d'agent mécanique; mais ce n'est pas en raison d'un accroissement de température qu'elle a agi le plus énergiquement, car, comme Violette l'a vérifié, la quantité de combustible employée a été beaucoup moindre pour le même résultat : elle a simplement facilité le départ des matières volatiles, comme un vent chaud hâte l'évaporation de l'eau, en emportant les vapeurs à mesure qu'elles se forment.

Kahl a appliqué son mode d'opération à du bois de bourdainne contenant 11,57 p. 100 d'humidité, qu'il a carbonisé à 350°, et à du bois contenant 9 p. 100 d'humidité, qu'il a soumis aux températures de 410° et 440°. Il est ainsi arrivé aux résultats suivants :

NATURE du charbon.	RENDEMENT p. 100.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.			
		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et pertes.	Cendres.
Charbon à 350° . .	30,2 à 30,4	76,00	3,91	18,58	1,51
Charbon à 350° . .	30,2 à 30,4	75,06	4,09	19,51	1,34
Charbon à 410° . .	28,8	79,60	3,82	15,06	1,52
Charbon à 440° . .	26,6	84,99	3,30	10,12	1,59

La température d'inflammation de ces charbons était comprise entre 300° et 340°. Du bois d'aune, contenant 11,7 p. 100 d'humidité et carbonisé à 350°, a donné du charbon noir au rendement de

29,7 à 30,3 p. 100, dont la température d'inflammation variait de 337 à 357°. (Cf. p. 163.)

Les charbons distillés à la vapeur sont tous tendres et friables, complètement libres de goudrons et remarquablement homogènes. Ce dernier point résulte de l'analyse de morceaux de charbon pris à l'entrée et à la sortie de la vapeur :

POINT DU CYLINDRE où a été pris le charbon.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.			
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et pertes.	Cendres.
Entrée de la vapeur.	82,95	3,10	12,28	1,67
Sortie de la vapeur.	82,91	3,26	11,98	1,85

Quant aux dépenses de main-d'œuvre et de combustible et au prix de revient total, le système de distillation à la vapeur ne peut être avantageux que pour la production des charbons roux. C'est ce qui résulte d'essais comparatifs déjà mentionnés (p. 186), et se rapportant à la fabrication du charbon noir de bourdaine :

SYSTÈME DE CARBONISATION.	DÉPENSES en main-d'œuvre et en combustible, par 100 ^k de charbon produit.	PRIX DE REVIENT total.
	fr.	fr.
Chaudières.	3,00	53,78
Cylindres fixes.	4,99	41,79
Appareil à vapeur.	16,33	53,81

On peut conclure de l'ensemble des expériences de Violette et de Kahl, que le système de distillation à l'aide de la vapeur surchauffée n'est préférable au système ordinaire de carbonisation dans les cylindres, au double point de vue du rendement et du prix de revient, que pour la production du charbon roux : comme le charbon roux est exclusivement affecté aux poudres de chasse et le charbon noir aux poudres de guerre, le procédé de Violette ne présente aucun avantage dans les établissements où l'on ne fabrique que cette dernière espèce de poudres. Il est vrai que les charbons distillés à la vapeur sont incomparablement plus homogènes que ceux des

cylindres ordinaires ; mais ces inégalités de composition des produits, pourvu qu'elles ne dépassent pas certaines limites, sont sans aucune influence sur la qualité de la poudre : les charbons provenant des différents points du cylindre sont, en effet, intimement mélangés, et ce mélange présente une composition moyenne parfaitement uniforme, dont l'inflammabilité se rapproche beaucoup de celle des charbons distillés à la vapeur. En outre, les frais d'installation de l'appareil de Violette sont notablement plus élevés que ceux d'un appareil ordinaire de carbonisation dans les cylindres fixes ou mobiles, le serpentin est plus rapidement mis hors de service que les cornues, et les dépenses en main-d'œuvre et en combustible sont généralement plus fortes, parce qu'on n'a pas trouvé jusqu'à ce jour de moyen pratique pour recueillir la quantité considérable de chaleur emportée par la vapeur surchauffée.

Tels sont les principaux motifs qui se sont opposés à la mise en application du remarquable procédé de Violette, et qui l'ont fait successivement abandonner à Esquerdes et à Dresde.

B. Système Gossart.

a) Appareil à circulation continue du calorique.

Gossart a cherché à éviter la plupart des inconvénients de l'appareil de Violette en surchauffant la vapeur dans des tubes courts et gros, remplis de fragments métalliques destinés à multiplier indéfiniment la surface de chauffe, et en faisant circuler en sens inverse, dans des colonnes doubles de condensation et d'échauffement, l'eau froide à vaporiser, d'une part, et, de l'autre, la vapeur sortant des cylindres. Ceux-ci, formés de trois enveloppes en tôle concentriques et munis de deux thermomètres qui donnent la température de la vapeur avant et après le contact du bois, sont disposés verticalement dans un massif, au-dessus du foyer des tubes générateurs. Gossart, ayant reconnu que la carbonisation proprement dite exige une faible dépense de calorique par rapport à la quantité nécessaire pour la dessiccation, la conversion en brûlots et l'échauffement à 265°, et s'étant, de plus, assuré que du bois placé à la suite d'un cylindre de carbonisation se transformait en brûlots, sans trace de goudrons, par la seule action de la vapeur qui s'en échappait, a eu l'idée d'opérer simultanément sur plusieurs cornues, dans les-

quelles la vapeur s'engagerait successivement pour produire la transformation de la charge en brûlots, et de n'employer directement la vapeur surchauffée que pour achever la carbonisation. L'appareil construit à Esquerdes, en 1855, se composait de deux cornues accouplées (Pl. II, *fig.* 1, 2 et 3).

Un treuil *c* sert à relever le piston d'une pompe d'injection *ab* qui lance l'eau, avec une pression un peu supérieure à celle que l'on veut donner à la vapeur, dans un tuyau d'où six robinets gradués la distribuent entre 6 colonnes d'échauffement placées dans le cylindre de condensation *e*; chaque colonne double est, par sa surface intérieure et extérieure, en contact avec la vapeur qui, sortant des cornues à une température de plus de 200°, est conduite dans le cylindre pour s'y refroidir et s'y condenser, en circulant de haut en bas entre les six colonnes. Six tuyaux *f*, partant du haut des colonnes, portent aux six tubes générateurs *g* de la vapeur entraînant plus ou moins d'eau, qui s'y dessèche et s'y surchauffe. Ces tubes, qui sont formés de deux parties droites et d'une partie coudée, réunies par des joints doublement coniques, reçoivent l'action directe du feu et sont remplis de tournures métalliques. La vapeur surchauffée se réunit dans un tuyau récepteur *h*, d'où elle est conduite, par le tube *i*, dans le tube à six branches *k* qui est en communication, par le tuyau *l*, avec un manomètre *m* placé devant les yeux de l'ouvrier qui conduit le feu et muni d'un robinet pour l'échappement libre de la vapeur. Le tube *k* communique, en outre, à l'aide des deux robinets-soupapes 1 et 4 (*), avec les tubes à trois branches *o* et *o'*, qui sont en correspondance avec les deux cornues *M* et *M'*. Si l'on ouvre 1, par exemple, et que l'on ferme 4, la vapeur entrera dans *o* et, par suite, dans *M*, circulera entre ses trois enveloppes, traversera le bois, et descendra par le tube *p* dans le tuyau à cinq branches *q*, qu'on peut mettre en communication, soit avec le cylindre de condensation *e*, en ouvrant le robinet-soupape 3 qui donne issue à la vapeur dans un tube de dégagement, soit avec le tuyau à trois branches *o'*, en ouvrant le robinet-soupape 2. Dans le premier cas, on fait marcher la carbonisation dans l'appareil *M* seul; dans le second, la vapeur commence la carbonisation du bois dans

(*) Sur la *fig.* 3 de la Pl. II, les projections verticales des robinets-soupapes 1, 2, 3 sont respectivement recouvertes par celles des robinets-soupapes 4, 5, 6.

la cornue M', et vient, par le tube p', dans le tuyau à cinq branches q', qui communique avec o et avec le tube de dégagement par les branches fermées à l'aide des robinets-soupapes 5 et 6. Si l'on ferme 5 et ouvre 6, la vapeur se rend dans e, et, en se refroidissant et se condensant, réchauffe et vaporise l'eau qui arrive dans les colonnes d'échauffement.

Une série de manœuvres très-simples des six robinets-soupapes, indiquées par un tableau placé sous les yeux du chauffeur, permet de faire passer à volonté la vapeur de M dans M', ou de M' dans M, ou dans l'une des cornues seulement, ou directement dans les deux cornues à la fois. Les produits condensés dans le cylindre e sont rejetés par le tube s. Le fourneau est à un seul foyer; trois clefs x, x', x'', peuvent servir à faire passer la flamme autour des cornues de carbonisation. La clef y permet de régler l'arrivée de l'air; les ouvertures z, fermées par des glissières, servent à examiner les tubes générateurs et à juger de leur température.

Le service de l'atelier est fait par deux ouvriers, dont l'un conduit l'appareil, tandis que l'autre opère les triages de charbons, prépare les chargements, apporte le combustible, etc. La cornue en tôle M, remplie de 40 à 50^t de bois, est mise en place à l'aide du treuil T et munie de son couvercle en fonte, qu'on serre au moyen d'une vis de pression; on recouvre le tout d'un grand couvercle en tôle légère, qu'on charge de cendres. Pendant ce temps, le feu s'allume et les tubes s'échauffent; la mise en train dure environ trois quarts d'heure. On ouvre alors les robinets-soupapes 1, 2, 6, pour introduire la vapeur dans M, on lève le piston de la pompe d'injection, et l'on ouvre les robinets de manière à obtenir 60 à 70^t de vapeur à l'heure: l'eau s'échauffe, se vaporise, traverse la cornue et revient au cylindre de condensation au bout de 8 à 10 minutes. L'ouvrier n'a plus qu'à entretenir le feu, à remonter le piston de la pompe et à régler l'ouverture des robinets d'introduction de l'eau. Il se guide, à cet effet, sur la température des tubes générateurs, indiquée par leur couleur et par la température du thermomètre extérieur, et sur l'état d'avancement de la carbonisation, dont il s'assure en soulevant le couvercle en tôle et dégageant une soupape fixée sur le couvercle en fonte, d'où s'échappe un jet de vapeur d'une odeur et d'une couleur caractéristiques. S'il veut obtenir du charbon noir au rendement de 40 p. 100, il maintiendra la température jusqu'à ce que toute odeur ait disparu. Pour obtenir du charbon roux au ren-

dement de 40 à 50 p. 100, il abaissera la température à 265° pendant la dernière période, et déchargera dès que le dégagement de gaz aura cessé. Le déchargement s'effectue d'une manière analogue au chargement; la cornue est enfermée dans un étouffoir placé sur le cercle décrit par le treuil.

b) Marche de la distillation.

Gossart a étudié avec le plus grand soin les diverses circonstances de la carbonisation.

Il divise le phénomène en quatre périodes distinctes. Dans la première, celle de la dessiccation, la température du bois reste à peu près constante pendant 1 heure 1/2, et il ne se produit pas trace de décomposition, quelle que soit la température de la vapeur : la dessiccation absorbe plus de la moitié du calorique nécessaire pour la carbonisation, à cause de la faible capacité calorifique de la vapeur relativement à celle de l'eau. La seconde période est caractérisée par la décomposition du bois et par le dégagement de produits volatils où domine l'acide acétique, sans trace de goudrons; cette période, qui commence à 200°, présente un point fixe à la température de 230°, qui donne le brûlot parfait, à texture fibreuse, au rendement de 75 p. 100. La transformation du brûlot en charbon peut s'achever à 225° ou 230°, mais en prolongeant la cuite pendant 12 heures. Si l'on élève la température, l'opération devient plus rapide, et il se produit un enchevêtrement de la seconde période et de la troisième : cette dernière est caractérisée par le dégagement des goudrons.

Pour obtenir le charbon roux, il faut entrer dans la troisième période à 265° : sinon, la température s'emporte et il se forme du charbon noir; la seconde période est, dans ce cas, fort onéreuse, bien qu'elle absorbe peu de chaleur, à cause de la nécessité où l'on se trouve de l'effectuer au-dessous de 265° et de fournir, par suite, un poids de vapeur considérable. Pendant la troisième période, il se produit, pour le charbon roux, un dégagement brusque de chaleur, qu'on modère par le courant de vapeur qui sert alors de réfrigérant. Les limites de cette période, qui correspondent aux températures de 265° et 290°, sont marquées par le commencement de la décomposition du brûlot à 75 p. 100 et par la production du charbon homogène et régulier à 40 p. 100. Les meilleurs charbons roux pour la poudre de chasse semblent être au rendement de 45 p. 100, c'est-à-

dire ne correspondre à aucun point fixe ; si l'on opère à 260°, à raison de 80 à 100^l de vapeur par heure, la transformation du bois en brùlot à 75 p. 100 dure 2 heures à 2 heures 1/2. — Quant aux charbons noirs, on peut les obtenir à température élevée, environ 1 heure après la dessiccation : la quatrième période, caractérisée par l'absence de tout dégagement, se trouve alors confondue avec la troisième.

L'appareil de Gossart, quoique plus rationnel, donne prise à peu près aux mêmes objections que celui de Violette. En outre, dans la pratique, les colonnes doubles d'échauffement, qui constituaient la partie essentielle et vraiment originale de l'appareil, n'ont pu fonctionner d'une manière complètement satisfaisante : les goudrons se déposaient, en effet, sur les parois des colonnes et produisaient des engorgements fréquents. Les essais auxquels était soumis l'appareil d'Esquerdes ont été interrompus par la mort de Gossart (1838) et n'ont jamais été repris.

CHAPITRE IV.

DOSAGE.

Chaque poudre (poudre de guerre, de chasse ou de mine) a son dosage particulier. Ces différences de dosage ont leur raison d'être dans les usages spéciaux auxquels ces matières sont affectées. Ce qu'on demande surtout aux poudres de guerre, c'est la force et un potentiel aussi grand que possible; aux poudres de chasse, la rapidité d'inflammation et de combustion; aux poudres de mine, une production de gaz abondante.

Le dosage ne paraît pas avoir d'influence appréciable sur l'inflammabilité de la poudre. L'excès de charbon accélère la combustion; l'excès de salpêtre la ralentit. Quant à la force et au potentiel, nous verrons que le volume des gaz produits et la quantité de chaleur dégagée, qui en constituent les facteurs essentiels, peuvent varier avec les proportions du dosage. D'après Berthelot, le dosage théorique qui correspondrait au développement maximum de chaleur et au dégagement minimum de produits gazeux serait le suivant :

Salpêtre.	84
Soufre.	8
Charbon.	8

On ne saurait toutefois accorder une importance exclusive aux considérations purement théoriques. Il paraît, en effet, démontré par l'expérience que, si le surdosage en soufre diminue la vivacité de la poudre, il en assure la bonne conservation, et que, pour une espèce de poudre donnée, les petites variations de dosage sont sans influence sensible sur les propriétés balistiques. Ces variations sont d'ailleurs inévitables, par les raisons suivantes :

1° Le charbon que l'on emploie ne se compose jamais de carbone chimiquement pur.

2° La poudre contient toujours de l'humidité en quantité variable.

3° Il est impossible d'assurer l'intimité absolue du mélange.

4° Enfin, ce mélange lui-même subit, pendant le cours des opérations successives, des altérations continuelles dans les proportions relatives des corps qui le constituent, comme le montrent des expériences exécutées sur des poudres prussiennes et résumées dans le tableau ci-après :

ÉTAT DE LA MATIÈRE après les opérations successives.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.		
	Salpêtre.	Soufre.	Charbon.
Composition au dosage réglementaire. . .	74	10	16
Mélange trituré.	74,03	10,13	15,84
Galette.	73,60	10,25	16,15
Galette grenée.	73,66	10,38	15,96
Poudre séchée à l'air.	73,94	10,20	15,86
Poudre lissée.	74,43	9,73	15,84
Poudre époussetée.	74,49	9,72	15,79

Nous indiquerons les principales variations survenues jusqu'à nos jours dans le dosage des différentes poudres de guerre, de chasse et de mine.

§ I.

POUDRES DE GUERRE.

Les premières compositions de poudre employées à la confection des engins incendiaires furent probablement formées de parties égales de salpêtre, de soufre et de charbon ; mais on ne tarda pas, d'après Piolet, à s'apercevoir qu'on obtenait beaucoup plus de vivacité dans la combustion du mélange de ces trois matières en augmentant la quantité de salpêtre, qui fut successivement doublée, triplée, quadruplée et même décuplée. Cependant on s'arrêta, dès les premiers

temps, à la proportion qui a été généralement adoptée dans les temps modernes (cf. p. 7) :

Salpêtre.	6
Soufre.	1
Charbon.	1

On s'aperçut que la poudre était meilleure lorsqu'on augmentait un peu la quantité de salpêtre et de charbon, ou qu'on diminuait la quantité de soufre; mais l'excès de cette dernière matière fut reconnu favorable à la bonne conservation de la poudre. Aussi, les poudres fabriquées en trop grande quantité pour pouvoir être conservées avec soin, comme la poudre de la grosse artillerie, eurent-elles, en Allemagne, dans le xv^e siècle, jusqu'à 2 de soufre pour 4 de salpêtre et 1 de charbon, tandis que la poudre qu'on ne conservait qu'en petite quantité, comme celle qui était destinée aux arquebuses et aux pistolets, contenait souvent 4 fois moins de soufre. On fit moins varier les proportions de soufre dans le xvi^e et le xvii^e siècle : on en mettait à peu près autant que de charbon, avec 4 parties de salpêtre pour la poudre de grosse artillerie, 5 pour la poudre de moyenne artillerie et 6 pour la poudre à mousquet. Cette variété de dosages a existé jusqu'au xviii^e siècle, bien qu'on reconnût généralement l'inconvénient d'avoir à la guerre plusieurs espèces de poudres, et que des expériences faites à Bruxelles eussent prouvé, dès 1568, que la meilleure poudre de guerre devait être composée de 24 de salpêtre, 5 de charbon et 3 de soufre.

En France, on ne s'est jamais beaucoup éloigné du dosage *six, as et as* :

Salpêtre.	75
Soufre.	12,5
Charbon.	12,5

recommandé par Boillot (1598) et par de Bry (1619). En 1686, on adopta le dosage de 76 de salpêtre, 12 de soufre et 12 de charbon, pour revenir, dès 1696, au dosage primitif. A la suite d'essais entrepris en 1794, on employa le dosage de 76 de salpêtre, 9 de soufre et 13 de charbon, puis, en 1800, le dosage suisse de 76 de salpêtre, 10 de soufre et 14 de charbon; mais on revint, dès 1808, à l'ancien dosage, qui a été conservé jusqu'à nos jours. Toutefois, pour les nouvelles poudres à fusil et pour les poudres à gros grains, on a cherché, à l'exemple des puissances étrangères, à modifier le

dosage par une augmentation de la quantité de charbon et surtout par une diminution de celle du soufre.

En Allemagne, à la date de 1546, les dosages étaient les suivants :

	Grosse artillerie.	Artillerie moyenne.	Arquebuses.
Salpêtre.	30,0	66,7	83,4
Soufre.	33,3	20,0	8,3
Charbon.	16,7	13,3	8,3

En 1555, Fronsperger recommande le dosage de 66 %, de salpêtre, 22 %, de soufre et 11 % de charbon. Dès 1649, les proportions étaient ainsi modifiées :

	Grosse artillerie.		Fusils.		Pistolets.	
Salpêtre.	66,8	70,0	72,5	75,5	78,7	85,6
Soufre.	16,6	14,0	13,0	11,2	9,4	8,5
Charbon.	16,6	16,0	14,5	13,3	11,9	5,9

En Prusse, à la date de 1774, les dosages étaient ainsi fixés :

	Poudre à canon.	Poudre à fusil.
Salpêtre.	74,4	80
Soufre.	12,3	10
Charbon.	13,3	10

Au commencement de ce siècle, on a adopté le dosage uniforme de 75 de salpêtre, 10 de soufre et 15 de charbon, dosage remplacé plus tard par le suivant : 75 de salpêtre, 11,5 de soufre et 13,5 de charbon.

En Suède, les dosages ont été successivement modifiés comme il suit :

	En 1736.	En 1770.	En 1827.
Salpêtre.	73	75	75
Soufre.	10	16	15
Charbon.	17	9	10

Les principaux dosages actuellement adoptés par les différentes puissances sont indiqués dans le tableau suivant :

ÉTATS.	SALPÊTRE.	SOUFRE.	CHARBON.	
France. {	Poudre à canon.	75	12,5	12,5
	Poudres à gros grains.	75	10	15
	Ancienne poudre à fusil, dite B.	74	10,5	13,5
	Poudre à fusil, dite F ₁	77	8	15
Prusse.	74	10	16	
Saxe.	74	10	16	
Angleterre.	75	10	15	
Russie.	75	10	15	
Suède.	75	10	15	
Autriche.	75,5	10	14,5	
Belgique.	75	12,5	12,5	
Hollande.	70	14	16	
Suisse.	76	10	14	
Espagne.	75	12,5	12,5	
Portugal.	75,7	10,7	13,6	
Italie.	75	10	15	
Turquie.	75	10	15	
États-Unis.	76	10	14	
Perse.	75	12,5	12,5	
Chine.	61,5	15,5	23,0	

§ II.

POUDRES DE CHASSE.

Les poudres de chasse se distinguent principalement des poudres de guerre par le surdosage en salpêtre et par le choix du charbon roux.

Il serait à peu près impossible d'établir les variations de dosage de ces poudres aux différentes époques, les anciens ouvrages ne donnant aucun renseignement à ce sujet. La proportion du salpêtre paraît avoir varié de 74 à 78, celle du soufre de 9 à 16 et celle du charbon de 7 à 13. L'ancienne poudre royale d'Esquermes était au dosage de 78 de salpêtre, 9 de soufre et 13 de charbon, et la poudre de chasse des pilons se composait de 78 de salpêtre pour 10 de soufre et 12 de charbon.

Les dosages employés aujourd'hui en France et en Allemagne sont les suivants :

ÉLÉMENTS.	FRANCE.	ALLEMAGNE.
Salpêtre.	78	78,5
Soufre.	10	10
Charbon.	12	11,5

§ III.

POUDRES DE MINE.

La composition des poudres de mine a été soumise à des variations continuelles. Cette espèce de poudre doit surtout être peu coûteuse et développer la plus grande quantité possible de gaz, conditions que l'on a cherché à réaliser en diminuant le taux de salpêtre et en augmentant la proportion de soufre ou de charbon, ou de ces deux éléments à la fois. On est ainsi arrivé aux différents dosages actuellement usités dans les divers pays :

ÉLÉMENTS.	FRANCE.	AUTRICHE.	ANGLETERRE.	ALLEMAGNE.	RUSSIE.	ITALIE.
Salpêtre. . .	62	64	65	66	66,6	70
Soufre. . . .	20	16	20	12,5	16,7	18
Charbon. . .	18	20	15	21,5	16,7	12

Le dosage français de 62, 20, 18, adopté depuis 1822, devait être commun aux poudres de mine et à la poudre de commerce extérieur; le dosage habituel de cette dernière poudre est aujourd'hui de 72 de salpêtre pour 13 de soufre et 15 de charbon.

Il s'est produit, dans ces derniers temps, surtout à l'étranger, une tendance à augmenter la proportion de salpêtre dans le dosage des poudres de mine. Il est à craindre, en effet, que la combustion de la matière ne se trouve ralentie à tel point, que les gaz puissent

pénétrer dans les fissures des roches et que le refroidissement prenne une importance exagérée pendant la durée du phénomène; en outre, la production d'une grande quantité d'oxyde de carbone, résultant du surdosage en charbon, paraît défavorable au développement des effets de projection ou de rupture. Toutefois, l'expérience et le calcul montrent, comme nous le verrons plus loin, que la force de la poudre de mine ordinaire n'est pas sensiblement différente de celle des poudres de guerre ou de chasse, et que de légères variations dans la proportion du salpêtre sont sans influence appréciable sur cet élément; or, la force intervient à peu près seule dans les phénomènes de rupture, le potentiel n'ayant d'importance qu'au point de vue du tir des projectiles dans les bouches à feu. Il semble donc que le surdosage des poudres de mine en salpêtre soit sans intérêt et sans utilité réelle.

On n'en a pas moins adopté, pour les poudres de mine dites *fortes* et *lentes*, les dosages suivants :

	Poudres de mine	
	fortes.	lentes.
Salpêtre.....	72	40
Soufre.	13	30
Charbon.....	15	30

Cette dernière espèce de poudres, dont la combustion était toujours accompagnée d'un dégagement considérable de fumée dû à l'excès de soufre et au manque de salpêtre, est aujourd'hui complètement abandonnée.

SECTION II.

FABRICATION DE LA POUDRE.

La fabrication de toutes les poudres, à l'exception des poudres agglomérées, peut se ramener aux points suivants :

1° Réduction des composants à l'état de galette plus ou moins dure et aussi homogène que possible;

2° Réduction de la galette en grains de forme et de dimensions déterminées, par un grenage convenable;

3° Lissage des grains, pour leur donner de la dureté et du poli;

4° Séchage des grains lissés, pour les ramener à un degré d'humidité constant;

5° Égalisage et époussetage, pour ne conserver que les grains ayant les dimensions voulues;

6° Enfonçage et mise en magasin.

Nous examinerons séparément ces diverses parties de la fabrication. Les poudres à gros grains feront l'objet d'un chapitre spécial; il en sera de même des charges comprimées. Quant à la méthode d'agglomération, elle sera décrite à la suite des procédés de grenage des poudres ordinaires. Enfin, nous consacrerons un dernier chapitre à l'exposé de quelques résultats généraux.

CHAPITRE I.

FORMATION DE LA GALETTE.

La formation de la galette comprend la série des opérations ci-après :

- 1° Trituration des matières premières (salpêtre, soufre, charbon);
- 2° Mélange et incorporation des substances pulvérisées;
- 3° Galetage du mélange incorporé.

Ces trois opérations, qui exercent une grande influence sur les propriétés physiques et balistiques de la poudre, ont été successivement effectuées par les procédés les plus divers. Elles étaient autrefois fondues en une seule : de nos jours, au contraire, on peut constater une tendance presque générale à les séparer plus ou moins complètement.

Pour mieux suivre le développement historique de ces procédés, nous les exposerons dans l'ordre suivant :

- 1° Trituration, mélange et galetage en une seule opération;
 - 2° Trituration des substances isolées;
 - 3° Mélange et galetage, en une seule opération, des substances triturées;
 - 4° Mélange des substances triturées;
 - 5° Galetage des substances triturées et mélangées.
-

§ I.

TRITURATION, MÉLANGE ET GALETAGE EN UNE SEULE OPÉRATION.

I. PAR LES PILONS.

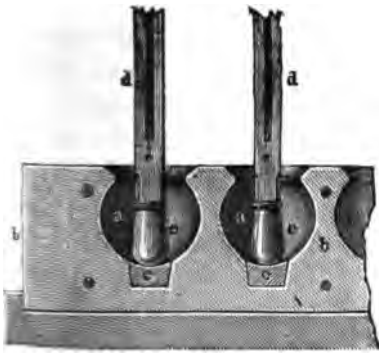
Anciennement, on broyait les trois substances dans un mortier en bois ou en pierre à l'aide d'un pilon en bois, qu'on manœuvrait soit directement à la main, soit avec un levier. Un pareil procédé ne permettait d'opérer sur de grandes quantités de matière qu'à la condition de disposer d'un personnel considérable; aussi en vint-on bientôt à installer des appareils mécaniques, qui constituèrent les moulins à pilons.

La première usine à pilons fut établie par Harscher, en 1435, à Nüremberg.

a) Appareils.

La partie essentielle de l'appareil consiste (*fig. 23*) en une série de cavités ou mortiers *aa*, creusés dans un billot en bois de chêne ou

Fig. 23.

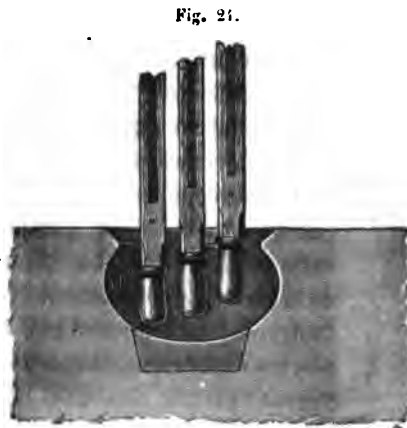


de hêtre *bb*, ayant environ 0^m,60 d'épaisseur. La distance, d'axe en axe, des mortiers successifs varie de 0^m,69 à 0^m,77; on ne peut les rapprocher davantage, à cause des secousses que subiraient les parties du billot situées dans l'intervalle des mortiers. La forme de la cavité, primitivement cylindrique, est aujourd'hui à peu près sphérique, le mortier figurant un peu plus d'un hé-

misphère; la profondeur est d'environ 0^m,50 et la largeur de 0^m,40. Le bord supérieur est évasé en forme d'entonnoir; au fond est placé un morceau de bois dur debout *cc*, sur lequel viennent se produire les chocs du marteau. — Le billot se compose de quatre morceaux de bois réunis par des frettes et par des boulons; il repose sur un massif solide, qui est le plus souvent formé d'une

plate-forme en bois, afin d'éviter que le sol ne cède sous les coups répétés du marteau. — Les marteaux ou pilons proprement dits *dd* sont en bois de hêtre ou d'érable; ils affectent la forme parallépipédique, avec une épaisseur d'environ 0^m,10 et une longueur qui varie de 2 à 3^m. Ils se terminent, à leur partie inférieure, par une boîte piriforme en bronze dur *ee*. La composition de ce bronze est variable : elle est, le plus souvent, de 82 de cuivre pour 18 d'étain, ou de 80 de cuivre pour 20 d'étain; à la poudrerie de Lautenthal, dans le Harz, on prenait un speiss provenant d'Altenauerhütte, qu'on traitait par du cuivre micacé, et l'on obtenait ainsi, d'après Kerl, un alliage composé de 64,9 p. 100 de cuivre, 19,3 d'antimoine, 11,4 de plomb et 5,5 de nickel avec un peu de fer, mais s'usant d'une manière très-inégale; enfin, on a aussi employé du plomb aigre. La tige du pilon est assemblée à la poire au moyen d'un tenon arrondi, portant, sur une certaine longueur, une fente dans laquelle pénètre un coin. A la partie supérieure se trouve une mortaise, dans laquelle passe un mentonnet assujéti par une clef et dont la tête cylindrique sera soulevée par les cames de l'arbre horizontal. Chaque pilon est guidé par un système de moises.

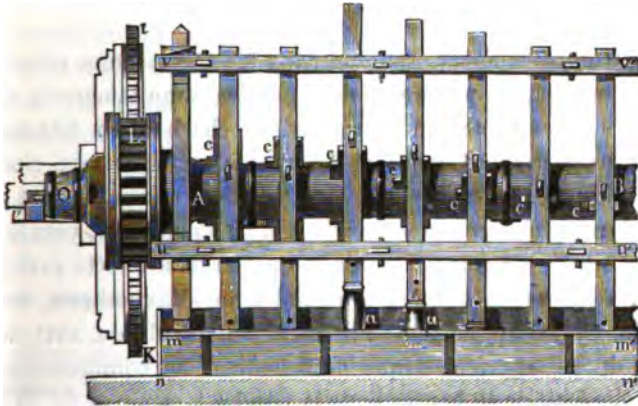
En général, à chaque mortier correspond un seul pilon; on trouve pourtant, en Autriche, des usines où trois pilons travaillent dans le même mortier (*fig. 24*), et Jerlin, dans sa *Dissertatio de pulvere*, rapporte qu'en Suède, dès 1726, chaque mortier contenait jusqu'à quatre pilons. — En Italie, on s'est servi de mortiers métalliques reposant sur un support solide en maçonnerie. — En Angleterre, les moulins à pilons sont absolument prohibés, en raison des dangers qu'ils présentent.



La force motrice est fournie soit par un manège, soit par une roue hydraulique. Le mouvement est transmis, par l'intermédiaire de deux roues à dents de bois *l* et *L* (*fig. 25*), à l'arbre horizontal *AB*, qui porte des cames *cc*, disposées en hélice et groupées deux à

deux aux extrémités d'un même diamètre. Chaque couple de cames correspond à un même pilon, qu'elles soulèvent, chacune à son tour, pendant la rotation de l'arbre AB, pour le laisser retomber quand

Fig. 25.



elles s'en sont suffisamment éloignées. La hauteur de levée est ordinairement de 0^m,432; en Danemark, elle se trouve réduite à 0^m,388. — Pour éviter les inconvénients des variations de niveau des eaux, on a installé, dans plusieurs poudreries, un compteur spécial, mis en relation avec l'axe de l'arbre horizontal à la manière d'une forerie, et dont l'aiguille indique les centaines et les milliers de tours, sans que l'ouvrier puisse y toucher et diminuer à dessein la durée du battage. Souvent, on fait en sorte que la vanne tombe dès que le nombre de coups prescrit est atteint.

En France, le poids d'un pilon, qui était, en 1791, de 32^l,8, est aujourd'hui de 40^l, dont 20^l pour la tige et 20^l pour la poire en bronze. En Allemagne, il oscille entre 20 et 30^l, suivant les mortiers. En Danemark, il varie de 28 à 30^l. En Autriche, les pilons pèsent 17^l ou 33^l,75; ces derniers sont dits *pilons Neusohler*.

Le plus souvent, chaque usine comporte deux séries de pilons, comprenant chacune de 7 à 10 mortiers; on ne peut en associer un plus grand nombre sur une même pile, à cause des ébranlements qui en résulteraient. L'appareil est installé dans un bâtiment dont les parois offrent peu de résistance en cas d'explosion; les murs sont très-bas et formés de poteaux reliés extérieurement par des planches. On donne au toit une pente assez forte, afin de faciliter l'écoulement

des eaux et d'empêcher, autant que possible, l'accumulation de la neige. — En France, le mode de construction d'une usine à pilons ne diffère pas sensiblement de celui d'une usine à meules (p. 219).

b) Opérations.

Les trois substances, réunies dans les proportions déterminées par le dosage de la poudre, étaient portées simultanément dans les mortiers : le salpêtre en morceaux, le charbon en bâtons et le soufre grossièrement concassé. La charge réglementaire d'un mortier était de 8^t. La masse était alors touillée, anciennement avec de l'eau pure ; plus tard, on se servit aussi de vinaigre, et, vers le milieu du xvi^e siècle, le mode de touillage qui paraît avoir été préféré consistait à arroser la matière avec de l'urine (Mannesharn, der Wein trinkt). On faisait ensuite le battage. Vers la fin du xvi^e siècle, la durée du battage n'était que de 6 heures ; au commencement du xvii^e, elle était de 10 heures pour la poudre à canon et de 20 pour la poudre à mousquet ; vers 1700, elle fut portée à 24 heures, à raison de 3500 coups par heure.

Nous ne pouvons donner ici une description détaillée du mode d'opération : les documents font presque entièrement défaut. Toutefois le procédé ressemble, dans ses parties essentielles, à celui que l'on suit aujourd'hui pour l'incorporation et le galetage des matières triturées. Nous renvoyons donc, pour éviter des répétitions inutiles, à ce que nous dirons plus loin du mélange et du galetage dans les mortiers à pilons (p. 240).

II. PAR LES MARTEAUX.

Ce procédé est encore employé en Suisse.

La disposition générale est semblable à celle des moulins à pilons, avec cette différence que le battage s'effectue au moyen de marteaux analogues à ceux dont on fait usage pour l'affinage du fer. Ces marteaux pèsent environ 50^t et frappent 85 coups par minute ; la hauteur de levée est de 0^m,46. Chaque batterie comprend 5 marteaux ; la charge ordinaire d'un mortier varie de 6 à 7^t. La durée du battage, correspondant au niveau moyen des eaux, est d'environ 6 heures.

III. PAR LES MEULES.

On ne sait pas exactement à quelle époque fut introduit le procédé des meules. Il était connu dès 1540, car Biringuccio rapporte que les moulins à poudre, établis sur le modèle des moulins à olives, avaient peu de faveur à cause du peu de sécurité qu'ils offraient. Malgré cet inconvénient, les meules ne tardèrent pas à se répandre en Allemagne, en Angleterre et en Italie. En Suède, d'après Miethen, la première usine de ce genre fut construite en 1684 par Cnutberg. C'est en France que les meules pénétrèrent en dernier lieu : en 1754, sur la proposition du P. Ferry, une usine à meules fut installée à la poudrière d'Essonne.

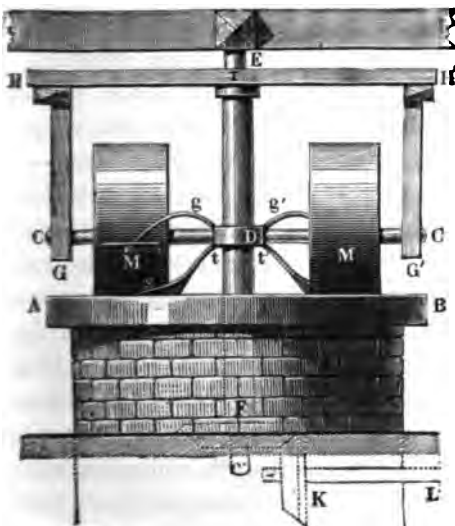
A. Appareils.

Nous décrirons d'abord un type général d'usine à meules; d'après les anciennes installations; puis nous insisterons spécialement sur les dispositions actuellement adoptées en France et dans quelques autres pays.

a) Description générale.

Sur une table horizontale en pierre AB se meuvent deux cy-

Fig. 26.



lindres verticaux M, M (fig. 26), qui sont assujettis, au moyen de l'arbre horizontal CC, à l'arbre vertical EF, situé au milieu de la table et mis en mouvement par le système d'engrenages LKF entièrement placé dans le sous-sol. Ce système d'engrenages donne à l'arbre EF et, par l'intermédiaire du châssis GHG'H', à l'arbre CC un mouvement de rotation autour de EF, dans lequel sont entraînées les meules, mobiles elles-mê-

mes autour de CC. Les cylindres doivent être peu éloignés de l'axe EF, afin que le cercle moyen qu'ils décrivent ait une courbure suffisamment prononcée. Par suite de cette disposition, les meules possèdent un double mouvement de roulement et de glissement sur la piste : à chaque instant, la génératrice de contact qui, dans le cas du simple roulement, resterait parallèle à elle-même, est obligée de s'incliner, de façon à venir passer constamment par l'axe vertical du mécanisme; c'est cette inclinaison qui produit le glissement, d'où résulte un effet d'écrasement et de broyage extrêmement avantageux pour la trituration et l'incorporation des substances. En général, les meules sont à inégale distance de l'axe vertical, de sorte que la matière qui se trouverait rejetée vers l'intérieur en se dérobant à l'action de la meule extérieure serait triturée par la meule intérieure, et inversement : de cette manière, la piste n'est jamais dénudée. — Les repoussoirs *s*, fixés à l'anneau D par les bras *t*, *t'*, détachent la matière adhérente à la piste et la ramènent sous les meules, grâce à leur forme en soc de charrue. De même, les grattoirs horizontaux *r*, assujettis aux bras *g*, *g'*, râclent la matière adhérente aux cylindres. A un instant déterminé de la trituration, la poudre a une tendance à se mettre en grumeaux et à se coller aux meules; la piste est donc mise à nu par endroits, et du choc de la meule sur la piste peut naître une étincelle : de là résulte un danger sérieux d'explosion, surtout avec des meules en marbre, qui contiennent toujours des grains de sable. C'est pour éviter de semblables explosions que Munk imagina les grattoirs (1816).

Les dimensions, la forme, la matière et, par suite, le poids des meules varient suivant les pays. Le diamètre est toujours compris entre 1^m,20 et 2^m,60, l'épaisseur entre 0^m,30 et 0^m,50. — La forme est ordinairement celle d'un cylindre. On avait autrefois, à la poudrerie royale de Dresde, des meules de forme lenticulaire, et l'on trouve encore aujourd'hui, en Prusse, des meules sphériques. Cette dernière forme, proposée par Bottée et Riffault, a l'avantage d'éviter tout frottement dangereux résultant du glissement de la meule et d'exercer une pression uniforme sur toute l'étendue de la matière; mais le mouvement de glissement sur la piste est précisément ce qui constitue la puissance de trituration et d'incorporation des meules cylindriques. — La matière des meules est, le plus souvent, du calcaire fétide, exploité dans les environs de Namur, du marbre, de la fonte ou du bronze. En 1756, la poudrerie d'Essonne avait des meules

en bois; en Chine, les meules sont en pierre et la piste en cuivre. Les meules en marbre ou en calcaire présentent, sur les meules métalliques, l'avantage de s'user plus régulièrement, mais elles ont l'inconvénient de se détériorer davantage en cas d'explosion, et surtout d'absorber l'eau avec une grande facilité, ce qui oblige à augmenter la proportion des eaux d'arrosage. — Le poids des meules est aussi très-variable. A la poudrerie de Dresde, on n'a employé, jusqu'en 1874, que des meules pesant 150^k, tandis que les poids que l'on rencontre le plus fréquemment aujourd'hui varient de 2 500 à 5 000^k; les meules françaises actuelles pèsent de 3 000 à 5 500^k.

La force motrice est fournie soit par un manège, soit par une roue hydraulique, soit par une machine à vapeur. — Le cheval est attelé au système LKF ou au prolongement de l'arbre horizontal des meules. On peut aussi, comme en Suède, fixer à l'axe EF une poutre inclinée vers le sol, sur laquelle on fait tirer le cheval. A Wetteren, on avait autrefois installé un système de quatre poutres, dont deux partaient de l'extrémité de la traverse qui repose sur l'arbre vertical, les deux autres étant reliées à l'arbre des meules, et qui concouraient au point où l'on voulait enharnacher le cheval. Le rayon du cercle décrit doit être au minimum de 4^m, et peut être porté à 5 ou 6^m; sinon, le cheval est gêné dans ses mouvements et sa force moins bien utilisée. — Si l'usine marche par l'eau ou par la vapeur, l'arbre de couche porte une roue d'engrenage qui communique le mouvement à l'arbre vertical des meules.

Le bâtiment élevé au-dessus des meules est le plus souvent en bois et de construction légère. Les murs latéraux et le toit sont pourvus de clapets qui, en cas d'explosion, s'ouvrent vers l'extérieur par la pression même des gaz, ce qui tend à diminuer les dégâts. La porte s'ouvre également de l'intérieur vers l'extérieur. Dans le cas d'une construction en maçonnerie, on établit trois murs forts, de 0^m,80 à 1^m,00 d'épaisseur, avec une toiture et une devanture légères, permettant de diriger l'explosion; la toiture, recouverte de serge, est à 0^m,50 ou 0^m,60 en contre-bas des murs latéraux; quant à la devanture, elle est en planches de sapin et vitrée à partir d'une certaine hauteur. Dans les anciennes usines, l'entrée était sur le devant. A la poudrerie de Sévran, où plusieurs usines à meules se trouvent juxtaposées, la porte est pratiquée dans le mur de fond, en face d'un masque qui règne parallèlement à ce mur; cette dernière disposition aurait, en cas d'explosion, l'inconvénient de rendre possible l'ir-

ruption des gaz d'un compartiment dans le compartiment voisin : à ce point de vue, il semblerait préférable, pour deux usines réunies, de ménager les portes d'entrée dans les deux murs forts latéraux. La devanture doit, autant que possible, regarder sur un emplacement non fréquenté et abrité par des arbres. Enfin, des merlons disposés latéralement sont destinés à parer aux suites d'une explosion. — On a adopté, à la poudrerie de Cambridge, une disposition, en partie reproduite à la poudrerie de Sévran, ayant pour but d'inonder les meules en cas d'explosion. Au-dessus de la piste se trouve un récipient rempli d'eau, dont le fond est fermé par des clapets : ces clapets s'ouvrent au moyen d'un système de leviers, se composant de deux barres de fer réunies par une articulation, et cet effet se produit par l'action des gaz sur des cloches en tôle fixées aux extrémités des barres de fer. Ce dispositif a été attribué à tort à Munk (1819), car, dès le siècle précédent, on trouve une installation analogue dans l'Île-de-France. A Sévran, le plateau qui reçoit l'action des gaz et qui, en basculant, détermine la chute en avant du réservoir et, par suite, l'inondation de la piste, est fixé à un arbre en fer autour duquel il peut tourner et auquel sont assujettis les plateaux des usines contiguës : on assure ainsi l'inondation de tout un groupe d'usines, dans le cas où l'une d'elles ferait explosion.

b) Meules françaises.

En France, les meules sont en fonte et pèsent de 5 000 à 3 500^k ; elles ont la forme de cylindres à bords arrondis (Pl. III, fig. 5 et 6), de 1^m,50 de diamètre sur 0^m,47 de largeur, et présentent sur les deux bases un évidement dont la profondeur varie de 0^m,040 à 0^m,042 ; on doit employer, pour la matière des meules, de la fonte grise, ne se piquant pas, aussi dure et aussi résistante que possible. Le mécanisme comporte deux meules traversées par un arbre horizontal en fer forgé, de 0^m,120 de diamètre sur 2^m,54 de longueur totale, et symétriques par rapport à l'arbre vertical qui communique au système le mouvement du moteur. Ce dernier arbre, qui est également en fer et dont la longueur, dans le cas d'une transmission inférieure, est de 4^m,71, porte, à la hauteur des centres des meules, un renflement prismatique percé d'une ouverture à section rectangulaire, dont les parois verticales sont garnies de deux plaques de bronze parfaitement dressées et dans laquelle s'engage, à frottement doux, une boîte en bronze qui sert de gaine à l'arbre horizontal. Grâce à cette dis-

position, les meules possèdent un certain jeu dans le sens vertical, et peuvent se soulever avec leur arbre pour peser de tout leur poids sur la matière à triturer.

Les meules tournent sur une piste horizontale, formée par un bassin circulaire en fonte grise, peu cassante et à grains serrés, qui ne doit ni s'user trop rapidement, ni se piquer trop facilement, ni se polir outre mesure. Ce bassin a 2^m de diamètre extérieur et 0^m,05 à 0^m,09 d'épaisseur; il est muni d'un rebord incliné à 45° et d'une saillie centrale, ayant 0^m,76 de diamètre sur 0^m,04 de hauteur et percée d'un trou pour le passage de l'arbre vertical, dans le cas d'une transmission inférieure, ou simplement creusée pour recevoir la crapaudine qui le supporte, dans le cas d'une transmission supérieure; la largeur de la piste proprement dite est ainsi de 0^m,62. Le bassin porte, à la partie inférieure, 4 ou 5 nervures venues de fonte, qui servent à l'encastrier dans un massif solide en maçonnerie, et 4 oreilles saillantes, également venues de fonte, destinées à en faciliter le travail et le maniement.

Au centre de chaque meule et sur les deux faces se trouve une saillie formant moyeu : l'arbre horizontal en fer traverse librement la fonte et ne s'appuie que sur deux bagues en bronze de 0^m,16 de longueur, placées aux extrémités des moyeux et fixées par deux clés en fer. L'écartement des meules est maintenu par un système de rondelles en bronze et en acier : les unes, à l'intérieur, vont jusqu'à l'arbre central et empêchent le rapprochement; les autres, à l'extérieur, sont arrêtées par une clef en fer traversant l'arbre horizontal et s'opposent à l'écartement. La clef employée pour cet arrêt est à coin : un boulon fixé sur l'arbre permet de maintenir la clef dans la position convenable et de modifier cette position pour parer à l'usure des rondelles. Dans chaque groupe, les rondelles sont au nombre de trois : une d'elles, en bronze, tourne avec la meule, entraînée par une saillie des clefs en fer qui servent à caler la bague; une autre rondelle, également en bronze, reste fixe sur l'arbre horizontal, maintenue par la clef à coin qui entre dans une rainure pratiquée vers l'extérieur (la rondelle correspondante, située de l'autre côté de la meule, peut tourner autour de l'arbre). Ces deux rondelles sont séparées par une rondelle d'acier complètement libre, sur les faces de laquelle s'opère le glissement; pour éviter son contact avec l'arbre, on interpose un anneau de bronze conservé sur l'une des rondelles voisines. Le graissage des parties frottantes est facilité par

des rainures convenablement disposées; des bassines en cuivre, portées par l'essieu ou par l'arbre vertical, sont suspendues au-dessous des moyeux et des rondelles de serrage, pour recueillir les gouttes d'huile qui pourraient tomber sur la piste.

Les repousseurs, les grattoirs et l'appareil d'arrosage sont portés par un système de moises ou d'armatures, composé de deux pièces de fer fixées sur l'arbre vertical, l'une à la partie inférieure, l'autre un peu au-dessus de l'œil dans lequel passe l'arbre horizontal. Chaque moise comprend deux parties en fer carré, formant collier autour de l'arbre vertical et réunies entre elles, de chaque côté, par des boulons; elle est calée sur l'arbre de telle façon, que la face verticale la plus éloignée de la meule derrière laquelle elle est placée fasse avec l'axe de l'essieu un angle de 66° .

Les repousseurs, en bronze, sont généralement au nombre de deux, l'un à l'extérieur de la piste, l'autre à l'intérieur, chaque meule n'étant suivie que par un seul. Dans le repousseur extérieur, la surface destinée à ramener la matière sur la piste est gauche : la génératrice, inclinée à une extrémité suivant une des génératrices du tronc de cône qui forme le rebord du bassin, se relève progressivement et devient verticale à l'autre extrémité. Le repousseur intérieur a pour surface d'action un cylindre à génératrices verticales : il s'appuie par la base sur la surface extérieure de la saillie circulaire centrale du bassin. La hauteur des surfaces d'action est de $0^{\text{m}},11$; la longueur de l'arête rectiligne du repousseur extérieur qui repose sur le bassin est de $0^{\text{m}},45$, et celle de l'arête circulaire développée du repousseur intérieur est de $0^{\text{m}},47$ environ. Ces appareils sont entraînés dans le mouvement des meules par des tiges verticales en fer méplat, qui appuient par leur poids sur les repousseurs en pénétrant dans une boîte en bronze ménagée à cet effet, et dont les extrémités supérieures s'engagent à travers des ouvertures pratiquées dans des bras horizontaux fixés aux moises : cette disposition permet de soulever les repousseurs de $0^{\text{m}},12$ à $0^{\text{m}},15$ au-dessus du bassin et de les maintenir soulevés à l'aide de chevilles, précaution indispensable pour l'opération du galetage et pour le nettoyage de la piste. — L'emploi de 4 repousseurs peut donner lieu à des coincements de matière entre les deux appareils placés l'un en face de l'autre, et, par suite, à la dénudation de la piste. Les repousseurs se composaient autrefois de parties articulées comme des lames de ciseaux, de sorte qu'on pouvait à volonté augmenter ou diminuer

leur effet et arriver à compenser exactement la tendance de la matière à s'échapper de la piste : cette précaution était superflue, et l'on a pu sans inconvénients réduire la construction des repoussoirs au type simple actuellement adopté.

Les grattoirs sont des couteaux en bronze, dont le tranchant est parallèle aux génératrices de la surface cylindrique des meules et appliqué à une très-petite distance de cette surface. Ils sont suspendus, de chaque côté de la meule, à des tiges fixées sur des colliers qui embrassent les moyeux, et portent, en outre, une queue massive pouvant tourner autour d'un tourillon assujéti à la moise inférieure; ce dispositif a pour but d'éviter les ruptures qui pourraient résulter des déplacements verticaux des meules. Les tiges de suspension sont formées de deux pièces filetées en sens inverse et réunies par un écrou en bronze, qui permet d'augmenter ou de diminuer le jeu laissé entre le tranchant du couteau et la surface de la meule.

L'appareil d'arrosage se compose d'un tube percé de petits trous, porté par une des moises inférieures et qui reçoit l'eau en pression d'un réservoir fixé à la moise supérieure ou disposé autour de l'arbre vertical; un robinet permet d'interrompre ou de rétablir à volonté l'arrivée de l'eau. Le réservoir peut être muni d'un flotteur relié à une aiguille mobile sur un tableau et destiné à indiquer les quantités d'eau dépensées; on peut également y verser, pour chaque arrosage, l'eau à répandre sur la poudre. Toutes les mesures servant à l'arrosage des meules sont en caoutchouc durci.

Les transmissions peuvent être supérieures ou inférieures; ce dernier mode de montage, qui est d'une exécution relativement coûteuse et quelquefois difficile, est préférable au point de vue de la sécurité. Dans les deux cas, l'arbre vertical repose, à sa partie inférieure, sur une crapaudine, et les surfaces du pivot sont deux grains en acier complètement baignés dans l'huile; son extrémité supérieure est reliée à une forte charpente en fer ou en bois au moyen d'un bottard système Mauzaise, qui assure le graissage sans permettre l'écoulement de l'huile le long de l'arbre vertical. Pour prévenir la chute de tout corps étranger sur la piste, on tend une toile au-dessous de la toiture; dans le cas des transmissions supérieures, un bassin circulaire sert également à recevoir les débris provenant de la couronne de la roue horizontale montée sur l'arbre vertical.

— En dehors de la transmission ordinaire, qui permet de donner

aux meules une vitesse normale de 10 tours par minute. la plupart des mécanismes français sont aujourd'hui pourvus de dispositifs spéciaux permettant de faire faire aux meules $1/2$ tour en 8 ou 10 minutes, pour l'opération du galetage.

Les frais d'installation pour une paire de meules, non compris les transmissions, s'élèvent à 12 000^{fr} environ. — On se servait autrefois, en France, de meules en pierre ou en marbre pesant 2 500^{kg} : ces appareils ne donnaient pas une densité suffisante à la matière de la poudre, qui devait être ensuite galetée à la presse hydraulique ou au laminoir.

La plupart des meules actuellement employées en Allemagne sont établies sur le modèle français.

c) **Meules russes, belges et anglaises.**

Les meules russes se rapportent, en général, à trois types principaux : les meules légères en bronze ou en fonte de 3 200^{kg}, et les meules lourdes en fonte de 4 800^{kg}. Les repousseurs sont remplacés par de simples balais; le déchargement s'effectue par une ouverture pratiquée sur le rebord de la piste et fermée pendant la marche par une vanne en bronze. La vitesse varie de 2,5 à 2,7 tours par minute. pour les meules légères, et de 4 à 5 tours, pour les meules lourdes.

Les meules de la poudrerie de Wetteren sont en pierre dure polie, pèsent de 5 000 à 5 500^{kg} et ne font que 3 à 4 tours par minute. Elles ont un diamètre de 2^m,60 et une épaisseur de 0^m,30; elles se meuvent à des distances inégales de l'arbre vertical, qui sont respectivement de 0^m,67 et de 0^m,93 pour les centres des deux meules. Cette disposition, jointe à la lenteur de la marche, permet de supprimer les grattoirs et de les remplacer par un système de deux plans inclinés en bois, portés par l'arbre vertical et destinés à empêcher les projections de matière hors de la piste.

Les Anglais ont des meules en fonte et des meules en pierre cerclées en fonte, à l'aide de coins en bois qui donnent un serrage très-énergique; elles mesurent de 1^m,50 à 2^m,00 de diamètre, avec une largeur variant de 0^m,30 à 0^m,50. Les meules lourdes pèsent de 4 500 à 5 000^{kg}. — Toutes les meules sont à inégale distance de l'axe; l'excentricité est égale à la moitié de l'épaisseur du cylindre. La vitesse varie de 7 à 9 tours par minute. Les grattoirs sont supprimés; les repousseurs sont en bois nu ou garni de cuir. Les trans-

missions sont tantôt supérieures, tantôt inférieures; dans ce dernier cas, l'arbre vertical n'est pas guidé et s'arrête à l'essieu des meules.

B. Travail des meules.

a) Humidité des matières.

La double action de pulvérisation et d'incorporation des composants est favorisée par l'addition d'eau pendant le travail des meules : cette eau dissout, en effet, une certaine quantité de salpêtre, en raison même de l'échauffement qui se produit, et le dépose peu à peu par l'évaporation sous forme de particules ténues mélangées au reste de la matière. Toutefois, comme le fait remarquer E. Faucher, une partie de l'eau ajoutée se vaporise à l'air, et cette vaporisation s'accroît par le mouvement de l'air qui résulte du déplacement des meules; une autre partie entre immédiatement en vapeur au contact de la piste échauffée.

Le nombre et la nature des arrosages ne paraissent pas exercer d'influence appréciable sur la qualité des produits, pour une même humidité au déchargement. Au début de la fabrication des meules, à Esquerdès, les arrosages étaient continus, avec un faible débit; aujourd'hui, ils sont en général intermittents et séparés d'heure en heure. On avait constaté qu'en été, une charge de 20^t de composition de chasse à 2,5 p. 100 d'humidité, arrosée d'une manière continue, recevait en 5 heures de 16 à 18^t d'eau, soit 80 à 90 p. 100; on se contente actuellement de verser, en moyenne, 1^t d'eau au début et à peu près la même quantité d'heure en heure : il en résulte que la dépense d'eau est d'autant plus forte, pour une même durée de la trituration, que les arrosages sont plus fréquents.

L'humidité de la matière à triturer ne doit être ni trop faible, car la masse se dissiperait en poussière ou serait exposée à des déplacements dangereux, ni trop forte, car la charge glisserait devant les meules et échapperait à leur action. Quant à l'humidité de la galette au moment du déchargement, elle doit être aussi faible que possible, sans toutefois dépasser une certaine limite, ce qui pourrait diminuer le rendement au grenage; elle varie de 2 à 5 p. 100. Plus la poudre est sèche, à égalité d'eau dépensée pendant la trituration, plus l'intimité du mélange se conservera pendant les opérations ultérieures : les évaporations provoquées par le broyage des matières ne peuvent, en

effet, que détruire l'homogénéité de la masse; on a donc intérêt à en diminuer l'importance.

b) Vitesse des meules et durée de la trituration.

La valeur de la trituration augmente, toutes choses égales d'ailleurs, avec le poids des meules; mais il ne semble pas qu'il suffise, pour qu'elle reste constante, que chaque centimètre carré de la circonférence moyenne de la piste supporte le même poids pendant le même temps. La vitesse de la rotation qui correspond au meilleur mode de trituration des matières paraît varier, pour les meules lourdes, de 7 à 11 tours par minute. Il résulte d'expériences anglaises que, d'une manière générale, une rotation rapide et de courte durée est préférable à une rotation lente et plus prolongée, et que l'accroissement du nombre de tours supplée difficilement au manque de vitesse.

La durée de la trituration exerce également une influence sensible sur l'intimité du mélange: elle augmente la force de la poudre, mais elle paraît n'avoir qu'une action assez faible sur la vitesse de combustion de la galette. Enfin, elle est en relation directe avec l'échauffement des matières et de l'appareil et avec la densité des produits obtenus.

D'après les expériences exécutées par E. Faucher à Esquerdes (1840), la différence de température entre les matières soumises à l'action des meules et l'air ambiant augmente avec la durée de la trituration et la vitesse de l'appareil; elle varie avec le poids et la nature de la charge, le mode d'arrosage des matières, l'installation de l'usine et le moment de la journée où se fait l'observation, minimum le matin, puis régulièrement croissante jusqu'au soir, résultat qui s'explique par l'échauffement des mécanismes. Cette différence reste comprise entre 15° et 30° pour du poussier trituré à 8 tours par minute pendant 1/2 heure, sans arrosage continu, entre 26°,25 et 33°,75 pour des compositions triturées à la vitesse de 10 tours pendant 1^h 1/4 à 3^h 1/4, l'arrosoir restant ouvert à la demande des matières. Suivant E. Faucher, le travail des pilons ne produit, pendant une trituration de 3 à 7 heures, qu'un échauffement de 20° à 22°,50 au-dessus de la température extérieure.

Quant à la densité de la matière, elle varie, avec la durée de la trituration, suivant une loi qui paraît dépendre essentiellement du poids des meules employées et de l'humidité de la charge. D'après

Piobert, en triturant les matières sous des meules lourdes, avec 2 à 2,5 pour 100 d'humidité, et en ralentissant la marche vers la fin de l'opération, on obtient des densités de galettes de 1,500 au bout de 1^{re}, de 1,800 au bout de 3^{es}, de 1,850 au bout de 4^{es}, et de 1,980 au bout de 10^{es}. Des expériences faites à Spandau, sans doute avec des meules très-légères (cf. p. 219), ont, au contraire, donné les résultats suivants :

DURÉE de la trituration.		DENSITÉ RÉELLE de la matière.
h.	min.	
1	48	1,63
2	20	1,42
3	24	1,36
7	12	1,36
9	36	1,30

Enfin, des expériences récemment exécutées à la poudrerie de Sévran semblent avoir montré que, si l'on opère avec des meules lourdes, la densité de la matière commence par diminuer plus ou moins rapidement, suivant l'humidité et le poids spécifique moyen de la charge, jusqu'à un minimum à partir duquel elle va sans cesse en croissant : ce minimum paraît correspondre à une durée de trituration variant de 1/2^e à 1^{re}, pour une humidité comprise entre 2 et 3 p. 100. Voici un exemple des nombres obtenus avec des compositions de poudre F₁ triturées sans galetage :

DURÉE de la trituration.	HUMIDITÉ de la matière au déchargement.	DENSITÉ RÉELLE DE LA MATIÈRE	
		humide.	supposée sèche.
heures.	p. 100.		
1	2,32	1,527	1,492
2	2,50	1,501	1,463
3	2,50	1,565	1,526
4	2,90	1,599	1,552

Ces derniers résultats n'ont rien qui doive surprendre, si l'on remarque que la densité du salpêtre en neige est de 2,1 à 0^e, celle

du soufre raffiné de 2,087 à 0°, et celle du charbon distillé, en bâtons non encore refroidis, de 0,300 environ. D'après A. D. Vergnaud, la mise en galette de ces trois matières, triturées isolément sous des meules pesantes avec une durée d'opération pouvant aller jusqu'à 4^h, fait varier la densité du salpêtre de 1,500 à 1,990, celle du soufre de 0,660 à 1,320, et celle du charbon de 1,270 à 1,320; les densités du salpêtre et du soufre n'augmentent plus et celle du charbon n'augmente que très-peu par une trituration de 6^h. Il faut donc admettre, au début de la trituration des deux premières substances, l'existence d'une période de pulvérisation correspondant à une diminution brusque de la densité initiale, et qui doit nécessairement précéder la période d'incorporation proprement dite. En général, le travail des meules donnera lieu à la production d'une densité minimum de la charge toutes les fois que les matières n'auront préalablement subi qu'une pulvérisation incomplète. — Les densités du salpêtre, du soufre et du ternaire de poudre, non galletés, paraissent diminuer constamment avec la durée de trituration dans les tonnes; celle du charbon seule augmente d'une manière continue (p. 239). Enfin, une trituration de 12^h dans les mortiers à pilons équivaut, pour chacun des trois composants, à une trituration de 1^h à peine sous les meules, et l'on n'augmente pas la densité finale en prolongeant l'opération jusqu'à 24 et même 36^h.

De ces divers résultats on peut conclure, avec A. D. Vergnaud, que, plus la trituration de la poudre est complète, plus le charbon acquiert et moins les deux autres éléments perdent de la densité; en sorte que la faible densité d'une poudre est l'indice d'une trituration imparfaite, qui n'a pas permis au mélange d'arriver au poids spécifique indiqué par celui de ses composants.

c) Travail consommé par les meules.

Il résulte de l'ensemble des expériences de E. Faucher (1840) que le travail consommé par les meules varie avec la vitesse de l'appareil, la durée de la trituration et le poids de la charge.

Le tableau ci-dessous résume quelques-uns des résultats obtenus en faisant varier à la fois la vitesse des meules, la durée de la trituration et la nature de la charge :

MATIÈRES tritorées.	DURÉE de la trituration.	NOMBRE DE TOURS des meules par minute.	TRAVAIL UTILE TOTAL sur l'arbre de la roue.
	h. min.		kilogrammèt.
Poussiers.	0 30	7,50	409,48
	0 30	8,00	429,80
	1 30	8,90	436,22
	2	8,90	491,47
	2	9,37	460,06
	0 30	9,84	482,48
Poudre.	1	10,00	530,85
	0 10	10,00	469,73
	6 15	10,72	501,55
	4 15	10,80	544,75

E. Faucher conclut que, si le travail utile paraît, dans les conditions habituelles du travail des meules de 5 750^l, rester compris entre 6 et 6,50 chevaux, il ne faut pas moins pouvoir porter le travail disponible à 7 et même à 8 chevaux, pour faire face aux résistances variables de la poudre pendant l'opération, ainsi qu'à la mise en mouvement.

Une seconde série d'essais, exécutés en suivant une même composition pendant toute la durée de l'opération et en calculant par une formule particulière la résistance propre des meules, semble avoir indiqué que cette résistance diminue rapidement à mesure que la trituration du charbon s'opère, pour augmenter ensuite et converger vers une valeur moyenne sensiblement uniforme, lorsque la galette commence à se lier.

Enfin, une dernière série d'expériences, destinées à mettre en évidence l'influence du poids de la charge, a donné les résultats suivants, obtenus avec du binaire soufre-charbon :

CHARGE.	NOMBRE DE TOURS des meules par minute.	TRAVAIL UTILE TOTAL sur l'arbre de la roue.
kilogr.		kilogrammèt.
	6,123	248,88
10	10,000	300,05
	12,000	463,81
	6,061	296,08
20	8,571	468,70
	10,811	522,81
	6,593	443,41
30	9,302	582,17
	6,452	537,50

Ces divers résultats se trouvent confirmés par des expériences plus récentes, exécutées à la poudrerie de Metz (1864) et qui ont permis d'évaluer séparément la portion du travail consommé correspondant à la marche des mécanismes, comme le montre le tableau ci-dessous :

NOMBRE DE TOURS des meules par minute.	TRAVAIL UTILE TOTAL sur l'arbre de la turbine.	
	Meules chargées.	Meules sans matières.
12	7,84	0,83
11	7,00	»
10	7,20	0,56
9	6,40	»
8	5,48	0,42
7	4,98	»
6	4,17	0,27

C. Opérations.

La matière (cf. I, b) était étendue régulièrement sur la piste et triturée d'abord à sec; elle était ensuite arrosée avec 2 p. 100 d'eau, opération qu'on renouvelait chaque fois que la surface de la poudre

devenait poussiéreuse. L'eau devait être répandue uniformément sur toute la masse, soit à la main, soit au moyen d'un appareil d'arrosage spécial. On avait soin de ne pas trop humecter la matière; sinon, la couche de poudre glissait devant la meule, et l'on n'obtenait qu'un mélange imparfait des trois substances.

La quantité d'eau d'arrosage, qui était en moyenne de 7 p. 100 environ, dépendait, non-seulement de l'humidité de l'air atmosphérique, mais aussi de la matière même des meules : on sait, en effet, que les meules en pierre sont hygrométriques et peuvent, par suite, rendre à la couche de poudre une partie de l'eau qu'elles ont absorbée.

Dès que la trituration et le mélange étaient terminés, ce que l'ouvrier reconnaissait à l'apparence de la matière, on diminuait la vitesse des meules, qui tournaient sur la masse pendant un certain temps avec une faible vitesse et lui donnaient du corps. Pour que la galette ainsi formée pût être ramenée à un degré d'humidité déterminé au moment du déchargement et acquérir une densité convenable, et surtout pour opérer dans des conditions de sécurité suffisantes, on faisait varier les charges de 20 à 30^k, suivant les dimensions de l'appareil.

Les meules qui marchaient par l'eau faisaient de 8 à 10 tours par minute; celles qui étaient mues par des chevaux n'en faisaient que la moitié.

§ II.

TRITURATION.

En procédant à la trituration, au mélange et au galetage en une seule opération, on eut de nombreux accidents, surtout au début des manipulations, par suite de l'inflammation du charbon; en outre, le charbon et le soufre en bâtons étaient assez mal triturés, ce qui diminuait l'inflammabilité de la poudre. On ne tarda pas à abandonner cette méthode, et l'on chercha à triturer séparément les substances, avant de les mélanger et de les galeter.

I. PAR LES PILONS.

Il est difficile de préciser la date de l'introduction de cette méthode. On sait seulement que Desparcieux proposa, en 1763, de triturer séparément les matières premières dans des moulins à pilons; mais ce n'est qu'en 1794 que cette idée reçut en France son application. Vers cette époque, d'après Chaptal, il sautait chaque année à peu près une usine à pilons sur six.

Pour le salpêtre, on avait à distinguer les deux cas où il était livré fondu ou en neige. Dans le premier cas, on le triturerait dans les mortiers, puis on le faisait passer à travers un tamis en fils de laiton; dans le second, il n'y avait pas de trituration particulière à lui faire subir.

Le soufre était battu jusqu'à ce qu'il fût réduit en poudre très-fine, puis passé à travers un tamis à mailles très-serrées ou dans un blutoir spécial, dont le mouvement était produit soit directement par l'eau, soit à l'aide d'une commande particulière qui le faisait marcher en même temps que le moulin; en général, le blutoir était recouvert de soie très-fine.

La charge de charbon à triturer pour chaque mortier était égale à celle qui correspondait à la charge finale de poudre qu'il devait contenir; cette dernière charge était, en France, de 10^l. On arrosait le charbon avec un poids d'eau un peu moindre que le sien, et l'on donnait de 800 à 1 200 coups. L'opération durait de 20 à 30 minutes.

[II. PAR LES MEULES.

Ce procédé fut introduit en 1787 par Cossigny dans l'île-de-France.

Le mode d'opérations diffère un peu suivant les pays. En Allemagne et en Belgique, le salpêtre et le soufre sont triturés séparément; on y ajoute ensuite le charbon en gros morceaux. — Dans quelques moulins anglais, on triture le soufre sous une paire de meules, le charbon et le salpêtre sous une autre; à Waltham-Abbey, le salpêtre, le soufre et le charbon sont triturés séparément sous des meules en fer roulant sur des pistes également en fer. Les matières déchargées sont portées, soit à la main, soit par une noria, dans un blutoir ou cylindre garni d'une toile métallique et mû par le mécanisme de la trituration. — En Russie, le charbon seul est trituré sous les meules,

puis mélangé au soufre dans les proportions du dosage et trituré dans des tonnes en tôle (p. 240). — Enfin, dans les Indes orientales, les meules sont horizontales et les matières tombent dans une caisse placée en dessous, où elles sont tamisées.

III. PAR LES TONNES.

Le procédé des tonnes, dit *procédé révolutionnaire*, fut indiqué en 1791 par Carny et amélioré en quelques points par Chaptal. C'est à cette époque qu'il fut introduit en France, les pilons et les meules ne pouvant plus suffire aux besoins du moment; mais il fut presque entièrement abandonné en 1795, et ne reprit faveur qu'en 1822. Aujourd'hui, les matières de toutes les poudres françaises subissent des triturations préalables, simples ou binaires, dans les tonnes; cette méthode a également pris une assez grande extension en Allemagne, surtout depuis ces derniers temps.

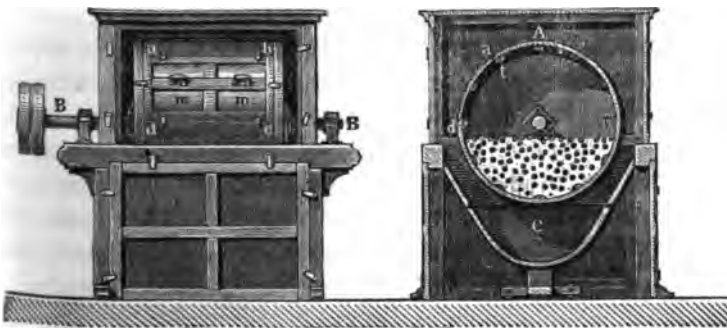
A. Appareils.

a) Anciennes tonnes en bois et en cuir.

Les fig. 27 et 28 représentent l'installation d'une tonne de trituration au commencement de ce siècle.

Fig. 27.

Fig. 28.



La tonne A, montée sur l'arbre horizontal BB, mesure 1^m,14 de diamètre sur 1^m,40 de longueur. Elle est en bois de chêne ou en cuir fort, tendu sur une carcasse cylindrique en bois; dans le premier

cas, la surface intérieure est recouverte d'une enveloppe en cuir, sur laquelle sont fixées 12 baguettes *t, t*, faisant une saillie de 0",02. La surface extérieure de ces baguettes se raccorde avec la paroi intérieure de la tonne, de façon que la matière ne puisse pas se loger dans les angles et se dérober ainsi à l'action des gobilles que l'on introduira avec les substances à triturer.

Le chargement et le déchargement se font par une ouverture, fermée par une porte en bois *abcd* au moyen de vis en bronze ou d'une simple bride. Au moment du déchargement, cette porte est remplacée par un châssis garni d'un tamis en fils de laiton, ayant 14 mailles au centimètre carré et destiné à ne laisser passer que les matières triturées, en retenant les gobilles.

Les gobilles sont en bronze; leur diamètre varie de 4 à 13^{mm}. Pour en prévenir l'usure, on choisit un bronze suffisamment dur, dont la composition est, en général, de 75 p. 100 de cuivre et 25 p. 100 d'étain.

La tonne est entourée extérieurement d'une charpente en toile cirée, afin d'arrêter le poussier qui se dégage au moment du déchargement des substances dans la caisse en fer C, qu'on retire à la main et dont on enlève la matière au moyen de récipients spéciaux.

b) Tonnes allemandes en bois et en cuir.

Les tonnes de trituration des poudreries de Spandau et de Dresde ont un diamètre d'environ 2^m,20 et une longueur de 1^m,63. Celles de Spandau sont en bois de chêne et recouvertes de cuir sur leur pourtour intérieur; celles de Dresde n'ont pas d'enveloppe en bois et ne conservent que des panneaux en cuir, qui sont assujettis aux saillies longitudinales au moyen de vis en bronze. Cette dernière disposition permet de voir de l'extérieur les réparations devenues nécessaires, sans être obligé de pénétrer dans la tonne, et ces réparations s'exécutent très-simplement en dévissant le panneau endommagé et le remplaçant par un neuf; dans le premier dispositif, on rencontre beaucoup plus de difficultés. D'un autre côté, le cuir reposant sur du bois offre une résistance bien plus grande et s'use moins vite que s'il est seul exposé à l'action des gobilles; le revêtement présente en outre cet avantage, que le déchirement du cuir n'a pas d'inconvénient immédiat.

Au-dessous de la tonne se trouve une manche en toile, évasée en forme d'entonnoir, qui amène les matières dans une maie au moment du déchargement; aux abords de la maie, la toile est rem-

placée par de la bonne peau de chamois. Sur la maie est appliqué un couvercle portant en son milieu un trou à travers lequel passe la manche, et garni de peau de mouton sur les bords inférieurs, afin d'assurer une fermeture hermétique.

c) Tonnes françaises en cuir.

On se sert, en France, de tonnes en cuir à deux compartiments, avec carcasse en bois, ayant 1^m,30 de diamètre sur 1^m,20 de longueur. (Cf. p. 247 et Pl. III, fig. 3 et 4.) Les fonds et la cloison centrale séparatrice sont en bois. Le pourtour intérieur est également muni de 12 saillies longitudinales semi-cylindriques, ayant 0^m,08 de diamètre et espacées de 0^m,20 d'axe en axe. Les portes pleines en bois ont 0^m,45 de long sur 0^m,15 de large. Les portes grillées sont garnies de deux toiles métalliques superposées : l'une, intérieure, dont les mailles ont de 7 à 8^{mm} d'ouverture, est destinée à recevoir le choc des gobilles ; l'autre, extérieure, dont les mailles ont 3^{mm},5 d'ouverture, donne passage aux matières triturées. Ces portes sont maintenues par 4 boulons, engagés dans des traverses mobiles et serrés par des écrous ; les joints sont garnis de peau de mouton.

Les gobilles sont en bronze ou en bois dur. Ces dernières ont de 20 à 60^{mm} de diamètre ; les premières ont de 5 à 7^{mm} et triturent mieux, mais présentent plus de danger. Les gobilles en bronze neuves ont à la surface un peu de sable provenant des moules où elles ont été coulées : on les fait tourner seules dans les tonnes pour les user et les nettoyer.

Pour décharger, on remplace les portes pleines par les portes grillées et l'on diminue un peu de vitesse, en ayant soin de fermer complètement la cage en bois qui entoure la tonne. La matière est conduite par des trémies dans des barils ou dans des étouffoirs, qui se déplacent sur des chariots à roues en bronze ou en bois et dont les couvercles sont garnis de peau de mouton ; puis on la porte au tamisage.

Le tamisage des matières triturées, à la perçe de 0^{mm},65 à 1^{mm}, se fait le plus souvent à bras au moyen de l'appareil dit signolet, qui se compose de trois tamis montés sur le même châssis et pouvant tourner à l'aide de manivelles autour de deux pivots fixes. Dans quelques poudreries, on procède à un tamisage mécanique : la trémie double placée au-dessous de la tonne de trituration est coupée par un ou deux tamis, animés d'un mouvement d'oscillation horizontal ou vertical au moyen d'un mécanisme très-simple.

En Danemark, on se sert également de tonnes en cuir à deux compartiments, ayant 1^m,24 de longueur.

d) Tonnes françaises en fer.

En France, on emploie également, outre les tonnes doubles en cuir qui précèdent, des tonnes simples en tôle de fer (Pl. III, *fig. 1 et 2*), ayant 1^m,15 de diamètre sur 1^m,20 à 1^m,50 de longueur. Les panneaux se composent de 3 ou 4 feuilles de tôle de 2^{mm},5 d'épaisseur, tandis que les fonds ont une épaisseur de 3^{mm} à 3^{mm},5. Leur pourtour intérieur porte 7 saillies semi-cylindriques en bois sec, de 0^m,10 de diamètre, recouvertes d'une enveloppe en tôle de 2^{mm},5. Les deux portes, pleine et grillée, sont en tôle avec garniture en bois et mesurent 0^m,80 de long sur 0^m,35 de large; elles sont maintenues en place par des boulons à charnière, et les joints sont garnis de peau de mouton ou de caoutchouc vulcanisé. — Les gobilles sont en bronze et ont, en général, 10 à 15^{mm} de diamètre. — La tonne est entourée d'une cage en fer ou en bois; le tamisage se fait à bras ou mécaniquement.

En Russie, on a adopté, pour la trituration du soufre et du charbon, des tonnes en tôle à deux compartiments, ayant 1^m,50 de longueur sur 1^m,40 de diamètre.

e) Appareils italiens.

A la poudrerie de Fossano, le charbon est d'abord trituré dans un concasseur formé d'un cylindre en fonte à saillies hélicoïdales, faisant 45 tours par minute et exactement emboîté dans une auge en acier, dont le fond, percé de trous, laisse passer la matière triturée; le soufre est pulvérisé dans un broyeur formé de deux cylindres lisses de même diamètre, appliqués l'un contre l'autre par un contre-poids et faisant respectivement 21 et 27 tours par minute. Le salpêtre est employé en neige; le soufre est tamisé mécaniquement. Les mélanges binaires sont ensuite triturés dans des tonnes en tôle ayant 1^m,10 de diamètre sur 1^m,25 de longueur, et dont l'arbre est muni d'un compteur.

f) Appareil de Champy.

On a fait usage, en France, il y a plusieurs années, pour la trituration séparée du soufre et du charbon, d'un appareil décrit par Champy

et dont le fonctionnement était le suivant. On trituroit le soufre ou le charbon dans un cylindre en fer vertical, muni de nervures, qui tournait autour de son axe à l'intérieur d'un cylindre creux, également muni de nervures. La matière était ainsi grossièrement pulvérisée, et renvoyée à la partie inférieure du cylindre, à travers un tube recourbé, dans une tonne en bois horizontale contenant des gobilles et animée d'un mouvement de rotation. Un fort courant d'air produit par un ventilateur passait à travers l'arbre creux de la tonne et emportait la poussière dans une chambre latérale, où elle se déposait sur des toiles. On trituroit ainsi 500^k de soufre en 12 heures. Ce procédé de pulvérisation par ventilation n'en a pas moins été abandonné.

B. Opérations.

a) En France.

En France, on ne procède à des triturations séparées du soufre et du charbon que pour les poudres de guerre. Cette méthode a été abandonnée pour les poudres de chasse et le sera peut-être bientôt pour toutes les poudres. Dans tous les cas, le salpêtre est préalablement tamisé à bras à la perçe de 1^{mm}.

Pour les poudres de guerre, les triturations séparées du soufre et du charbon, qui sont jusqu'ici les seules réglementaires, se font dans des tonnes en cuir, à la vitesse de 20 à 22 tours par minute; l'opération dure 2 heures pour les poudres des meules, et 1 heure pour les poudres des pilons. Les matières sont ensuite tamisées à bras ou mécaniquement sur une toile métallique à la perçe de 0^{mm},65 à 1^{mm}. Le charbon employé est du charbon noir de bourdaine au rendement de 28 à 32 p. 100. Les chargements respectifs sont les suivants :

Tonne soufre : 30^k de soufre avec 60^k de gobilles en bronze de 7^{mm} de diamètre.
 Tonne charbon : 15 de charbon avec 30 — — — — —

On peut également opérer des triturations binaires, analogues à celles des poudres de chasse: les gobilles ont 10 à 15^{mm} de diamètre, et l'opération dure environ 6^h.

Pour les poudres de chasse, on fait des triturations binaires de salpêtre et charbon, soufre et charbon, dans des tonnes en fer ou en cuir et avec des gobilles en bronze de 7 à 15^{mm} de diamètre, à la vitesse de 20 à 25 tours par minute. La durée de l'opération, qui est

en général de 5 à 6 heures pour chaque binaire, peut être réduite à 3 et même à 2 heures, sans nuire à la qualité de la poudre. Le tamisage se fait généralement à la perce de 0^{mm},65. Le charbon employé est du charbon roux de bourdaine au rendement de 38 à 45 p. 100. On peut composer les chargements dans les proportions suivantes, calculées de telle sorte que 3 tonnes du premier binaire et 4 du second donnent 450^k de matières pour les meules :

Binaire salpêtre :	117 ^k de salpêtre et 7 ^k ,500 de charbon avec 150 ^k de gobilles;
Binaire soufre :	45 de soufre et 31 ,500 — 150 —

Le charbon est commun aux deux binaires parce que sa trituration est plus difficile que celle du salpêtre ou du soufre, et qu'en outre il est moins dense et occupe un plus grand volume que les deux autres substances. — Les tonnes en cuir sont quelquefois préférées aux tonnes en fer, à cause des graviers qui peuvent être pulvérisés dans ces dernières et se retrouver ensuite sous les meules; mais les premières tonnes présentent le grave inconvénient de se détériorer avec une grande rapidité. — Le poids des gobilles introduites dans chaque tonne ne doit pas dépasser 1 fois 1/2 le poids des matières, pour le binaire salpêtre, et 2 fois ce même poids, pour le binaire soufre. Si, dans le binaire salpêtre, le poids du charbon dépassait notablement 1/15 du poids du salpêtre, on s'exposerait à une explosion; s'il était, au contraire, sensiblement inférieur à ce dernier poids, la trituration se ferait mal. Quant au binaire soufre, il est sujet à l'inflammation spontanée et doit être conservé dans des étouffoirs à fermeture hermétique. Le charbon ne doit être employé que 4 jours au plus tôt après sa production. Enfin, il ne faut jamais faire successivement dans la même tonne deux binaires différents.

Pour les poudres de mine, on procède également à des triturations binaires, dans des tonnes en fer et avec des gobilles en bronze de 10 à 15^{mm} de diamètre, à la vitesse de 20 à 28 tours par minute. La durée de l'opération est de 4 heures pour le binaire salpêtre et de 6 à 7 heures pour le binaire soufre. Il n'y a pas de tamisage des matières triturées, lorsque le ternaire n'est pas destiné à passer sous les meules. Le charbon employé est du charbon noir de bois blancs au rendement de 33 à 36 p. 100. Les chargements réglementaires sont les suivants :

Binaire salpêtre :	93 ^k de salpêtre et 6 ^k de charbon avec 120 ^k de gobilles;
Binaire soufre :	50 de soufre et 35 — 120 —

On a été conduit à augmenter le chargement des tonnes de binaire salpêtre, qu'on a porté jusqu'à 155^l de salpêtre et 40^l de charbon.

b) En Allemagne.

En Allemagne, on triture séparément le charbon, et ensemble le soufre et le salpêtre.

Pour la trituration du charbon, on introduit dans une tonne en cuir 90^l de gobilles en bronze de 13^{mm} de diamètre, et l'on y verse 3 étouffoirs contenant 60^l de charbon. A Dresde, ce charbon provient uniquement du bois de bourdaine, tandis qu'à Spandau les charbons de bourdaine et de saule sont mélangés dans le rapport de 3 à 2. On ferme la cage en bois et l'on donne à la tonne une vitesse de 10 tours par minute. Au bout de 1 heure 1/2 (900 tours), on arrête la tonne, on place la porte grillée et l'on remet en marche lentement, jusqu'à ce que tout le charbon trituré soit tombé dans la maie en fer. La matière est ensuite versée dans des tines de 16^l. — L'usure des gobilles en bronze est de 90^g environ pour 50^l de charbon trituré. Tous les mois, les gobilles sont tamisées à la perce normale, puis repesées : on complète le poids réglementaire par une quantité suffisante de gobilles neuves. — La densité gravimétrique du charbon augmente continuellement pendant la trituration, comme le montrent les expériences suivantes, exécutées en France :

DURÉE de la trituration.	DENSITÉ gravimétrique.
heures. 2	0,220
4	0,243
6	0,280
8	0,282
10	0,294
12	0,296

Le soufre et le salpêtre sont triturés ensemble, parce qu'on a remarqué que le soufre trituré seul empâte la tonne et s'enflamme assez facilement. Le soufre, rendu friable par le raffinage, est concassé avec des marteaux en bois. On opère la trituration sur 40^l de soufre et 40^l de salpêtre avec 100^l de gobilles en bronze, à

la vitesse de 10 tours par minute, pendant 2 heures (1 200 tours).
— L'usure des gobilles est d'environ 500^{gr} par mois.

c) **En Autriche, en Danemark, en Russie et en Italie.**

Dans les deux premiers pays, le procédé de trituration des matières premières est le suivant. On triture environ 20^k de charbon dans des tonnes en cuir pendant 12 heures, avec 150^k de gobilles en bronze de 4^{mm} de diamètre, à la vitesse de 28 à 30 tours par minute; puis on ajoute un poids de soufre déterminé par le dosage de la poudre (en général moins de 20^k), et l'on procède de même à la trituration du soufre et au mélange des deux matières. — Le salpêtre fondu doit être pulvérisé isolément. En Autriche, la trituration de 50^k de salpêtre, avec 75^k de gobilles en bronze pesant chacune 8^{gr},3, exige 30 000 tours de tonne, à raison de 30 tours par minute. En Danemark, le salpêtre est trituré pendant 7 heures avec une vitesse de 18 à 20 tours par minute.

En Russie, le charbon, préalablement pulvérisé sous les meules, est mélangé au soufre dans la proportion de 52^k,50 à 35^k, avec 80^k de gobilles de 7 à 12^{mm}, trituré dans des tonnes en tôle à la vitesse de 20 tours par minute, et soumis à un tamisage.

En Italie, on obtient, en 10 heures, 2 800^k de charbon pulvérisé au concasseur et 700^k de soufre au broyeur. Le binaire salpêtre (150^k de salpêtre et 15^k de charbon, avec 200^k de gobilles de 7 à 13^{mm}) est trituré pendant 6 heures à la vitesse de 19 à 20 tours par minute (6 000 tours); on exige 12 000 tours pour le binaire soufre (40^k de soufre et 30^k de charbon, avec 200^k de gobilles). Pour les deux binaires, le charbon est chargé 1/4 d'heure avant le salpêtre ou le soufre.

§ III.

MÉLANGE ET GALETAGE EN UNE SEULE OPÉRATION.

I. PAR LES PILONS.

a) **En France.**

Autrefois, le charbon était trituré seul sous les pilons pendant 1/2 heure, à la charge de 1^k,250, avec un arrosage de 1^k,500 d'eau; puis on ajoutait le soufre et le salpêtre. Depuis une dizaine d'années,

le charbon et le soufre sont triturés séparément pendant 1 heure dans des tonnes en cuir (p. 237), le salpêtre est tamisé à la main, et le mélange des matières se fait à l'atelier de composition, dans des boisseaux contenant 10^l de poudre (7^l,500 de salpêtre pour 1^l,250 de soufre et 1^l,250 de charbon), en ajoutant quelquefois 2 p. 100 de charbon en plus, pour tenir compte de l'humidité qu'il renferme.

On verse un boisseau dans chaque mortier, on arrose les matières de 1^l,500 d'eau, et on les touille soit à la main, soit avec un morceau de bois. On nettoie avec soin le pourtour du mortier, on met en place le couvercle, dont l'ouverture centrale donne passage à la tige du pilon, et l'on fait tomber le pilon sur la matière. On ne donne d'abord, pendant 10 minutes environ, qu'une vitesse de 30 à 40 coups par minute, puis on arrive progressivement à la vitesse normale de 55 à 60 coups; on ferme alors toutes les issues, pour éviter les coups de vent qui pourraient enlever des particules de matière imparfaitement mélangées. — Au bout d'un quart d'heure environ, on regarde si le pilon bat à nu au fond du mortier; cette circonstance pourrait se produire si la poudre était trop humide, car, dans ce cas, elle cracherait et irait se coller aux parois. D'un autre côté, la matière ne doit pas être trop sèche, car elle se répandrait en poussière et le pilon n'agirait plus que sur une couche de faible épaisseur restée au fond du mortier. Il faut arriver à former une pâte que le choc du pilon repousse contre les parois, mais qui tende à en redescendre peu à peu pour se replacer sous le pilon.

Quelque parfaites que soient les dispositions de la poire du pilon et du mortier, il se forme toujours, au fond du mortier et à l'extrémité de la poire, une couche adhérente de matière qui, par un battage prolongé, durcit au point de provoquer des explosions: c'est pour cette raison que l'on fait, d'heure en heure, des *rechanges* ou transvasements de matière d'un mortier dans un autre. Pour cela, on arrête la roue, on soulève les pilons et l'on met dans un boisseau la matière du premier mortier, en ayant soin de briser les grumeaux à la main et d'enlever tout ce qui adhère aux parois au moyen d'une sorte de pelle ou main en cuivre. Ce mortier vidé, on y porte de la même manière la matière du second, et ainsi de suite de proche en proche, jusqu'à ce qu'on arrive au dernier, où l'on met la matière du premier. Pour accélérer l'opération, dans un moulin à deux rangées de 10 pilons, deux ouvriers travaillent simultanément à chaque rangée, en partant du premier et du sixième mortier.

On fait ainsi des rechanges toutes les heures, en ayant soin de maintenir la matière à 8 ou 10 p. 100 d'eau. Sur ce dernier point, on ne peut donner d'instructions précises, à cause des variations de la température et de l'état hygrométrique de l'atmosphère; mais les arrosages doivent toujours se faire par petites quantités. L'ouvrier manipule les matières à la main, le plus souvent dans deux mortiers contigus à la fois, et va se laver les mains dans un seau spécial, dont l'eau sert pour les arrosages ultérieurs. Pour enlever la croûte qui se forme rapidement à l'extrémité de la poire en bronze, à la fin de chaque semaine on laisse tremper celle-ci, pendant une nuit entière, dans un boisseau plein d'eau, et l'on détache ensuite la matière au moyen de la main en cuivre.

La durée totale du battage est de 11 heures. Comme on veut retirer la matière à l'état de culot ou de galette dure, on ne fait pas de rechanges entre les deux dernières heures.

Les poussières sont battus 3 heures, avec un seul rechange au bout de la première heure, et maintenus à 11 p. 100 d'eau.

La durée du battage, qui était de 24^h avant 1769, se maintint à 14^h jusqu'à la Révolution, et fut bientôt réduite à 12 et même à 3^h (1802). En 1807, on revint au travail de 14^h, qui fut abandonné de nouveau (1819) pour celui de 11^h. A l'époque de la guerre de Crimée, les matières des pilons n'étaient plus battues que 9^h; les poussières étaient repassés pendant 1^h.

b) En Allemagne, en Autriche et en Danemark.

Dans les anciens moulins allemands, le charbon était trituré sous les pilons (p. 232); puis on ajoutait le salpêtre et le soufre, préalablement pulvérisés et tamisés, et conservés dans des cuves spéciales. Le touillage se faisait à la main, avec une quantité d'eau qui variait de 16 à 20 p. 100, en y comprenant celle dont on avait arrosé le charbon. La vitesse normale était de 55 à 60 coups par minute; le battage durait de 14 à 36 heures. On procédait au premier rechange après 2000 coups, et les rechanges consécutifs se succédaient tous les 4000 coups. — Le procédé actuel ne diffère de l'ancienne méthode que par le mode de pulvérisation des composants, qui sont triturés dans des tonnes en cuir (p. 239). La durée du battage est fixée à 36 heures, et la proportion d'humidité de la charge doit rester comprise entre 4 et 9 p. 100.

En Autriche, la charge d'un mortier (p. 240) est de 25^h pour les pi-

lons dits allemands, où chaque mortier contient trois pilons; elle n'est que de 8^h,4 pour les pilons Neusohler ordinaires, et de 6^h,6 pour les pilons Neusohler petit modèle. Les durées de battage sont les suivantes :

	Pilons allemands.	Pilons Neusohler.
Poudres de chasse ou de carabine.	60 ^h	31 ^h à 33 ^h
Poudres de guerre.	48	24 à 44
Poudres de mine.	36	16 à 30

En Danemark, chaque mortier reçoit 5^h de matière (p. 240), et le touillage se fait avec 10 à 12 p. 100 d'eau, suivant la température. On bat pendant 1 heure à la vitesse de 18 coups par minute, on fait un rechange et l'on marche pendant 35 heures à la vitesse de 24 à 36 coups par minute, en faisant 2 ou 3 nouveaux rechanges et maintenant l'humidité de la matière à 12 p. 100 environ.

II. PAR LES MEULES.

Ce procédé présente une grande analogie avec celui qui se rapporte à la trituration, au mélange et au galetage en une seule opération (p. 230). Le point le plus longtemps discuté consistait à savoir s'il y aurait avantage à porter directement sur la piste les matières triturées ou à les mélanger préalablement deux à deux dans les tonnes. D'après des expériences hollandaises, cette dernière méthode paraît préférable à tous les points de vue : de là, l'extension que prennent chaque jour les triturations binaires.

Nous indiquerons les principales prescriptions qui concernent l'incorporation et le galetage sous les meules de diverses poudres françaises : les poudres de chasse, les poudres à fusil ancienne et nouvelle (B et F₁), et les poudres à canon (MC₃₀ et MC₁₆) employées à la fabrication des rondelles de Reffye. Ces prescriptions ne sont réglementaires que pour les poudres de guerre.

a) Poudres de chasse (France).

Les matières, après avoir subi des triturations binaires dans des tonnes en fer ou en cuir et un tamisage à la perçe de 0^m,65 (p. 237), sont mélangées dans des boisseaux à raison de 20 ou 25^h par boisseau; chaque charge est arrosée de 7,5 p. 100 d'eau, touillée à l'aide d'un morceau de bois et abandonnée pendant 5 ou 6^h environ, afin

que l'humidité se répartisse également dans la masse. On la porte ensuite sur la piste, où on l'étend en couche régulière. On met en marche, d'abord à la vitesse de 3 ou 4 tours par minute, puis à la vitesse normale de 10 tours, et l'on arrose de 1^a d'eau au départ des meules. On répète d'heure en heure les arrosages de 1^a environ, en se réglant, autant que possible, sur l'aspect et la teinte de la matière : noire, grisâtre ou rousse et fumante, suivant la proportion d'eau qu'elle renferme, proportion qui ne doit jamais être inférieure à 2 p. 100. Ces quantités d'eau d'arrosage sont d'ailleurs variables suivant les saisons : elles restent comprises entre 0^a,6 et 0^a,7, pour le travail d'hiver, et, pour le travail d'été, entre 1^a,2 et 2^a.

Les durées de trituration, non compris le chargement, le galetage et le déchargement, sont de 1^a à 1^a 1/2 pour la chasse fine (second arrosage à 0^a,500 d'eau, pour la trituration de 1^a 1/2), de 2^a à 2^a 1/2 pour la chasse superfine, et de 5^a pour la chasse extrafine. La proportion d'humidité au moment du déchargement varie, en général, de 2 à 2,5 p. 100 pour la chasse extrafine, de 2,5 à 3 p. 100 pour la chasse superfine, et de 3 à 3,5 p. 100 pour la chasse fine. — Pour la poudre de chasse extrafine, on décharge quelquefois les matières au bout de 4^a de trituration, on les laisse essorer pendant 1 ou 2 jours, puis on les repasse sous les meules pendant 1^a. Ce mode d'opération présente l'avantage d'empêcher la matière de s'échauffer et de coller sur la piste.

A la vitesse normale, la région intérieure de la piste, soumise au mouvement de torsion, est composée en majeure partie de matière friables, auxquelles on donne de la cohésion par l'opération du galetage. On procédait autrefois au galetage en faisant faire aux meules un ou plusieurs tours avec une vitesse plus faible, qui était de 3 à 4 tours par minute environ; aujourd'hui, on les fait tourner de 1/2 tour en 8 ou 10 minutes, à l'aide d'une vis sans fin et d'une roue hélicoïdale ou de tout autre mécanisme actionnant un système d'engrenages qui transmet le mouvement à l'arbre des meules. Avec le galetage lent, la densité des produits s'est trouvée augmentée, et l'on a été amené, pour obtenir la même vitesse dans les armes, à diminuer en conséquence la grosseur des grains.

Les poussières sont repassés sous les meules pendant une 1/2 heure pour les trois espèces de poudre, avec un arrosage de 4 p. 100 d'eau environ, et déchargés à la même humidité que les matières neuves.

La partie dure, qui constitue la galette proprement dite, et le

mélange de poussier et de grains non agrégés, qui forme la pâte molle, sont déchargés dans des tines, placées sur de petits escabeaux en bois, qu'on emporte avant d'introduire dans l'usine la nouvelle charge. Après le concassage (p. 271), on extrait le bon grain de la pâte molle par un double tamisage à bras dans le châssis signolet, et on le mélange à celui qui provient du grenage de la galette.

Les portions de matière qui sont restées collées aux meules ou à la piste sont détachées sans choc au moyen d'un outil en bois ou en cuivre à lame effilée, ou, si elles adhèrent trop fortement, simplement humectées, pour qu'elles puissent se mélanger à la charge suivante. On laisse souvent aussi (surtout quand on ne fait pas de galetage) la portion de matière restée sous les meules pendant le déchargement; sinon, on fait reposer celles-ci sur un morceau de cuir de 6 à 7^{mm} d'épaisseur. Dans le cas des transmissions par courroies, il faut avoir soin de placer en avant des meules, pendant le déchargement, un frein ou sabot en bois, destiné à empêcher l'entraînement de l'appareil par la poulie folle. Enfin, il est essentiel de n'oublier aucun objet sur la piste : tous les outils doivent se trouver suspendus, au moment de la mise en marche, à un lambris en bois appliqué contre un des murs de l'usine.

Les matières déchargées sont portées dans un dépôt, où on les laisse essorer pendant 1 ou 2 jours avant de les concasser.

6) Poudres de guerre (France).

Pour l'ancienne poudre à fusil, dite B, les matières étaient soumises à des triturations isolées avec tamisage (p. 237), puis portées aux meules par charges de 20^l : au fond du boisseau on mettait le charbon et le soufre, et au-dessus le salpêtre. On touillait à 1^l,500 d'eau. — On triturait aux meules, à la vitesse de 10 tours par minute pendant 3 heures, chargement et déchargement compris, et l'on déchargeait à 3 ou 4 p. 100 d'humidité. On faisait un galetage rapide, qui durait 2 ou 3 minutes, à raison de 3 ou 4 tours par minute. — Tous les poussières étaient triturés 1/2 heure sous les meules et déchargés à 3 ou 4 p. 100 d'eau.

Pour la nouvelle poudre à fusil, dite F₁, on remplace quelquefois les triturations isolées par des triturations binaires (p. 237). — La charge de 20^l est passée aux meules pendant 2^h 1/2 à la vitesse de 10 tours par minute; l'humidité, qui était au départ de 8 à 10 p. 100, doit

être, à la fin de l'opération, de 2 à 3 p. 100. On fait le galetage lent de 1/2 tour en 10 minutes, en ayant soin de régulariser la couche de matière au moyen d'une jauge en bois, ayant 0^m,40 de largeur sur 0^m,01 de hauteur. — Les poussières verts de concassage et de grenage (p. 271) peuvent être soit repassés aux meules, soit galetés à la presse. Quant aux poussières secs d'époussetage et aux poussières verts de grenage des matières de la presse, ils sont arrosés de 0^m,600 d'eau par charge de 20^l et repassés sous les meules pendant 1/2 heure.

Pour la poudre à canon MC₁₀, on prépare les matières comme pour la poudre F₁. — La charge de 25^l est triturée 1/2 heure et déchargée à 5 ou 6 p. 100 d'eau; la matière, humide et peu dense, est analogue à celle des pilons. On opère le galetage en faisant faire aux meules 1/2 tour en 2 minutes. — Les poussières sont repassés pendant 15 minutes.

La poudre MC₁₁, aujourd'hui abandonnée, ne différait de la précédente que par la durée des triturations, qui était de 15 minutes pour les matières neuves et de 5 minutes pour les poussières.

§ IV.

MÉLANGE.

Avant d'aborder la description des procédés actuellement en usage pour le mélange et l'incorporation des matières triturées, nous indiquerons une ancienne méthode signalée par Simienowicz, dans son *Ars magna Artillerie*: cette méthode, connue des Kirghiz en 1649, fut introduite en Europe par Cossigny vers la fin du siècle dernier. Elle consistait à dissoudre dans l'eau le salpêtre fondu et à verser dans la liqueur le soufre et le charbon, pulvérisés et mélangés comme à l'ordinaire. On chauffait la masse en agitant, jusqu'à ce qu'elle ne contint plus que 15 p. 100 d'eau environ; puis on la laissait refroidir, ce qui lui faisait perdre encore 40 p. 100 d'eau, et on la portait sous les pilons ou sous les meules pour la galeter. On devait réaliser par là une grande économie de temps et de travail, éviter les dangers d'explosion et obtenir une poudre d'une conservation facile. D'après les expériences de Meyer, une pareille poudre ne doit sa stabilité très-réelle en présence de l'humidité qu'à sa densité, qui

est toujours très-faible; il serait également possible que cette propriété résultât du mode de fabrication en présence d'une quantité d'eau considérable et de l'évaporation ultérieure qui en est la conséquence. Au surplus, le salpêtre étant aujourd'hui livré à l'état de poussière fine, il n'y a plus avantage à en opérer la dissolution : aussi a-t-on complètement renoncé à ce procédé, qui présente l'inconvénient de donner des matières à la fois peu denses et peu homogènes.

Nous signalerons encore une description de Pline, où l'on peut trouver quelques analogies avec le procédé qui précède. Pline dit, en effet, à propos du nitre : « *Nitrariæ Ægypti circa Naucraticum et Memphim tantum solebant esse, circa Memphim deteriores : nam et lapidescit ibi in acervis multique sunt cumuli ea de causa saxei. Faciunt ex his vasa nec non frequenter liquatum cum sulphure coquentes in carbonibus quoque quos inveterari volunt illo nitro utuntur ; sunt ibi nitrariæ in quibus et rufum exit a colore terræ.* » Il est difficile de décider si ce passage se rapporte en quoi que ce soit à la poudre.

Le mélange et l'incorporation des matières par voie sèche se font aujourd'hui soit par les tonnes, soit par les meules, soit successivement par les deux genres d'appareils.

I. PAR LES TONNES.

a) En France.

La trituration ternaire dans les tonnes n'est employée, en France, que pour les poudres de mine.

Les tonnes ternaires (Pl. III, fig. 3 et 4) sont identiques aux tonnes en cuir que nous avons décrites au sujet de la trituration simple ou binaire des composants (p. 235), avec cette différence que l'arbre en fer, qui traverse la tonne et autour duquel elle tourne, est entièrement recouvert d'une enveloppe de bois entourée de cuir; le cuir, qui a 6 à 7^{mm} d'épaisseur, est recourbé dans les coins, pour éviter l'accumulation du poussier. En outre, le tamisage des matières mélangées est supprimé.

Chaque compartiment reçoit 40 à 50^t du mélange des deux binaires (p. 238), avec 60^t de gobilles en bronze de 5^{mm} de diamètre, ou mieux 20 à 30^t de gobilles en bois dur de 30 à 40^{mm}, qui présentent moins de danger. La vitesse varie de 20 à 25 tours par minute; elle est, en moyenne, de 20 à 22 tours. La durée totale de l'opération est de 1^h 1/2 à 2^h 1/2.

b) En Allemagne, en Suède, en Italie et au Bengale.

Dans les poudreries de Spandau et de Dresde, les tonnes de mélange ne se distinguent des tonnes de trituration (p. 234) qu'en ce qu'elles sont entièrement en cuir. — A Spandau, on verse dans chaque tonne 100^k de matière avec 150^k de gobilles en bronze de 6^m,54; les 100^k de matière se composent de 64^k de salpêtre, 20^k du binaire soufre-salpêtre et 16^k de charbon (p. 239). On met en marche à la vitesse de 10 tours par minute; l'opération dure 2^h 1/2 environ (1 440 tours). On décharge la matière dans 4 boisseaux de 25^k. L'usure des gobilles est de 8^k par mois, pour 10 000^k de matières mélangées.

Les tonnes de mélange suédoises ont environ 1^m de diamètre sur 1^m,40 à 1^m,55 de longueur. — Les tonnes de 1^m,40 reçoivent 60^k de matière avec 150^k de gobilles en bronze de 12^m, et font 27 tours par minute; celles de 1^m,55 reçoivent 100^k de matière avec 250^k de gobilles, et marchent à la vitesse de 29 tours. L'opération dure 10 heures. Le diamètre des gobilles ne doit pas, par le fait de l'usure, descendre au-dessous de 6^m.

En Italie, les tonnes ternaires sont en cuir et à deux compartiments. La charge d'une tonne est de 100^k de matière (82^k,50 de binaire salpêtre et 17^k,50 de binaire soufre, avec 120^k de gobilles de 5 à 7^m). La vitesse varie de 14 à 16 tours par minute, et la durée totale d'une opération est de 3 à 4^h (2 600 tours); 4 tonnes ternaires répondent à 6 tonnes binaires (p. 240).

Les tonnes de mélange du Bengale sont entièrement en bois; l'opération dure 3 heures (p. 233).

c) En Angleterre.

Les anciennes tonnes de mélange anglaises étaient en tôle et mesuraient environ 1^m de diamètre sur 1^m,33 de longueur. A l'intérieur de la tonne tournait, en sens inverse, un arbre horizontal muni de 5 larges bras en fer, ayant 0^m,50 de longueur, percés d'une série de gros trous et terminés par une fourche à trois pointes. La charge se composait de 100 parties de salpêtre pour 18 de charbon et 13,3 de soufre. Dès que la matière s'était élevée pour retomber d'une certaine hauteur, elle était rencontrée par les dents de la fourche, qui opéraient ainsi un mélange superficiel.

On se sert aujourd'hui de tonnes ayant environ 0^m,90 de diamètre sur 0^m,60 de longueur; l'arbre est octogonal et porte 5 palettes sur

chacune de ses faces. La tonne et l'arbre font chacun 40 tours par minute, et l'opération dure à peu près 5 minutes. On a également adopté un dispositif permettant de faire tourner l'arbre seul, tandis que la tonne reste immobile, ou inversement. La charge (p. 232) est de 22,5 (50 livres); les matières mélangées sont déchargées par une porte latérale et tombent dans un sac qui est envoyé aux meules.

Nous signalerons enfin, un dispositif ingénieux, proposé en 1849 par Congrève. Chacune des trois substances, pulvérisée séparément, était portée dans un entonnoir, dont l'ouverture inférieure, quadrangulaire, était fermée par une brosse dure cylindrique, tournant autour d'un arbre horizontal commun pour les trois brosses : chacune d'elles enlevait ainsi, suivant la hauteur à laquelle elle était fixée, une quantité déterminée de la substance placée dans l'entonnoir; celle-ci tombait sur une toile sans fin commune, roulant sur deux cylindres qui tournaient plus vite que les brosses. Le salpêtre, le soufre et le charbon s'étendaient sur la toile en couche très-mince, se mélangaient, et tombaient par leur propre poids, en arrivant au-dessus du second cylindre, dans un entonnoir qui était mis en communication avec l'intérieur d'une tonne. Cet entonnoir était disposé sur l'arbre de la tonne, maintenu droit au moyen de poids et fermé également par une brosse, dont la partie inférieure passait sur un tamis métallique à mailles très-serrées, d'où résultaient une trituration énergique et un mélange assez intime de la matière. La paroi intérieure de la tonne était garnie de baguettes ou de petites tiges qui se dressaient perpendiculairement à sa surface : la matière était ainsi rejetée à la partie supérieure, tombait dans l'entonnoir et subissait une nouvelle trituration. L'opération était terminée au bout de 1/4 d'heure : on vidait alors la tonne et l'on portait les matières à la presse.

II. PAR LES MEULES.

Le procédé d'incorporation sous les meules, sans galetage, est d'un usage général en Angleterre et dans les Indes orientales. Depuis quelques années, il est employé, en France, pour la fabrication des poudres à gros grains et, exceptionnellement, pour celle de la poudre de mine anguleuse et surtout de la poudre de mine fin grain.

a) En Angleterre et dans les Indes orientales.

En Angleterre, les matières (p. 248) sont étendues sous les meules par charges de 24 à 29^t; mais, comme la piste a une surface à peu près double de celle des meules françaises, la couche de matière est encore plus mince qu'en France. A Waltham-Abbey, la vitesse varie de 7,5 à 8 tours par minute et la durée de trituration de 2^h 1/2 à 5^h 1/2, suivant le poids des meules et la nature de la poudre, comme le montre le tableau suivant :

MEULES.		NATURE DE LA POUDRE.	VITESSE par minute.	DURÉE de la trituration.
Matière.	Poids.			
	tonnes		tours	heures
Fonte	4,5	Toutes les poudres, sauf LGA ₁ et rifle FG.	8,0	2 1/2
Pierre	3,5	Idem.	7,5	3 1/2
Fonte	4,5	Poudre LGA ₁	8,0	3 1/2
Fonte	4,5	Poudre rifle FG.	8,0	4
Pierre	3,5	Idem.	7,5	5 1/2

Dans les Indes orientales, les matières (p. 248) sont triturées d'abord sous des meules en bois, pendant 4^h, puis sous des meules en bronze de 3 500^t. On se contente de 100 tours pour une charge de 30^t, tandis qu'en Angleterre on exige une moyenne de 1 350 tours : il en résulte que la poudre des Indes est moins bonne et d'un transport plus difficile que la poudre anglaise.

b) En France.

Le procédé de travail sous les meules est le même pour toutes les poudres à gros grains dont la fabrication est aujourd'hui réglementée (C₁, C₂, SP₁, SP₂). Après les triturations simples ou binaires dans les tonnes (p. 237), la matière est triturée sous les meules pendant 2^h 1/2, chargement et déchargement compris, et retirée à 3 p. 100 d'humidité; puis les compositions neuves et les poussières sont mélangés dans le rapport du rendement, et la nouvelle charge de 20^t est repassée aux meules pendant 1/2 heure, pour être retirée à 3 ou 3,5 p. 100 d'humidité.

§ V.

GALETAGE.

On ne procède séparément au galetage des compositions que lorsque la trituration et le mélange ont été faits dans les tonnes ou sous les meules : les matières des pilons ne sont généralement pas galetées à la presse. Nous avons vu d'ailleurs (§ III) que, dans la fabrication des pilons et aussi dans celle des meules, le mélange et le galetage peuvent se faire en une seule opération.

Dans le cas où la matière sort directement des tonnes, elle doit être humectée avant d'aller à la presse. En Angleterre, où les compositions viennent des meules, et en France, pour les poudres à gros grains, on se contente de réduire la matière en morceaux assez fins par un grenage préalable ou concassage.

I. PRÉPARATION DE LA MATIÈRE A GALETES.

a) Appareils d'humectage (Italie et Allemagne).

En Italie, la matière ternaire sortant des tonnes (p. 248) et les poussières de la fabrication sont tamisés ensemble sur un tamis à la perce de 0^m,4, puis étendus par couches dans une maie pouvant contenir 450^l de matières. On arrose à deux reprises à 5 minutes d'intervalle, et l'on remue continuellement avec une main en bois ; la matière est ensuite passée à travers un tamis en toile métallique et laissée 12^h dans la maie. La quantité d'eau employée varie de 1,80 à 3,35 p. 100, suivant la saison et l'état hygrométrique de l'air.

A Spandau, l'appareil d'humectage se compose d'une table en chêne, ayant 2^m,17 de long sur 1^m de large environ, et munie d'un rebord qui empêche la matière de tomber. Au milieu de l'un des petits côtés est percée une ouverture qui traverse la table et par laquelle passe la matière humectée. Au-dessus de la table, à la hauteur du plafond, est disposé un vase cylindrique en verre ; une courroie en cuir, qui entoure le vase et passe sur deux poulies, permet de le faire descendre, quand on veut le remplir d'eau, et de le replacer ensuite dans sa position primitive. Le vase porte 10 divisions, et l'intervalle de deux divisions consécutives correspond à 0^l,500 d'eau. Du milieu du fond part un tube en cuivre, qui est

fermé à sa partie inférieure par une plaque percée de trous fins; un peu au-dessus se trouve un robinet qui permet d'arrêter l'arrivée de l'eau. On manipule la matière au moyen de minces baguettes en bois qui, sur une longueur de 0^m,30 environ, figurent un rectangle dont l'extrémité supérieure est percée d'un trou ayant la forme d'une demi-ellipse, pour qu'on puisse y passer les doigts. La poudre (p. 248) est étendue régulièrement sur la table, arrosée progressivement de 10 p. 100 d'eau (3 divisions pour une charge de 23^l) et touillée avec soin, pour que l'humidité se répartisse uniformément dans la masse; puis on la fait tomber dans des tines et on la porte aussitôt à la presse. — Ce procédé présente un inconvénient: l'ouvrier est obligé de regarder constamment au plafond pour s'assurer de la quantité d'eau qu'il laisse écouler. Mais, avec un peu d'habitude, cette précaution finit par devenir tout à fait superflue; au reste, un miroir convenablement disposé permet d'écarter aisément la difficulté.

A Dresde, le lieutenant inspecteur Rudowsky a construit un appareil d'humectage analogue à celui de la tonne de granulation due à Champy. Une petite pompe à main est divisée en deux compartiments, qui sont en communication par leur extrémité inférieure; au-dessus de l'un d'eux est fixée une toile destinée au filtrage de l'eau. L'eau filtrée passe dans le second compartiment, d'où elle est chassée, au moyen de la pompe, dans un tube en cuivre et, de là, dans un vase cylindrique également en cuivre. Dans ce vase se trouve un flotteur relié par un fil à un index, qui se meut devant un tableau où sont marquées des divisions correspondant à des quantités d'eau déterminées. Quand l'eau filtrée remplit le cylindre, le flotteur monte, et l'index descend jusqu'à ce qu'il arrive au zéro de la graduation. La distribution de l'eau se fait de la même manière qu'à Spandau, avec cette différence qu'on a dû, le cylindre n'étant plus mobile, remplacer sur une certaine longueur le tube de cuivre par un tuyau en caoutchouc. Cet appareil est breveté.

b) Appareils de concassage (France et Angleterre).

Le galetage à la presse est spécialement usité, en France, pour la fabrication des poudres à gros grains. Les compositions, retirées des meules (p. 250), sont d'abord grossièrement concassées au moyen de maillets en bois, puis grenées au grenoir mécanique ou au grenoir à cylindres (ch. II, § II) avec une seule toile métallique à la perce

de 2^m,5 pour les poudres C₁, C₂ et SP₁, et de 7^m pour la poudre SP₂. Le mélange de grains et de poussier est porté à la presse.

A Waltham-Abbey, la matière (p. 250) est concassée au moyen d'une machine à broyer (Pl. V, *fig. 1*), se composant de deux paires de cylindres superposées l'une à l'autre; chaque cylindre, qui a 0^m,48 de diamètre et 0^m,62 de longueur, porte sur toute sa surface de petites dents en forme de pyramides quadrangulaires, hautes de 6 à 7^m et engrenant entre elles, de manière à broyer les morceaux de matière qui s'engagent dans les intervalles. Les deux cylindres d'une même paire tournent en sens inverse, au moyen de roues d'engrenage en bronze, et sont pressés l'un contre l'autre par un levier à contre-poids. La matière triturée par la première paire tombe entre les cylindres de la seconde, où elle est grenée en poudre à canon (2^m,5). — Les matières à concasser sont versées sur une toile sans fin, qui passe sur deux grandes poulies et sur plusieurs rouleaux intermédiaires; la poulie supérieure se trouve au-dessus de la première paire de cylindres, de sorte que la toile inclinée, qui est animée d'un mouvement assez lent, reçoit la poudre à la partie inférieure et la porte jusqu'aux cylindres. Pour éviter le glissement de la matière, on a cousu sur la toile des courroies en cuir espacées de 0^m,016 environ. La matière tombe d'une trémie dont l'ouverture inférieure peut être fermée par un obturateur, de manière à ne donner à la toile que ce qui correspond au travail des cylindres. Les produits sont mélangés aux poussières de grenage et d'époussetage et portés à la presse.

II. GALETAGE A LA PRESSE.

Cette méthode était employée en Angleterre en 1784 : on ignore si elle y était connue antérieurement à cette époque.

Il existe trois sortes de presses : les presses à vis, les presses hydrauliques et les presses à cylindres ou laminoirs.

A. Presses à vis.

Les presses à vis sont aujourd'hui d'un usage rare. Deux montants verticaux relient au plateau de l'appareil un chapeau en fonte où est logé l'écrou; la vis porte une lanterne, où l'on embarre un levier que l'on meut d'abord à bras, puis au moyen d'un cabestan.

En Suède, le diamètre de la vis doit être d'au moins 0^m,106.

A la poudrerie anglaise de Dartford, on étend la poudre sur des plaques carrées en cuivre de 0^m,75 de côté, en couches de 0^m,05 à 0^m,06 d'épaisseur; la pression est transmise par l'intermédiaire d'un plateau en bois, que l'on place sur la colonne ainsi formée. On se règle sur la diminution totale de hauteur.

On opère, en général, sur 250^l de matière par pressée. Les galettes sont concassées au maillet et envoyées au grenoir.

B. Presses hydrauliques.

Une disposition généralement adoptée dans les grandes poudreries consiste à placer les pompes qui donnent la pression dans un bâtiment spécial, séparé de l'atelier par un massif en terre ou en maçonnerie. En Angleterre, nul ne doit entrer dans l'usine pendant le cours d'une opération.

a) Anciennes presses.

Autrefois, la masse de poudre à presser était introduite dans une caisse rectangulaire en bois doublée de plomb et renforcée par des frettes en cuivre. On se servait, pour le chargement, d'une série de plaques carrées en noyer, de 0^m,40 de côté et de 0^m,026 d'épaisseur, dont les bords étaient garnis de baguettes faisant une saillie de 10^{mm},5 à 12^{mm},7; les angles intérieurs de ces baguettes et les bords inférieurs des plaques étaient dressés avec soin, de manière que celles-ci pussent facilement s'emboîter les unes dans les autres. On commençait par recouvrir le fond de la caisse d'une plaque et d'une pièce de toile humectée; puis on y étendait une couche de poudre, qu'on recouvrait d'une seconde pièce de toile humectée, on ajoutait une nouvelle plaque de bois, et l'on continuait de même jusqu'à ce qu'on eût formé une colonne comprenant environ 25 couches de poudre. On portait le tout sur le plateau de la presse.

A Neisse, depuis 1812, les matières triturées étaient battues par petites portions dans des sacs en toile humides, puis portées à la presse par charges de 15 à 18^l, et réduites en galettes de 0^m,21 de côté sur 0^m,013 d'épaisseur. On se servait, pour cette opération, des grands balanciers provenant de l'ancien Hôtel des monnaies de Glatz.

b) Presses anglaises.

Le système actuellement employé à Waltham-Abbey (Pl. IV, *fig. 2*) se distingue principalement de l'ancien système par la suppression des toiles et par la substitution des plaques de cuivre aux plaques de bois. La presse est en partie enterrée dans le sol. La tête du piston, qui est carrée, a 0^m,90 de côté. Le chapeau est fixé à quatre colonnes en fonte et porte un bloc de bois, ayant de 0^m,60 à 0^m,70 de hauteur et dont la base, qui a 0^m,73 de côté, est égale à celle des plaques. Celles-ci sont disposées dans une caisse cubique ouverte en haut, dont les dimensions latérales sont supérieures de 0^m,01 à celles des plaques et dont les faces, mobiles autour de charnières en bronze et fermées au moyen de clavettes également en bronze, sont formées d'une lame de bronze enveloppée de deux lames de bois résistant. L'épaisseur des couches de poudre varie de 0^m,02 à 0^m,03, et celle des plaques de 1^m,5 à 2^m. Les pompes qui donnent la pression sont placées dans un bâtiment voisin; elles ont deux pistons de diamètres inégaux : pour les fortes pressions, on débraye le plus grand et l'on ne fait agir que le petit piston.

Le chargement s'effectue de deux manières différentes. On peut ouvrir la paroi antérieure de la caisse et placer contre les parois latérales deux peignes ou lames de bronze à rainures équidistantes, où l'on engage successivement les plaques de cuivre. On dispose d'abord la plaque du fond, et l'on arase la couche de poudre (p. 253) à la hauteur des premières rainures avec une lame de bois; puis on place la seconde plaque, et ainsi de suite. Le chargement une fois terminé, on retire les peignes au moyen de poignées et l'on referme la caisse, qu'on amène devant le piston sur un chariot et qu'on fait ensuite glisser sur le plateau de la presse. — Le second mode de chargement est plus expéditif, mais exige un outillage plus parfait. La caisse porte deux tourillons latéraux dont l'axe passe en dessous de son centre de gravité, de manière à permettre un mouvement de bascule; ces tourillons sont saisis par deux crochets suspendus par un palan à un chariot, qui roule sur des rails en bronze disposés à la partie supérieure de l'usine. Pour opérer le chargement, on soulève la caisse par ses tourillons et on la renverse sur la face postérieure, on bouche la face supérieure au moyen d'un couvercle mobile et l'on ouvre la face antérieure, qui se trouve alors en dessus. On met en place les peignes et les plaques, on verse la poudre dans les

compartiments ainsi formés, on la tasse en frappant contre les parois, on retire les peignes, on ferme la paroi antérieure, on redresse le système, on enlève le couvercle mobile et l'on amène la caisse sur le plateau en faisant rouler le chariot sur les rails.

La pression s'exerce par l'intermédiaire du billot de bois, qui pénètre dans la caisse à mesure que celle-ci monte. La durée de l'opération est de 20 minutes, y compris un arrêt de 5 minutes, pendant lequel on laisse en pression pour permettre à la matière de se tasser régulièrement. Quand la diminution réglementaire de hauteur est atteinte, un dé clic spécial agit sur une sonnette placée dans la chambre des pompes, et l'on ouvre le robinet d'échappement de l'eau pour faire descendre le piston et la caisse. Dans le premier système de chargement, on pousse la caisse sur le chariot, on ouvre la face antérieure et l'on retire les galettes une à une; dans le second, on soulève la caisse avec le palan, on l'éloigne du plateau, on fait basculer, on ouvre les trois faces mobiles et l'on décharge les galettes.

Pour la poudre à canon ordinaire et pour les poudres à gros grains, la pression sur le piston varie de 70 à 80 atmosphères; pour les poudres à fusil et pour les poudres de chasse, elle n'est que de 50 à 60 atmosphères. — D'après un acte du Parlement de 1860, on ne doit pas opérer sur plus de 508^l de matière à la fois : la charge d'une pressée est, le plus souvent, de 400^l environ. La diminution de hauteur de la colonne de poudre, déduction faite de l'épaisseur des plaques, est de 33 à 40 p. 100 de la hauteur primitive.

Les galettes sont concassées au maillet et portées au grenoir à cylindres.

On a cherché, en France, à appliquer le système de chargement anglais à des presses horizontales. Le mode d'opération est identique, avec cette différence qu'il faut produire une contre-pression sur le piston pour le ramener à son point d'origine.

Quel que soit l'appareil employé, les parois de la caisse ont toujours à supporter des pressions considérables, qui donnent naissance à des frottements dangereux; un autre inconvénient résulte de l'adhérence directe de la galette au métal des plaques. Aussi le procédé de galetage anglais est-il aujourd'hui complètement abandonné en France. — On peut éviter l'usage des toiles, sans danger sérieux, en remplaçant les plaques de cuivre par des plaques de zinc laminé, ou par des plaques de caoutchouc durci de 3^{mm} d'épaisseur.

c) Presses françaises.

Les presses verticales employées en France (Pl. IV, fig. 1) sont à deux ou à quatre tirants. Pour faire le chargement, on place une toile de chanvre ou de coton sur une plaque de cuivre de 1^m,5 à 2^m d'épaisseur : on y pose un cadre en bois, ayant 0^m,50 à 0^m,70 de côté avec une largeur de 0^m,03 environ et une hauteur variable, suivant l'épaisseur de la galette à obtenir; ce cadre est évasé à sa partie intérieure et inférieure, de manière à donner à la couche de poudre la forme d'un tronc de pyramide quadrangulaire. On y verse la matière (p. 252), on arase au moyen d'une réglette en bois, on enlève le cadre, on place une seconde toile, et l'on porte le tout sur la table du piston ou sur un chariot en bois, qui se meut sur des rails en bois ou en bronze et peut venir se placer, au moment du chargement et du déchargement, entre les montants de la presse et au-dessus de la table du piston.

La durée de l'opération varie de 30 à 40 minutes. On donne la pression lentement et à plusieurs reprises, afin d'arriver à une forte densité sans être obligé d'augmenter outre mesure la pression par centimètre carré, et aussi pour que celle-ci se répartisse uniformément sur toute la surface de la galette. Malgré cette précaution, la matière est toujours plus dense au centre que sur les bords, et il faut procéder à un ébarbage de la galette sur une largeur de 0^m,02 à 0^m,03. On opère sur 150 à 400^k de matières par pressée.

La pression varie de 25 à 30^k par centimètre carré de galette, suivant l'état hygrométrique de l'atmosphère, l'humidité de la matière, le degré de trituration qu'elle a subi et la densité finale à laquelle on veut arriver. Une matière est d'autant plus difficile à presser qu'elle est moins triturée et qu'elle possède moins d'humidité. En exerçant, avec un piston de 0^m,36 de diamètre, au moyen de plaques carrées de 0^m,50 de côté et sur une matière à 3 p. 100 d'humidité triturée sous les meules pendant 1 heure 1/2 à 2 heures, une pression de 50^k par centimètre carré, correspondant à 25^k environ par centimètre carré de galette, on obtient une densité moyenne de galette variant de 1,700 à 1,800. La pression est indiquée par des manomètres; on se règle souvent aussi sur la réduction de hauteur de la colonne de poudre.

Pour la poudre C₁, la hauteur des cadres est de 13^m; l'épaisseur des galettes doit être comprise entre 6 et 7^m, et leur densité, après dessiccation à 60°, entre 1,700 et 1,720. Pour la poudre SP₁, les ca-

dres ont 21^{mm} de hauteur, et les galettes de 9^{mm},5 à 10^{mm},5 d'épaisseur, avec une densité de 1,750 à 1,765. Enfin, pour la poudre SP, la hauteur des cadres varie de 24 à 25^{mm}, suivant l'humidité et la trituration de la matière, et les galettes, dont l'épaisseur moyenne est de 12^{mm},8, ont une densité comprise entre 1,765 et 1,785. La densité de galette de ces diverses poudres est, en général, inférieure de 0,035 à la densité finale des produits perfectionnés.

Nous avons vu (p. 246) qu'on peut repasser à la presse une partie des poussières de fabrication de la poudre F; ; on pourrait opérer de même pour les poudres de chasse. Enfin, le galetage du ternaire à la presse est employé, à titre exceptionnel, pour les poudres de mine anguleuse et fin grain et pour certaines poudres de commerce extérieur.

d) Presses italiennes.

On se sert, en Italie, de presses hydrauliques dont le piston a 0^m,50 de diamètre et le plateau 0^m,95 de long sur 0^m,65 de large. La pression exercée sur le piston, indiquée par un manomètre, est d'environ 100^k par centimètre carré. Les galettes sont séparées par des lames en cuivre de 2^{mm}, zinguées à la surface; on intercale, en outre, dans la pile deux ou trois plateaux en bois de 0^m,04 à 0^m,05 de hauteur. Chaque galette pressée a 0^m,90 de long et 0^m,60 de large sur 0^m,01 d'épaisseur, et pèse 8^g; le nombre des galettes varie de 58 à 60. — Après avoir terminé le chargement, qui dure 1^h environ, on presse la matière (p. 251) pendant 35 minutes, on laisse en pression pendant 5 minutes, on diminue un peu la pression pendant le même temps, et l'on presse de nouveau pendant 5 minutes; puis on procède au déchargement, qui dure 1/2 heure. La galette est divisée en deux parties égales et ébarbée de 1/14 de son poids; les barbes sont pulvérisées et arrosées de 1 p. 100 d'eau, puis regaletées à la presse. Une presse fait 1 300^k de galettes en 10^h.

On obtient, par ce procédé de galetage, une matière humide ayant 1,720 de densité. La différence des densités au centre et sur les bords d'une même galette ébarbée peut atteindre 0,040; pour des galettes placées à diverses hauteurs, la différence peut être de 0,050. En présence de ces résultats, le colonel Bosani a cherché à assurer l'identité des différentes pressées, considérées chacune dans son ensemble, en faisant varier la quantité d'eau d'arrosage avec l'état hygrométrique de l'air et avec les saisons; il a, à cet effet, construit la table suivante :

DIFFÉRENCE entre les deux thermomètres du psychromètre d'August.	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
	Quantité d'eau (Été.	1,80	2,00	2,20	2,35	2,45	2,55	2,65	2,75	2,85	2,95
p. 100 de matières. (Hiver.	2,10	2,30	2,50	2,65	2,75	2,85	2,95	3,05	3,15	3,25	3,35

En outre, une seconde table indique les pressions à donner suivant l'état hygrométrique de l'atmosphère. Enfin, une table dressée par le capitaine de Maria serait destinée à fournir la pression en fonction de la densité moyenne de la galette d'une pile, des indications du psychromètre, de la température de l'air ambiant et de celle de la matière dans les boisseaux.

c) Presses russes chauffées à la vapeur.

Reprenant une idée émise d'abord par le commandant français Colson, puis par le colonel de Saint-Robert, le colonel Wiener a cherché à fabriquer la poudre sans addition d'eau, en comprimant le ternaire sec à une température un peu supérieure à la température de fusion du soufre : ce dernier corps reste uniformément réparti dans la masse, qu'il incorpore, et des pressions relativement faibles donnent à la galette une consistance suffisante. En outre, la fabrication devient possible à toute époque de l'année, et l'on espère que les nouveaux produits seront d'une meilleure conservation que les poudres actuelles, qui s'altèrent souvent par le climat humide de certaines parties de la Russie.

L'appareil de compression est une presse hydraulique ordinaire, dont les mâchoires creuses sont traversées par un courant de vapeur à 120° : la matière (binaire soufre-charbon, mélangé à la main avec le salpêtre et battu 2¹/₂ dans les tonnes de Spandau) est disposée en deux ou trois couches au fond d'une caisse en bronze placée sur la mâchoire inférieure ; une saillie ménagée sur la mâchoire supérieure pénètre dans cette caisse pendant l'ascension du piston et comprime les galettes. La pression exercée est de 15 à 20^t par centimètre carré de galette pour les poudres de 1,600 à 1,650 de densité, et de 90 à 100^t pour les poudres de 1,850 à 1,900 de densité. La durée totale du chauffage et de la compression est d'environ 10 minutes. — La matière est ensuite grenée au grenoir à cylindres et lissée pendant 1/2 heure.

C. Laminoirs.

Les presses à cylindres ont pris naissance en France, où elles sont connues sous le nom de *laminoirs*. Elles ne se composaient autrefois que de deux cylindres : elles en comportent généralement trois aujourd'hui. Nous décrirons un type de laminoir allemand.

Les trois cylindres sont placés verticalement, l'un au-dessus de l'autre, dans un châssis qui supporte leurs axes horizontaux ; celui du milieu est en bois, les deux autres sont en bronze. Le cylindre inférieur est mû directement par un système d'engrenages, et transmet le mouvement par simple frottement au second cylindre qui le communique à son tour, par frottement, au cylindre supérieur, dit cylindre compresseur. Ce dernier est le plus lourd ; son axe porte une aiguille qui se meut sur un cadran divisé en 12 parties. Pour augmenter la pression exercée par ce cylindre, on a fixé à la toiture de l'atelier deux leviers à longs bras, tirés à leurs extrémités par un système de moufles, lequel est tendu par un petit levier chargé de poids et peut ainsi produire sur l'axe du cylindre compresseur une pression allant jusqu'à 30 000^l. Entre les deux cylindres supérieurs passe une forte toile sans fin, mise en mouvement par des poulies qu'on peut légèrement déplacer, de manière à lui donner une tension plus ou moins grande. Une caisse en bois, à fond incliné, placée devant les cylindres, est destinée à recevoir la matière à galetter : sa face postérieure est munie d'une coulisse qui permet l'écoulement de la poudre ; pour empêcher la matière de tomber latéralement, on garnit de crins les bords inférieurs de la caisse. Enfin, la pression étant moins forte sur les bords qu'au milieu, on a disposé, aux points de sortie de la galette, deux lames tranchantes destinées à faire l'ébarbage. — L'usine Freund, à Berlin, livre de pareils laminoirs au prix de 9 000 marcs ; le lieutenant Rudowsky en a récemment construit d'identiques pour 4 500 marcs (6 750^{fr}).

Les laminoirs fonctionnent, en Allemagne, de la manière suivante. On remplit la caisse de matière humectée (p. 251) et l'on soulève la coulisse de 0^m,03 environ ; il faut veiller à ce que la caisse de chargement reste constamment pleine. Dès que la galette sort de l'autre côté des cylindres, avec une épaisseur de 0^m,04 environ, elle se brise par son propre poids et tombe dans une caisse disposée à cet effet, où on la prend pour la mettre dans des tines spéciales. Les barbes

sont immédiatement concassées au moyen de maillets en bois et repassées au laminoir. Le cylindre compresseur fait 1 tour en 12 minutes, ce que l'on vérifie au moyen de l'aiguille qui se meut sur le cadran : de la vitesse de rotation du cylindre dépendent la pression exercée sur la matière et, par suite, l'épaisseur et la densité de la galette. On paraît s'attacher, en Prusse, à ne pas donner aux poudres de trop fortes densités; ainsi, les galettes, qui avaient autrefois 1,630 de densité, n'en ont plus aujourd'hui que 1,580.

Le laminoir produit, en été, 1 000^t de galettes par jour, et 750^t dans les autres saisons; la perte d'humidité, par le fait du pressage, est de 1,50 p. 100 dans le premier cas, et de 1 p. 100 au maximum dans le second. En automne, le galetage devient remarquablement plus facile.

III. COMPARAISON DES GALETAGES AUX MEULES ET A LA PRESSE.

Le galetage aux meules, qui est plus rapide et exige moins de main-d'œuvre que le galetage à la presse, présente trois inconvénients principaux : la piste se pique rapidement par suite de l'adhérence de la matière; la partie centrale de la galette, qui est seule suffisamment pressée, ne représente guère que 50 à 60 p. 100 de la masse; enfin et surtout, il est difficile d'arriver à une densité déterminée d'avance, même en faisant varier l'humidité de la poudre et la durée du demi-tour final.

Avec le galetage à la presse, tel qu'il est pratiqué en France, la poudre n'adhère jamais au métal des plaques; l'ébarbage perd beaucoup de son importance et, si l'on a soin de donner la pression progressivement, il peut se réduire à 40 p. 100 de la matière; enfin, on peut faire varier à volonté la densité de la galette en modifiant la pression ou la réduction de hauteur, et, quant aux inégalités de densité des galettes d'une même pressée ou des différentes portions d'une même galette, elles disparaissent en partie par le lissage.

En résumé, le galetage à la presse, qui peut être appliqué sans inconvénient à toutes les poudres, est particulièrement approprié à la fabrication des poudres à gros grains, parce qu'il permet d'obtenir des grains d'épaisseur uniforme et de densité suffisamment régulière.

§ VI.

CONCLUSION.]

Avant d'abandonner cette partie essentielle de la fabrication de la poudre, qui se résume dans la formation de la galette, on peut se demander quel est, de tous les procédés que nous avons successivement passés en revue, celui qui doit être préféré.

Il paraît aujourd'hui reconnu que la poudre triturée et galetée aux pilons est la moins bonne. Elle supporte difficilement les transports et se réduit en poussière; elle donne peu de vitesse et beaucoup de recul; peut-être est-elle plus inoffensive pour les armes que la poudre des meules ou celle des tonnes. On peut toutefois admettre qu'en galetant aux presses la matière des pilons, on obtiendrait une poudre très-différente de l'ancienne poudre de guerre et parfaitement appropriée à certains usages.

Il est assez difficile de comparer entre elles la poudre des meules et la poudre des tonnes et presses. A côté de la question de force et de vitesse se placent, en effet, des considérations d'économie et de propriétés spéciales qu'il faut faire entrer simultanément en ligne de compte. En outre, si l'on se rapporte à deux poudres de guerre analogues fabriquées en France et en Prusse, ici par les tonnes et presses, là par les meules, ces poudres ne différeront pas seulement par le procédé général de fabrication, mais encore par d'autres éléments tels que le dosage, la nature du charbon et surtout la densité : dissemblances qui rendront toute comparaison incertaine ou même illusoire. Quoi qu'il en soit, il est probable que, pour obtenir des produits correspondant à des effets balistiques déterminés, on peut sans inconvénient substituer les deux méthodes l'une à l'autre, pourvu que l'on modifie en même temps d'une manière convenable les qualités physiques du grain.

Les expériences exécutées depuis quelques années à la poudrerie de Fossano et ayant pour but de comparer, soit les poudres à canon fabriquées en France et en Italie (1861), soit les poudres de chasse fabriquées en Italie d'après les deux méthodes (1866), paraissent avoir indiqué que le procédé des tonnes et presses, qui est à la fois le plus simple et le plus rationnel, peut suffire à toutes les exigences de l'artillerie et se montre, en outre, supérieur au procédé des meules

au point de vue de la régularité du tir. Des essais comparatifs, institués en Allemagne sur la poudre des meules fabriquée à Metz et sur la poudre des tonnes et presses fabriquée à Spandau (1871-1874), semblent, au contraire, avoir assigné à la première une plus grande régularité d'effets. Peut-être y aurait-il avantage à réunir les deux méthodes, en employant le procédé que les Anglais ont depuis longtemps adopté et qui est celui des meules et presses.

CHAPITRE II.

FORMATION DU GRAIN.

L'opération du grenage a pour but de mettre la poudre sous une forme qui en facilite l'emploi et en assure la conservation. Elle consiste, soit à briser la galette au moyen de tourteaux dans des tamis spéciaux, soit à l'écraser entre des cylindres, soit, pour les poudres à gros grains, à la découper en morceaux réguliers au moyen d'un couteau ou à l'aide de lignes de rupture ménagées sur la surface. Nous rattacherons à ces procédés le mode de grenage particulier des poudres moulées, pour lesquelles les opérations du galetage et du grenage se trouvent confondues. Une dernière méthode se rapporte à la formation de grains sphériques par agglomération du ternaire autour d'un noyau central.

Nous renvoyons, pour tout ce qui concerne le découpage régulier de la galette ou la production du grain par l'opération même du galetage, au chapitre spécial qui traite des poudres à gros grains et des poudres moulées.

§ I.

HISTORIQUE.

La poudre fut d'abord employée sous forme de poussier; on ne peut guère préciser l'époque où le grenage fit son apparition. Il est fait mention de grains de poudre, dès 1445, dans un manuscrit sur

— l'artillerie, où on lit que les galettes venant des pilons sont broyées en forme de boules, et que la poudre en boules porte plus loin que la poudre en poussier. On commença par ne grener que la poudre à fusil : on tirait la poudre à canon à l'état de poussier, comme le constatent Tartaglia, dans ses *Quesiti e investioni diversi* (1546), et Biringuccio, dans sa *Pyrotechnie* (1550). Dans les premières années du xvii^e siècle, toutes les poudres étaient grenées, sauf en Turquie, où le grenage était encore inconnu en 1636.

Primitivement, on écrasait la galette avec des marteaux de bois, on la portait sur un tamis, et l'on forçait les morceaux à passer à travers les mailles au moyen d'un petit rouleau. Plus tard, on remplaça le rouleau par des disques en bois, et le tamis fut remué à la main ; le fond du tamis était formé, soit par une toile métallique, soit par une plaque de tôle percée de trous, soit par du parchemin. Quand on se mit à grener la poudre à canon, les mailles du tamis étaient encore assez larges : Boillot dit, en effet, dans ses *Modèles d'artifices de feu* (1598), que les grains de poudre ont la grosseur d'un pois ou d'une lentille, suivant qu'ils sont destinés aux pièces de gros ou de petit calibre. Ce n'est que dans la suite que l'on fabriqua des poudres à grains plus fins.

Pour simplifier et accélérer l'opération du grenage, on installa 3 ou 4 tamis, appelés guillaumes, juxtaposés à l'intérieur d'un même châssis suspendu par des cordes à la charpente de l'atelier, de manière que l'on pût facilement lui communiquer un mouvement de va-et-vient. On y versait la galette grossièrement concassée, et on la réduisait en grains à l'aide d'un disque lenticulaire en bois de gâjac ou en tout autre bois dur, ayant 0^m,21 de diamètre avec une épaisseur de 0^m,055 au centre et de 0^m,045 sur les bords. Au-dessous des guillaumes se trouvait une caisse dans laquelle tombait le mélange de grains et de poussier, qu'on égalisait ensuite à l'aide de tamis en fils de laiton ayant un nombre déterminé de mailles au pouce carré. Dans plusieurs poudreries, on avait disposé sur le même châssis une série de tamis destinés à effectuer le grenage et l'égalisation en une seule opération.

A côté de cet appareil, qui fut le point de départ du grenoir à retour, on employa également un autre système de grenage, installé sur le modèle des blutoirs des moulins à farine. Le cadre des guillaumes recevait d'une roue hydraulique un mouvement de va-et-vient, et les grains qui passaient à travers tombaient sur un tamis

incliné, dit surégaloir, à mailles plus ou moins serrées, également animé d'un mouvement de va-et-vient. Les grains trop gros roulaient sur le tamis et tombaient dans une caisse placée à l'extrémité inférieure, tandis que le mélange de bons grains et de poussier tombait sur un second tamis, dit sous-égaloir, à mailles plus fines, qui fonctionnait identiquement comme le premier et ne retenait que les grains de grosseur convenable.

En France, les appareils de grenage ont été longtemps installés de la manière suivante. Tout autour de l'atelier étaient disposés des caisses ouvertes en bois, que séparaient, de 2 en 2 mètres, des cloisons entre lesquelles était ménagée la place de l'ouvrier. Celui-ci prenait une quantité déterminée de poudre, la versait sur le guillaume, plaçait le tourteau et donnait un mouvement circulaire au tamis, qui était suspendu au-dessus de la caisse par l'un des bords d'une planchette rectangulaire. Les tamis étaient circulaires; le fond se composait d'une peau percée à l'emporte-pièce et qui était de la soie de porc ou du cuir de veau.

De 1815 à 1829, on s'est servi, à la poudrerie de Neisse, de deux cylindres métalliques tournant en sens inverse et entre lesquels s'écrasait la galette. On procédait ensuite au tamisage à bras : les grains trop gros repassaient entre les cylindres, tandis que le poussier était de nouveau galeté à la presse.

A Wetteren, le tourteau des guillaumes avait été remplacé par des gobilles en bronze de différents diamètres. Cette substitution avait l'inconvénient de donner beaucoup de poussier et d'user très-rapidement les tamis.

En Hollande, on remplaçait les gobilles en bronze par des gobilles en plomb ou en cuivre, pesant de 0^s,5 à 2^s,5.

En Suisse, où la matière, pilonnée sous les marteaux (p. 216), est réduite en morceaux de la grosseur d'une noix, le châssis est en bois de coudrier : ce bois possède la propriété de ne pas s'amollir et de ne pas se dilater sous l'influence de l'humidité. Les tourteaux sont en noyer et ont la forme de lentilles; leur diamètre est de 0^m,23, leur épaisseur au milieu de 0^m,05 et sur les bords de 0^m,02. Au milieu du tourteau se trouve un bouton au moyen duquel on peut le mettre en mouvement, afin de briser les morceaux de galette. Les grains tombent dans une caisse placée en dessous, pour être ensuite époussetés.

§ II.

GRENAGE DES POUDRES ORDINAIRES.¹

Les appareils de grenage actuels, pour toutes les poudres autres que les poudres agglomérées et les poudres à gros grains, se rattachent à trois types principaux :

1° Le grenoir à retour, appelé aussi grenoir mécanique ou de Lefebvre, principalement employé en France, en Allemagne, en Russie, en Autriche, en Belgique et en Italie ;

2° La tonne-grenoir, employée surtout en France pour la fabrication de la poudre des pilons et de diverses poudres de mine ;

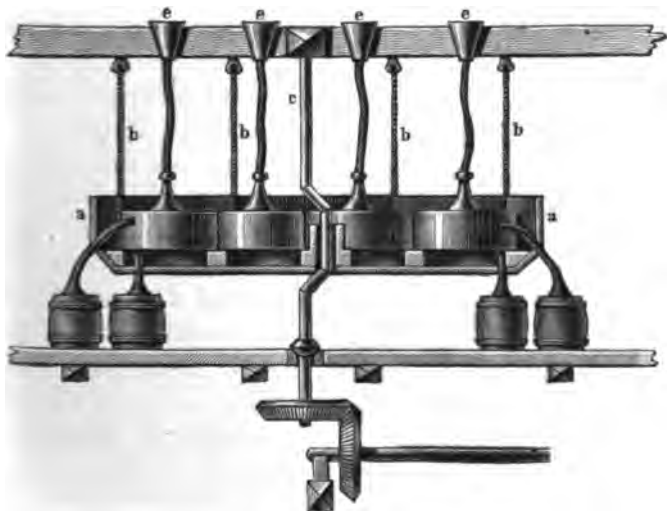
3° Les grenoirs à cylindres, employés en Angleterre, en Italie, en Amérique et en France.

I. GRENOIR A RETOUR.

a) Grenoir allemand.

L'appareil allemand se compose d'un châssis octogonal *a* (fig. 29) de 2^m,50 de diamètre, sur lequel sont disposés 8 à 12 tamis ; au milieu du châssis passe une manivelle verticale *c* qui, au moyen

Fig. 29.



d'un engrenage conique fixé à sa partie inférieure, reçoit le mouvement de l'arbre horizontal d'une roue hydraulique, et dont l'extrémité supérieure est reliée à une poutre de la charpente. La crapaudine est en bois dur et laisse à l'arbre 0^m,0065 à 0^m,013 de jeu. Le cadre est suspendu à la poutre supérieure au moyen de cordes ou de tiges en cuivre, et se trouve animé, par la rotation de l'arbre vertical, d'un mouvement circulaire ayant pour rayon l'excentricité de la manivelle.

Un grenoir proprement dit (*fig. 30 et 31*) se compose de trois

Fig. 30.



tamis superposés : le guillaume A, où l'on place le tourteau et la galette grossièrement concassée; le surégalisoir B et le sous-égalisoir C. Le cadre est muni d'une série de tringles recouvertes de toile, qui le traversent sur toute sa hauteur et sont assujetties à l'aide de boulons. Un

tourteau en bois *c*, placé sur le guillaume, vient, par suite du mouvement excentrique du châssis, butter contre une cerce intérieure et broyer la matière préalablement concassée qu'on a introduite par les trémies *e*.

Le fond du guillaume est formé par des plaques de cuivre ou de laiton, percées de trous de 6^m. Vers la circonférence et aux extrémités d'un même diamètre se trouvent deux ouvertures *a* (*fig. 31*), d'où

Fig. 31.



partent deux rigoles en cuivre *b* inclinées, dirigées en sens inverse du mouvement du tamis et aboutissant à une petite distance du fond du surégalisoir : les grains trop gros qui ne peuvent traverser le surégalisoir sont lancés, par le mouvement même du cadre, contre les rigoles dans lesquelles ils remontent, par l'effet de la force centrifuge.

jusque sur le guillaume. Ce dernier est fermé, pendant l'opé-

ration, au moyen d'un couvercle en bois fixé par des vis ailées ou par des vis de pression.

Le fond du surégalisoir est un tamis en fils de laiton, ayant 220 mailles au centimètre carré.

Le fond du sous-égalisoir est un tamis de crin, qui retient le bon grain et laisse tomber le poussier en D (*fig. 30*).

Le tourteau *c* est en bois de charme ou de cormier; il est muni, sur sa face inférieure, de nervures allant du centre à la circonférence. Il pèse 3^l; quand il s'use par le frottement, on a l'habitude d'introduire du plomb à l'intérieur, de manière à maintenir son poids constant.

On versait autrefois la galette concassée au moyen d'entonnoirs en cuivre *e* (*fig. 29*), fixés à la poutre supérieure et se prolongeant par une manche en toile; celle-ci se terminait par une douille en cuivre, qu'on pouvait adapter sur une douille semblable disposée sur le couvercle du tamis. Aujourd'hui, les trémies de chargement sont directement assujetties aux cordes ou barres *b, b*.

Au-dessous de chaque tamis se trouvent deux boisseaux en bois: l'un reçoit le poussier par une manche placée à la partie inférieure du tamis, et est muni d'un couvercle; le bon grain tombe dans l'autre boisseau à travers une manche fixée à la partie antérieure.

La vitesse de l'appareil varie de 70 à 75 tours par minute, et le rendement de 70 à 75 p. 100. Pour éviter l'échauffement des surfaces frottantes, on maintient la crapaudine inférieure dans une caisse remplie d'eau; en outre, la partie de la manivelle qui traverse le châssis doit avoir un jeu suffisant et plonger constamment dans la graisse.

La galette (p. 261), grossièrement concassée à l'aide de marteaux en bois, est introduite dans les trémies par charges de 2^l.5 environ. Dès que le châssis est mis en mouvement, le tourteau court tout le long de la cerce intérieure du guillaume, en tournant sur lui-même; il écrase ainsi les morceaux de galette qui s'y trouvent également projetés, et les force à passer à travers les trous. Les morceaux trop gros remontent sur le guillaume et sont soumis à un nouveau grenage. Le grain épousseté du sous-égalisoir et le poussier sont recueillis chacun dans son boisseau. On peut continuer l'opération jusqu'à ce que l'aspect poussiéreux du grain indique que les mailles des tamis se sont bouchées; on remplace alors les anciens tamis par des neufs, et on les nettoie avec des brosses, en enlevant au moyen de ciseaux en cuivre les morceaux de galette trop adhérents.

La matière grenée, qui contient encore 8 p. 100 d'eau, est versée dans des barils et portée à l'atelier d'essorage. Les poussières sont humectées de 2 p. 100 d'eau (p. 251) et soumis à un nouveau galetage.

b) Grenoir français.

L'appareil employé en France diffère en plusieurs points de celui que nous venons de décrire. Le châssis qui porte les tamis est relié, au moyen de cordes, à un cadre fixé à la partie supérieure de l'usine. L'excentricité de l'arbre vertical est, en moyenne, de 0^m,16; cet arbre reçoit le mouvement par le haut, et son extrémité inférieure repose dans une crapaudine ordinaire. La manivelle passe dans une douille en bronze fixée au châssis et munie de rainures verticales qui sont remplies de graisse: s'il y a trop d'échauffement, celle-ci fond et coule le long de l'arbre, ce que l'ouvrier peut aisément vérifier.

Le fond du guillaume est formé par un disque en bois de noyer, ayant 0^m,64 de diamètre sur 0^m,02 d'épaisseur, et percé de trous tronconiques dont le diamètre supérieur est 0^m,003 et le diamètre inférieur 0^m,013. Le tourteau, en bois de cormier ou de gailac, dont les deux faces sont planes ou légèrement bombées et qui mesure 0^m,25 de diamètre sur 0^m,05 d'épaisseur, vient butter contre une cerce intérieure en cuir ou en bois, maintenue par une autre cerce en bois; cette dernière est fixée à l'aide de tasseaux extérieurs, vissés sur le fond du guillaume et réunis aux parois du surégalisoir et du sous-égalisoir au moyen de quatre boulons verticaux serrés par des écrous à oreilles. Un couvercle en toile, dont l'une des moitiés est mobile à charnière, permet d'examiner facilement l'intérieur du guillaume. — Les surégalisoirs des poudres de chasse sont des tamis de soie portant les n^{os} 000, 0, 1, et correspondant à 121, 196 et 324 mailles au centimètre carré, suivant que l'on veut grener la galette en chasse fine, superfine ou extrafine. Pour la poudre à fusil, on se sert d'une peau à la perce de 1^{mm},4. — Le fond du sous-égalisoir est également formé, pour les diverses poudres de chasse, par des tamis de soie portant les n^{os} 3, 5, 8, et, pour la poudre à fusil, par une peau ou par une toile métallique à la perce de 0^{mm},8.

Les trémies de chargement de deux grenoirs contigus sont fixées à une tige verticale en bois, suspendue à une poutre de l'atelier, et les manches se terminent à une ouverture pratiquée dans la partie fixe du couvercle. Au-dessous de chaque grenoir se trouve la boîte à

poussier, de forme rectangulaire, fixée au plancher de l'usine et munie d'un tiroir mobile, destiné à l'enlèvement du poussier, et d'un obturateur permettant d'intercepter l'arrivée des matières par la manche qui descend du fond du tamis. Enfin, entre deux grenoirs voisins est disposée une tine au-dessus de laquelle aboutissent, fixées à une planchette qui repose sur les deux boîtes à poussier, les extrémités des deux manches qui servent à l'évacuation du bon grain; celui-ci est dirigé, à la surface du sous-égaliseur, par une petite lame de cuivre convenablement disposée.

Pour les poudres de chasse, les matières déchargées des meules (p. 243) sont essorées 1 ou 2 jours dans un dépôt, puis grossièrement concassées à l'aide d'un maillet en bois. Le produit du concassage se compose de morceaux de 0^m,01 à 0^m,02 de dimensions moyennes, dits *pâte dure*, et d'un mélange de bon grain et de poussier, dit *pâte molle*: celle-ci encrasserait les tamis du grenoir, et doit être préalablement séparée de la pâte dure par un tamisage des matières concassées sur une toile métallique à la perçe de 1^m, 0^m,65 ou 0^m,5, suivant l'espèce de poudre; la pâte molle est ensuite soumise à un sous-égalissage sur les tamis de soie n^o 3, 5 ou 8, destiné à séparer le poussier du bon grain. On obtient ainsi un rendement de 70 à 75 p. 100 en pâte dure avec 7 à 10 p. 100 de bon grain et 18 à 20 p. 100 de poussier, pour la poudre de chasse fine, et un rendement de 75 à 82 p. 100 de pâte dure avec 8 à 12 p. 100 de bon grain et 10 à 13 p. 100 de poussier, pour les poudres de chasse superfine et extrafine. Les grains de pâte molle seront mélangés, dans les proportions du rendement, aux grains provenant du grenage de la pâte dure, pour être portés au lisseur. — Pour la poudre à fusil dite F₁, les matières (p. 246), essorées et concassées, peuvent être également débarrassées des pâtes molles par un double tamisage à la perçe de 1^m,4 et de 0^m,65: on obtient ainsi 7 à 8 p. 100 de bon grain avec 10 à 11 p. 100 de poussier.

La vitesse du grenoir à retour varie de 70 à 75 tours par minute pour la poudre de chasse fine et pour la poudre F₁, et de 72 à 80 tours pour les poudres de chasse superfine et extrafine. Les rendements en bon grain dépendent à la fois de la vitesse de l'appareil, du poids des tourteaux, de la nature des perçes, de la densité et de l'humidité de la galette: on a obtenu des rendements compris entre 47 et 63 p. 100 pour la poudre F₁, 50 et 58 p. 100 pour la chasse fine, 55 et 63 p. 100 pour la chasse superfine, 60 et 70 p. 100 pour

la chasse extrafine. Quant aux débits par heure de travail, pour un grenoir à huit tamis, ils s'élèvent, en moyenne, à 70 ou 80^t de matières pour la poudre F₁, et à 65^t, 45^t et 15^t pour les poudres de chasse fine, superfine et extrafine.

Les matières grenées, ne contenant plus que 2 à 3 p. 100 d'humidité, peuvent être immédiatement envoyées aux tonnes de lissage. Les poussières sont humectés et galetés de nouveau, soit sous les meules, soit à la presse (p. 244 et 246).

c) Grenoir russe.

En Russie, le grenoir se compose de 22 tamis montés sur un cadre en bois articulé avec 3 paires de bielles, qui lui donnent un mouvement de va-et-vient dans le sens vertical et dans le sens horizontal. Chaque guillaume est formé d'une plaque de cuivre percée de trous, et renferme une ou plusieurs boules d'un alliage de plomb et d'étain dont le poids est d'environ 0^t,500; les tamis sont, comme à Spandau, en fils de laiton et en crins. La vitesse de l'appareil est de 72 oscillations par minute. — La matière, concassée et contenant 6 p. 100 d'humidité, est versée dans les tamis à raison de 5^t par guillaume; la durée du grenage est de 15 minutes. On obtient ainsi des grains de 0^{mm},26 à 2^{mm}, principalement destinés à la confection de la poudre d'artillerie. Le rendement de ce grenoir varie de 45 à 50 p. 100.

II. TONNE-GRENOIR.

La tonne-grenoir, appelée encore *écureuil*, consiste en un cylindre formé de deux disques en bois de 1^m,20 de diamètre, réunis par des traverses de 0^m,55 de long: la carcasse ainsi formée est montée sur un arbre en fer et enveloppée de deux toiles métalliques superposées. La toile intérieure est à mailles de 7 à 10^{mm} de côté et sert de guillaume, tandis que la toile extérieure est à la perce de la poudre à canon (2^{mm},5) ou de la poudre à fusil (1^{mm},4), selon l'espèce de poudre à grener. Chacune d'elles est garnie sur sa longueur de deux bandes en cuir percées d'œillets, et se tend fortement sur la carcasse en bois à l'aide de cordes formant lacets et passant sur des crochets en cuivre fixés à l'extérieur: cette disposition donne la facilité d'enlever les toiles à volonté pour les nettoyer. — La matière est brisée par le choc de 50 à 60 gobilles en bois dur de 50 à 60^{mm} de diamètre,

que l'on introduit à l'intérieur de la tonne; un trou de 0^m,40 de diamètre pratiqué dans l'un des fonds, ouvert ou fermé à volonté au moyen d'un disque en bois garni de peau de mouton, sert au chargement de la matière à grener. Le mélange de grains et de poussier, qui s'échappe à travers les mailles des toiles métalliques, s'écoule par une trémie en peau adaptée à la partie inférieure de la cage en bois qui entoure la tonne. Celle-ci peut être mise en mouvement, soit à bras, soit par un moteur mécanique. Dans ce dernier cas, le tamisage des matières se fait mécaniquement sous la tonne, dans un châssis mobile, animé d'un mouvement rapide de va-et-vient.

La tonne tournant avec une vitesse de 28 à 30 révolutions par minute, la galette (p. 242 et 246), préalablement concassée et amenée par l'essorage à l'état où elle peut être grenée, est introduite dans la tonne au moyen d'une main en cuivre par charges successives de 2^h,5 à 3^h: on grène ainsi, par heure, en canon 220^h, et en mousquet 130^h de matières, si la tonne est mue à bras; dans le cas du mouvement mécanique, les débits par heure s'élèvent respectivement à 300^h et 250^h environ. Dans le premier cas, la tine de grains et de poussier est enlevée dès qu'elle est pleine et remplacée par une tine vide; le grain est ensuite épousseté comme à l'ordinaire. — Le rendement de l'appareil est de 40 p. 100 en grains de canon et de 45 p. 100 en grains de mousquet, pour les poudres des pilons; la supériorité du rendement de la poudre à mousquet est compensée par la difficulté et la longueur du grenage. Pour la poudre à canon MC₃₀, qui est triturée sous les meules, le rendement s'élève à 45 p. 100.

La tonne-grenoir est également employée, en France, pour le grenage de la poudre de mine anguleuse, destinée à la confection des cartouches comprimées, et de la poudre de mine fin grain, qui sert à fabriquer les mèches de sûreté. Les matières de mine anguleuse, concassées et contenant environ 4 à 5 p. 100 d'humidité, sont grenées à la perce de 1^m,4; ces matières se composent, en général, de grain rond de mine (p. 281), lissé et séché pendant 14 à 16^h dans les tonnes, ou de ternaire de mine (p. 247), humecté de 5 p. 100 d'eau et galeté à la presse. Le tamisage se fait sur une toile métallique à la perce de 0^m,63. La tonne renferme 60 gobilles en bois de hêtre de 50 à 55^{mm} de diamètre, et tourne à la vitesse de 30 à 32 tours par minute: elle débite par heure, en moyenne, 170 ou 285^h de matières, suivant que celles-ci proviennent de la tonne de granulation ou de la presse;

les rendements correspondants en bon grain sont de 66 et 47 p. 100. Les poussières sont galetées à la presse et soumis à un nouveau grenage. Quant à la poudre de mine fin grain, dont la galette provient ordinairement des meules, elle est grenée à la perce de 0^m,65.

A l'origine, la tonne n'était garnie que d'une seule toile à la perce convenable, et renfermait 20 gobilles en bois dur de 30 à 40^m de diamètre. On a aussi proposé, pour l'appareil muni d'un guillaume, de remplacer les gobilles en bois par 8 ou 10^t de gobilles en étain de la grosseur d'une balle de fusil : les morceaux de galette trop gros étaient ramenés à l'intérieur du guillaume, par l'effet de la force centrifuge, au moyen d'une rigole en cuivre inclinée, et soumis à un nouveau grenage. Cet appareil, marchant à la vitesse de 30 tours par minute, pouvait grener en 24 heures 100^t de poudre de chasse ou 500^t de poudre de guerre.

III. GRENOIR A CYLINDRES.

a) Grenoirs anglais.

En Angleterre, l'usage des grenoirs à retour a complètement disparu, en 1843, pour faire place à un mode de grenage inventé en 1819 par le colonel Congrève. Dans ce nouveau système, on fait passer la matière entre plusieurs paires de cylindres lisses ou munis de dents, et dont l'écartement varie suivant l'avancement du grenage de la matière et suivant la grosseur du grain à obtenir. Nous insisterons spécialement sur l'appareil de Waltham-Abbey.

Le grenoir de Waltham-Abbey (Pl. V, *fig.* 2) se compose de deux châssis en bronze qui supportent les cylindres, les tamis et les différents organes des transmissions; toutes ces pièces sont en bronze, les axes seuls sont en fer. Les cylindres, au nombre de huit, sont disposés par paires suivant un axe incliné à 35° environ et à des distances verticales de 0^m,736; leur diamètre est de 0^m,178 et leur longueur de 0^m,762. La première et la deuxième paire, qui sont les plus élevées, ont les dents taillées en pointes de diamant, avec des saillies de 6^m,4 et de 6^m environ; les cylindres sont calés sur leurs axes, de telle sorte que les sommets des dents d'un cylindre correspondent aux creux dans celui qui lui est opposé. Les dents des deux autres paires se terminent, à leur sommet, en forme de tranchant, et ont de 3 à 4^m de saillie; ces deux dernières paires peuvent être remplacées par des cylindres lisses pour le grenage de certaines

poudres, telles que la poudre rifle FG. L'écartement de deux cylindres juxtaposés varie d'une paire à l'autre, et va en diminuant des cylindres supérieurs aux cylindres inférieurs. Dans chaque paire, l'axe de l'un des cylindres est fixe, tandis que l'autre peut à volonté se rapprocher ou s'éloigner, au moyen d'une vis qui fait mouvoir horizontalement son coussinet et qui fixe l'écartement minimum; ce coussinet est divisé verticalement en deux parties, dont une seule est fixe, de sorte que, si un morceau de galette trop dur se présente, le cylindre peut s'écarter en faisant mouvoir la partie mobile, qui n'est retenue que par un contre-poids placé au bas d'un levier articulé. L'écartement minimum des cylindres doit augmenter avec la grosseur des grains à obtenir.

Le mouvement est communiqué directement au cylindre fixe de la première paire, qui le transmet par un engrenage à celui de la deuxième paire, et ainsi de suite; chacun de ceux-ci mène, en outre, le cylindre auquel il est accouplé, au moyen d'un engrenage dont les dents sont assez longues pour permettre les variations de distance des cylindres; toutes les roues ont le même nombre de dents. Sur la face libre de chaque cylindre se trouve un grattoir destiné à enlever la galette adhérente. Enfin, les cylindres sont munis d'un couvercle en cuivre qui empêche les projections de matière pendant le grenage.

Sous chaque paire de cylindres est disposé un tamis, pour conduire à la paire suivante la galette qui n'est pas suffisamment grenée. Ces tamis sont en toile métallique, ordinairement à la perce de 8 mailles par pouce carré (1,24 maille par centimètre carré); leur inclinaison est d'environ 22°. Le grain qui les traverse tombe dans une caisse qui tient toute la longueur de la machine parallèlement au plan des rouleaux, et dans laquelle se trouvent les différents égalisoirs. Dans le cas où l'on ne retire qu'une seule poudre de la même galette, deux égalisoirs maximum et minimum suffisent, et l'on recueille dans trois tines le grain trop gros, le bon grain et le poussier; le grain trop gros est soumis de nouveau à l'action des cylindres. Si l'on veut retirer plusieurs espèces de grains de la même galette, il suffit de mettre dans la caisse longue des égalisoirs en nombre convenable. Les tamis placés entre les cylindres sont réunis à la caisse, qui est suspendue elle-même au bâti en bronze par des tiges articulées, de manière à pouvoir recevoir un mouvement longitudinal alternatif très-rapide, pour faciliter le tamisage et l'écou-

lement des matières : ce mouvement s'obtient au moyen d'une roue lisse, fixée sur le côté de la caisse et folle sur son axe, qui est touchée par les sommets d'une roue polygonale placée sur le châssis et recevant son mouvement des cylindres.

La galette à grener est portée aux cylindres les plus élevés au moyen d'une toile sans fin qui aboutit à la partie supérieure de la paroi verticale d'une trémie qu'on remplit de matière concassée, et dont le fond et une paroi mobile sont soulevés par une corde s'enroulant sur un arbre, lequel est lui-même en relation avec l'une des paires de cylindres. La toile sans fin porte des bandelettes transversales en cuir tous les 10 ou 15 centimètres, pour arrêter la galette qui glisserait en arrière, et elle passe sous de petites valves mobiles autour d'un axe, situées à 0^m,01 ou 0^m,02 au-dessus et destinées à faire glisser les morceaux qui se superposent ou qui se présentent de champ, de manière que la galette n'offre qu'une seule épaisseur aux premiers cylindres. Quand la caisse est arrivée au sommet de sa course, elle agit sur une corde qui désembraye l'arbre et fait-mouvoir une sonnette pour prévenir les ouvriers d'arrêter l'appareil. L'autre extrémité de l'arbre met en mouvement très-lentement les caisses qui reçoivent la poudre, afin que celle-ci les remplisse sur toute leur longueur.

La trémie où se place la galette étant au bas de sa course et chargée de 226^k,8 de matières concassées (p. 256), les caisses qui doivent recevoir le grain sont mises en place; les ouvriers se retirent dans un atelier éloigné et protégé contre l'explosion, d'où ils mettent la machine en mouvement. La trémie, alors soulevée progressivement, amène la galette entre la première paire de rouleaux. La vitesse de rotation des cylindres est d'environ 25 tours par minute, et celle que la machine communique à la trémie est telle qu'elle se vide en 25 minutes environ. Le nombre des vibrations du tamis est de 130 à 150 par minute, et la vitesse des caisses qui reçoivent les poudres est réglée pour qu'elles avancent de toute leur longueur pendant la durée d'une opération. Dès que les ouvriers sont avertis par la sonnerie que la trémie s'est vidée, ils entrent pour recueillir les produits du grenage et procéder à un nouveau chargement.

En travail continu, la machine de Waltham-Abbey peut grener de 3 à 4000^k de galettes par jour. Les rendements sont de 65 à 70 p. 100 pour la poudre Armstrong LGA., de 55 p. 100 pour le canon ordi-

naire et de 35 p. 100 seulement pour le mousquet; si l'on retire du poussier les grains qui correspondent aux poudres de chasse fine et superfine, le rendement peut s'élever jusqu'à 70 et 80 p. 100. L'épaisseur de la galette est d'environ 6^{mm} et sa densité de 1,650. La grosseur des grains pour les diverses poudres de guerre est réglée comme il suit par les différentes perces des toiles métalliques qui constituent les égalisoirs :

ESPÈCE DE POUDRE.	PERCES	
	surégalisoir.	sous-égalisoir.
	millim.	millim.
Poudre à canon Armstrong LGA, . . .	6,33	3,17
Poudre à canon ordinaire LG,	3,17	1,58
Poudre rifle FG.	2,10	1,26
Poudre FG.	1,58	0,70
Poudre shell FG.	0,60	0,35

Dans les autres poudreries anglaises, les grenoirs se composent encore de 4 ou 5 paires de cylindres: ceux de la première paire sont en bronze et dentés, les autres sont en zinc et lisses. A Hounslow, les axes de deux cylindres accouplés sont dans un plan incliné en sens inverse du plan général de l'appareil: le cylindre inférieur est fixe et reçoit directement le mouvement; le cylindre supérieur, mené par le premier, a son axe dans un tourillon elliptique à l'intérieur duquel il peut remonter. A Chilworth et à Dartford, les cylindres mobiles sont poussés par un ressort à boudins ou par un levier à contre-poids. La matière est amenée par une toile sans fin ou par un plan incliné, animé de mouvements vibratoires. Le bâti et les engrenages sont en fonte ou en bois. La galette de mine de Dartford, qui provient de la presse à vis (p. 254), a une épaisseur d'environ 0^{mm},40 et une densité qui varie de 1,850 à 1,900. — Au-dessous des cylindres se trouve un simple tamis qui sépare les grains trop gros, lesquels sont remontés par une noria, et le mélange de bon grain et de poussier, qui est porté à une trémie à quatre tamis. Ce dernier appareil se compose de quatre tamis rectangulaires inclinés, disposés sur les côtés d'une caisse carrée et à des hauteurs différentes; les perces sont de plus en plus fines, à mesure que le grain passe

d'un tamis au tamis suivant par une toile inclinée. Des poches ménagées sur les côtés de la caisse servent à recueillir les grains retenus sur chaque tamis et ceux qui passent au dernier. La caisse est suspendue au plafond par quatre cordes, et reçoit au mouvement circulaire au moyen d'un arbre coudé ou d'un excentrique relié au mécanisme du grenoir.

L'appareil de grenage actuellement employé en Italie, à la poudrière de Fossano, est identique à celui de Waltham-Abbey; la vitesse des cylindres est de 28 tours et celle du tamis de 200 oscillations par minute. Les matières (p. 258), préalablement essorées pendant 2 ou 3 jours et concassées entre deux cylindres en bronze armés de dents diamantées, ne renferment que 1,50 à 2 p. 100 d'humidité. On peut grener 2 500^k de galettes en 10 heures et recueillir ainsi 55 p. 100 de grains de canon, 25 p. 100 de grains de fusil et 20 p. 100 de poussier. — Le mélange de poudre grenée et de poussier est versé lentement par une trémie sur un tamis incliné, ayant 3^m de long sur 0^m,50 de large, formé de deux toiles métalliques superposées et faisant, au moyen d'un excentrique, 130 à 170 oscillations par minute. On sépare ainsi les grains de canon et de fusil, dont l'humidité est de 1,50 p. 100 et dont la densité gravimétrique varie de 0,820 à 0,840. Cet appareil permet de tamiser 2 000^k en 10 heures.

b) Grenoir américain.

Le grenoir américain se compose de 4 paires de cylindres en bronze juxtaposées, placées dans un même plan horizontal: deux sont dentées, les deux autres sont lisses. Les cylindres antérieurs tournent sur un arbre commun et entraînent au moyen d'engrenages les cylindres d'arrière, qui sont montés sur des arbres spéciaux. Sous chaque paire se trouve un tamis animé d'un mouvement de va-et-vient à l'aide d'un excentrique: le grain trop gros s'échappe sur une plate-forme, d'où il est élevé dans la trémie qui dessert la paire de cylindres voisine; le mélange de bon grain et de poussier tombe sur un second tamis ou sous-égaliseur. Le poussier est recueilli dans des caisses et renvoyé à la presse. Le bon grain tombe dans une auge horizontale dans laquelle deux vis, l'une dextrogyre, l'autre lævogyre, tournent de façon à conduire la poudre dans une trémie centrale, d'où elle tombe dans une caisse située au-dessous du niveau du plancher; elle est ensuite élevée, par une chaîne à

godets, jusqu'à un blutoir situé dans la même usine. — On a cherché à perfectionner encore cet appareil en ajoutant à chaque paire de cylindres un élévateur particulier, qui reçoit les grains trop gros rejetés par chaque tamis et les verse dans la trémie voisine.

Les limites des grosseurs de grains, pour les poudres américaines, sont indiquées dans le tableau suivant :

ESPÈCE DE POUDRE.	MARINE.	ARMÉE.
	millimèt.	millimèt.
Poudre à canon.	3,8 à 2,5	8,9 à 6,3
Poudre à mortier.	2,5 à 1,5	2,5 à 1,5
Poudre à fusil.	1,5 à 1,2	1,5 à 0,8
Poudre pour torpilles.	1,2 à 0,5	” ”

c) Grenoir français.

Le grenoir à cylindres français se compose de deux rouleaux en bois de gaïac, dont les axes sont dans un même plan horizontal et entre lesquels tombe la matière (p. 246), préalablement concassée et versée dans une trémie; ils ont 0^m,90 de longueur sur 0^m,22 à 0^m,25 de diamètre et font 20 tours par minute. L'un des cylindres reçoit directement le mouvement. L'autre cylindre est entraîné par le frottement; ses deux tourillons sont mobiles dans des coulisses horizontales, et tendent constamment à revenir à leur position initiale par l'action d'une série de plaques de caoutchouc séparées par des plaques de cuivre. On peut fixer, au moyen d'une cale et d'une vis de pression, les limites d'écartement des cylindres, suivant l'espèce de poudre à grener. Un double tamis, placé sous les cylindres et animé d'un mouvement de va-et-vient au moyen d'un excentrique qui lui communique 100 oscillations par minute, permet de séparer le bon grain des grains trop gros, qui sont soumis à un nouveau grenage, et du poussier, qui est repassé aux meules ou à la presse.

Le rendement de cet appareil, pour la poudre à fusil, est sensiblement égal à celui d'un grenoir mécanique à huit tamis; mais son débit est un peu supérieur. En moyenne, un grenoir à cylindres débite par heure 95^k de matières de poudre F₁, avec un rendement de 62 p. 100; employé au concassage des matières de poudres à gros grains (p. 252), il débite 250^k à la perçe de 2^{mm},5 et 300^k à la perçe de 7^{mm}.

§ III.

GRANULATION DES POUDRES AGGLOMÉRÉES.

On doit à Champy un procédé de granulation spécial, encore employé en France pour la production du grain rond de mine. Ce procédé fut découvert à la suite d'essais exécutés en 1795 à Vincennes, où l'on observa que du ternaire de poudre humide s'agglomérait en boules par la simple agitation.

Une tonne en bois, ayant de 1^m,50 à 1^m,60 de diamètre sur 0^m,60 de largeur et munie de deux fonds en bois, peut tourner autour d'un arbre horizontal en fer, qui est fixé sur l'un des fonds au moyen d'un plateau en fonte renforcé par des nervures. L'autre fond est percé d'une ouverture circulaire de 0^m,50 à 0^m,55 de diamètre, dont la partie supérieure était, à l'origine, presque entièrement fermée par un secteur de cercle fixe de 140° environ, qui reposait sur l'arbre de la tonne. Les fonds et les douelles sont maintenus par quatre équerres en fer; le fond plein est consolidé par des barres en bois qui passent au-dessus des équerres. — Le chargement se fait par l'ouverture circulaire. Le déchargement s'opère au moyen d'une ouverture latérale, ayant 0^m,48 de long sur 0^m,20 de large et fermée, pendant la marche, par une porte qu'on fixe à l'aide de boulons : cette porte est munie de deux traverses mobiles, qui dépassent un peu la largeur de l'ouverture et sont percées de deux trous dans lesquels pénétrèrent des boulons fixes, serrés par des écrous; les joints sont garnis de peau de mouton. Sur la surface extérieure de la tonne sont disposés 12 taquets en bois, dont un sur la porte, destinés à soulever un marteau maintenu par un ressort ou par une corde tendue et dont les chocs détachent la matière des parois intérieures. Enfin, le long de l'axe court un tuyau d'arrosage ayant 0^m,01 à 0^m,02 de diamètre sur 0^m,40 de longueur et percé de 25 petits trous capillaires, suivant une génératrice dont le plan méridien fait un angle de 45° au-dessous de l'horizon. Ce tuyau repose, par son extrémité postérieure, sur un support fixé au bâti; il est entouré d'une gaine en cuivre, percée d'une fente le long d'une de ses génératrices et permettant ainsi, par une simple rotation, d'empêcher l'introduction du ternaire dans les trous du tuyau, une fois l'arrosage terminé. Il se prolonge extérieurement par un tube plus

mince, muni d'un robinet, qui est en relation avec un réservoir supérieur donnant l'eau en pression ; ce réservoir peut être gradué au moyen d'un flotteur qui communique avec un index placé dans l'usine.

Le procédé de granulation est le suivant. La tonne étant au repos, on verse par la porte 100^t de noyau ou de fin grain, provenant d'une opération précédente ; on tourne la gaine du tuyau d'arrosage de manière à boucher les trous, et l'on remplit d'eau le réservoir ; puis on fait tourner la tonne à la vitesse de 10 à 12 tours par minute. On ouvre alors le robinet du réservoir et l'on débouche les trous du tuyau : on laisse l'eau jaillir en filets minces, dirigés en sens inverse du mouvement de la tonne, jusqu'à ce qu'il s'en soit écoulé 5^t ; cette partie de l'opération dure environ 8 minutes. On verse ensuite, au moyen d'une main en bois, 50^t de ternaïre par petites portions et dans le sens du mouvement. Quand la matière est agglomérée, on fait un nouvel arrosage de 5^t d'eau, on verse 50^t de ternaïre, et on laisse tourner de 5 à 10 minutes, pour durcir le grain ; puis on arrête la tonne et l'on décharge. La durée totale de l'opération est de 30 à 40 minutes. On peut encore, avec des matières convenablement triturées, faire un troisième arrosage et verser sur le noyau une nouvelle charge de 50^t de ternaïre.

Le mélange ternaïre sec (p. 247), avide d'eau, s'agglomère sur le noyau en formant des boules dont le diamètre doit être compris, pour la poudre de mine ordinaire, entre 3^{mm} et 6^{mm} ; si l'opération est mal conduite, il se produit aussi des galles ou agglomérations irrégulières sans noyau central, qui sont concassées et employées comme noyau. On retire, en moyenne, de chaque opération 100^t de grains compris entre 3^{mm} et 6^{mm}, et 100^t de noyau (grains au-dessous de 3^{mm}) mélangé d'une petite proportion de galles. L'humidité de la matière au déchargement varie de 8 à 10 p. 100. Pour les poudres de mine forte et lente, les grosseurs des grains doivent être respectivement comprises entre 2^{mm} et 4^{mm}, 4^{mm},5 et 8^{mm}.

Les matières retirées de la tonne ont été longtemps tamisées à bras ; on se sert aujourd'hui d'un tamiseur mécanique. Une trémie, disposée au-dessous de la tonne, amène la poudre dans une caisse rectangulaire animée d'un mouvement rapide de va-et-vient, qui lui est communiqué par un arbre à manivelle ou par un excentrique possédant une vitesse de 100 tours par minute avec une course de 0^m,25. Le tamiseur est garni de deux toiles métalliques superposées, formant surégaloisoir et sous-égaloisoir, et retenant, la pre-

mière les galles, la seconde le bon grain. Le noyau, qui traverse le sous-égaliseur, et le bon grain sont conduits par des manches en toile dans des barils distincts ; quant aux galles, elles sont amenées, par le mouvement même de l'appareil, dans une boîte renfermant des gobilles en bois de 0^m,05, dont le fond est formé par une toile métallique double et où elles se concassent. Le rendement en bon grain varie de 50 à 55 p. 100.

Maurouard a installé, à la poudrerie de Metz, des tonnes doubles de granulation, divisées en deux compartiments par un plateau central sur lequel est fixé l'arbre de l'appareil : ce système, plus solide et mieux équilibré, permet d'opérer le déchargement de l'un des compartiments pendant le chargement de l'autre. En outre, le chargement des matières se fait d'une manière automatique à l'aide d'un dispositif spécial, reproduit aux poudreries de Sévran et du Ripault : une trémie en bois, continuée par un tuyau qui pénètre à l'intérieur de la tonne par l'ouverture circulaire du fond antérieur, reçoit des secousses, à chaque tour de la tonne, au moyen d'un taquet fixé sur le fond, et se prolonge, à la partie supérieure, par une manche en toile qui vient coiffer le baril plein de ternaire ; un ascenseur mécanique permet de verser le contenu du baril dans la trémie, dès que celle-ci s'est vidée.

§ IV.

GÉNÉRALITÉS.

I. BUT ET RÉSULTATS DU GRENAGE.

La poudre employée en grains présente sur le simple poussier plusieurs avantages que nous allons indiquer rapidement.

En premier lieu, le grenage a pour but de prévenir une séparation des éléments de la poudre, par suite des secousses résultant des transports : cette séparation par ordre de densités serait inévitable avec le poussier, et il s'ensuivrait, outre la désorganisation de la matière, une perte notable en charbon. Au point de vue de la conservation des produits en magasin, la poudre grenée est encore préférable au poussier parce qu'elle est moins hygrométrique ; l'hygrométrie varie également avec la grosseur et la forme des

grains, en raison même de l'augmentation ou de la diminution relative de la surface extérieure totale.

En outre, avec le poussier, il se produirait, pendant les transports, des pertes de matière à travers les sacs ou les barils, source de dangers qu'on évite presque complètement avec la poudre grenée.

Enfin, au point de vue du tir dans les armes, le grenage facilite l'inflammation de la poudre, en permettant à la flamme de se répandre dans les interstices et d'envahir rapidement toute la masse, en même temps qu'il assure la régularité de cette inflammation. Le poussier s'enflamme beaucoup plus lentement que la poudre en grains : il en est de même des galettes ; mais tandis que, pour une galette à forte densité, la combustion s'effectue progressivement et par couches concentriques, le poussier, au contraire, brûlera plus ou moins vite, suivant qu'il se trouvera plus ou moins tassé.

II. COMPARAISON DES DIVERS MODES DE GRENAGE.

En réservant la question du grenage des poudres à gros grains, nous avons à comparer les modes de formation du grain par l'agglomération du ternaire autour d'un noyau central et par le concassage de la galette.

Le premier procédé n'est plus employé, en France, que pour la fabrication des poudres de mine : il est économique, rapide, et donne un rendement élevé. Mais il ne permet d'obtenir que des densités de grains relativement faibles ; en outre, la poussière de charbon se répandant à l'intérieur de la tonne, en raison même de sa légèreté, les couches extérieures du grain se composent en grande partie de charbon. Enfin, la quantité considérable d'humidité que contient la matière ne peut être enlevée par un séchage ultérieur qu'aux dépens de la qualité de la poudre.

Le procédé de grenage par le concassage de la galette comprend deux systèmes entièrement distincts : celui des grenoirs proprement dits, et spécialement du grenoir à retour, et celui des grenoirs à cylindres. Les avantages que présente ce dernier système peuvent se résumer comme il suit :

1° Le mode de grenage par les cylindres donne des grains d'une forme meilleure. Tandis que les cylindres attaquent la galette normalement et la font éclater sous une pression, le tourteau du grenoir à retour la frappe par le flanc en la heurtant contre la cerce du

tamis, et détache ainsi les morceaux sur lesquels il pourra ensuite rouler : il résulte de cette différence des modes d'action que le grain provenant des cylindres est beaucoup plus beau et plus régulier que celui du grenoir mécanique. Ce dernier est, en effet, le plus souvent lamelleux, avec une épaisseur inférieure à la plus petite des perces entre lesquelles il a été tamisé, tandis que les deux autres dimensions correspondent assez bien à ces perces. La rapidité de la combustion d'un grain ne dépendant que du diamètre de la sphère inscrite dans sa plus petite dimension, la poudre du grenoir à retour doit être généralement plus vive et plus irrégulière que la poudre des cylindres tamisée entre les mêmes perces.

2° Le grenage par les cylindres peut s'appliquer à des galettes d'épaisseurs très-variables et de très-grande dureté ; dans ce dernier cas, le grenoir à retour est quelquefois impuissant.

3° La plupart des grenoirs anglais ou américains permettent, par la séparation des grains de toutes grosseurs sur différents égalisoirs, d'obtenir des poudres privées de fin grain et, par suite, plus régulières.

4° Quoique sensiblement plus cher, le grenoir à cylindres peut être construit assez économiquement pour que l'excédant de dépense soit compensé par la disparition presque totale des réparations dont le grenoir mécanique a constamment besoin, surtout lorsqu'on grène des poudres très-dures. La machine de Waltham-Abbey revient à 25 000^{fr}, mais celle de Dartford ne coûte que 5 000 à 6 000^{fr}, prix à peine supérieur à celui d'un grenoir à retour.

5° Le grenoir à cylindres peut fournir une production quatre ou cinq fois plus grande que celle du grenoir mécanique, tout en n'exigeant qu'une force motrice à peu près double ; il y a, en outre, économie du quart de la main-d'œuvre. On peut évaluer à 2 500 ou 3 000^l la production journalière en grains d'un grenoir à cylindres, à raison de 14 heures de travail par jour et en opérant sur 4 000^l de galettes ; si l'on ne retirait qu'une seule espèce de poudre, la production ne dépasserait guère 1 400 à 1 800^l. La force nécessaire pour mettre en mouvement un appareil complet de grenoir à cylindres et de tamisage est de 3 à 4 chevaux ; celle qui correspond à un grenoir mécanique à huit tamis, faisant 75 à 80 tours par minute, est de 1 cheval 1/2.

6° Le grenoir à cylindres est d'un emploi pour le moins aussi sûr que le grenoir mécanique.

CHAPITRE III.

SÉCHAGE, ÉPOUSSETAGE ET ASSORTISSAGE PRÉALABLES.

§ I.

SÉCHAGE PRÉALABLE OU ESSORAGE.

L'essorage a pour but de faire perdre à la poudre une partie de son humidité, afin d'éviter un empâtement de la masse dans l'opération du grenage ou dans celle du lissage.

Ce séchage préalable ne doit pas altérer la constitution de la matière. Aussi ne faut-il pas soumettre la poudre à une élévation trop brusque de température : on se contente le plus souvent de la laisser séjourner à l'air pendant un laps de temps plus ou moins long.

I. EN FRANCE ET EN ITALIE.

En France, il est d'usage de faire essorer les matières de guerre et de chasse (p. 245 et 246) avant le concassage et le grenage : pour cela, on les place dans des tines et on les porte dans un dépôt, où on les laisse séjourner pendant 1 ou 2 jours, jusqu'à ce qu'elles ne contiennent plus que 2 p. 100 d'humidité environ. Pour les poudres des pilons, qui contiennent de 8 à 10 p. 100 d'eau au sortir des mortiers (p. 242), l'essorage dure plusieurs jours et doit ramener la matière à 5 p. 100 d'humidité.

En Italie, la galette des presses (p. 258) est également essorée pendant 2 ou 3 jours, jusqu'à ce qu'elle ne renferme plus que 1,50 à 2 p. 100 d'humidité environ.

II. EN ALLEMAGNE, EN RUSSIE ET EN DANEMARK.

Dans ces trois pays, l'essorage précède immédiatement le lissage.

En Allemagne, le séchage préalable se fait soit en plein air, soit dans un espace clos.

Pour l'essorage en plein air, on choisit un emplacement dirigé vers le midi et abrité contre la poussière. Par un temps clair, après le lever du soleil, on sort les matières (p. 270) des dépôts, et on les étend en couches minces de 5 à 10^m sur des couvertures en laine ou en coton, que l'on a disposées sur des tables inclinées vers le midi. Ces tables se composent de planches mobiles, placées sur des poteaux de hauteurs variables; les couvertures sont fixées au moyen de tuiles. Il arrive assez fréquemment que l'on construit, à l'est, à l'ouest et au nord, des murailles peintes en blanc et destinées à réfléchir la chaleur solaire. Pour exposer aussi également que possible tous les grains à l'action de l'air, on les remue de temps en temps au moyen d'un râteau. Au bout de quelques heures, toute la masse est retournée : à cet effet, on ôte les tuiles et l'on élève les deux extrémités de la toile jusqu'à ce que toute la poudre se soit rassemblée au milieu; puis on l'étend de nouveau et on la remue avec le râteau, jusqu'à ce qu'elle ne contienne plus que 3 p. 100 d'humidité. On s'en assure en prélevant des quantités égales de poudre sur différents points de la masse, mélangeant le tout et séchant 100^e du mélange au bain-marie : la perte de poids donne le taux p. 100 d'humidité.

Pour le second mode d'essorage, on fait séjourner la poudre dans de longues chambres en bois, qui possèdent latéralement deux séries de fenêtres en forme de soupapes, s'ouvrant vers l'extérieur; à la toiture du bâtiment sont disposées des jalousies permettant de régler le courant d'air. A l'intérieur se trouvent deux ou plusieurs rangées de tablettes, divisées en compartiments qui reçoivent la poudre étendue sur des claies; ces claies ou ces treillis, entièrement en bois, sont recouverts de couvertures de coton sur lesquelles repose la matière. A la poudrerie de Spandau, un petit tableau affecté à chaque compartiment indique le jour où la poudre a été mise à l'essorage. Pour faciliter le départ de l'humidité, on retourne les matières de temps en temps et, lorsque la couverture n'est plus suffisamment sèche, on la remplace par une neuve. La poudre doit

être ramenée à 3 p. 100 d'humidité; l'épreuve se fait comme dans le premier cas.

En Danemark, l'essorage ramène la poudre à 5 p. 100 d'humidité.

En Russie, la poudre (p. 272) est le plus souvent exposée sur des étagères en toile, pendant 48 à 60^h, à une température de 25 ou 30°, dans une chambre de 1 200^m dans laquelle un ventilateur envoie, par heure, 6 400^m d'air chauffé par la vapeur. L'humidité des grains se trouve ainsi ramenée de 5 p. 100 à 2,5 p. 100 environ.

§ II.

ÉPOUSSETAGE ET ASSORTISSAGE PRÉALABLES.

Si la poudre essorée est déjà grenée et doit être immédiatement soumise au lissage (§ I, II), on la place dans des tines qui sont portées à l'atelier d'époussetage : il s'est formé, en effet, pendant l'essorage, une certaine quantité de poussier dont il faut débarrasser la poudre par un époussetage préalable. Dans quelques poudreries, on en profite pour séparer en même temps les grains de mousquet des grains de canon.

On se sert, pour l'assortissage préalable des poudres russes et allemandes (p. 286 et 287), d'un appareil qui présente une grande analogie avec le grenoir à retour, et qui se compose essentiellement d'un cadre en bois suspendu à la charpente de l'atelier par quatre courroies en cuir et divisé, comme, par exemple, à la poudrerie de Spandau, en 40 compartiments : chacun d'eux renferme un système de trois tamis superposés. Le tamis supérieur retient tous les grains dont les dimensions sont supérieures à celles des grains de canon ; le second tamis retient les grains de canon et le tamis inférieur les grains de mousquet ; le poussier tombe, par une manche en cuir, dans une caisse placée en dessous. Dès que le tamis supérieur a reçu sa charge, on le ferme au moyen d'un couvercle en cuir, et l'appareil est mis en mouvement par deux ouvriers : au bout de 120 coups, chaque espèce de poudre est versée dans des tines spéciales. Les grains trop gros et le poussier sont portés à l'appareil d'humectage (p. 251), arrosés de 7 p. 100 d'eau et repassés aux presses.

Nous avons décrit plus haut (p. 274-279) les appareils d'assortissage employés, en Angleterre, en Italie et en Amérique, pour les matières préalablement essorées (p. 285) et grenées.

En France, les poudres à gros grains subissent, après grenage (ch. XII), un premier sous-égalissage sur un tamis en peau à la perce de 8^{mm} pour la poudre C₁, et de 11 et 17^{mm} pour les poudres SP₁ et SP₂ grenées par le procédé des toiles à baguettes.

A Wetteren, la poudre n'est assortie qu'après lissage et séchage, parce que la présence des gros grains paraît faciliter le lissage.

CHAPITRE IV.

LISSAGE.

L'opération du lissage a pour but de donner au grain un certain degré de brillant, d'abattre les arêtes vives, d'arrondir les angles, enfin de boucher les pores extérieurs et d'augmenter la densité de la poudre ou tout au moins d'éliminer les parties friables, d'où résulte le double avantage de diminuer l'hygrométrie de la matière et d'en prévenir la décomposition en poussier.

§ I.

APPAREILS.

En France, les tonnes de lissage sont à deux compartiments et identiques aux tonnes doubles de granulation (p. 282); leur diamètre est de 1^m,60 et leur longueur de 1^m,40; les taquets sont supprimés. Le fond central a 0^m,05 d'épaisseur; les fonds latéraux et les douelles n'ont que 0^m,03. Les ouvertures circulaires percées au milieu des fonds latéraux peuvent être fermées à volonté au moyen de plateaux composés de deux parties, que l'on fixe par des boulons; on se sert également de plateaux mobiles le long de l'arbre ou dans des glissières disposées sur les fonds latéraux et munies d'un verrou d'arrêt. Le chargement et le déchargement se font par les ouvertures pratiquées sur le pourtour de la tonne. Deux trémies en bois, terminées par des portes à coulisses, conduisent la poudre dans des barils. — On

employait encore, il y a quelques années, des tonnes de lissage à trois et même à quatre compartiments; ces dernières avaient 1^m,20 de diamètre sur 2^m,70 de longueur. Autrefois, les tonnes de lissage étaient souvent garnies, comme les tonnes de trituration et de mélange, de saillies intérieures destinées à faire obstacle au passage des grains et à faciliter ainsi le lissage : ce dispositif avait l'inconvénient de donner une quantité considérable de poussier.

En Italie, les tonnes de lissage sont à deux compartiments, et mesurent 0^m,75 de diamètre sur 1^m,44 de longueur.

A Wetteren, les tonnes sont à un seul compartiment, et mesurent 0^m,70 de diamètre sur 0^m,55 de longueur.

En Allemagne, les tonnes de lissage ont environ 1^m,80 de diamètre sur 0^m,60 de longueur, et se distinguent des tonnes de trituration (p. 234) par l'absence de saillies intérieures; en outre, l'arbre horizontal en fer ne traverse pas la tonne et se termine par quatre bras en fer, qui sont fixés au fond postérieur par de forts boulons. Le fond antérieur est percé, précisément au-dessus de l'arbre, d'une ouverture circulaire munie d'une garniture métallique, qui sert à l'introduction de la poudre et au dégagement de la vapeur d'eau pendant l'opération; les deux fonds sont solidement reliés par des boulons à vis, qui s'étendent sur toute la longueur de la tonne, et cette carcasse métallique est doublée de bois. Une porte mobile en laiton sert à fermer l'ouverture du fond antérieur. Une lourde porte en métal, occupant toute la longueur de la tonne, permet d'effectuer le déchargement; une manche en cuir conduit la poudre dans des tines.

En Russie et en Autriche, les appareils sont analogues à ceux de Spandau; les tonnes russes mesurent 1^m,50 de diamètre sur 0^m,45 de longueur.

En Angleterre, les tonnes présentent la forme de barils allongés: elles ont souvent 3^m,00 de longueur sur 0^m,80 de diamètre au milieu et 0^m,60 aux deux extrémités, et comprennent alors plusieurs compartiments. A Waltham-Abbey, on se sert d'une tonne simple, ayant 1^m,52 de long sur 0^m,76 de diamètre au milieu. Quelquefois, deux tonnes sont montées sur le même axe: cet axe est en fer et peut être recouvert de bois ou de cuir; la cage qui entoure la tonne porte, à la partie supérieure, un entonnoir pour le chargement et, à la partie inférieure, une ouverture pour le déchargement. A Hounslow,

quatre tonnes sont fixées aux coins d'un cadre carré qui tourne autour d'un axe horizontal : on réalise ainsi une certaine économie d'espace ; en outre, l'arbre échauffé par les frottements ne traverse pas l'intérieur des tonnes.

L'appareil de lissage de la poudrerie de Berne est d'une nature toute spéciale. La poudre grenée est versée dans des sacs en toile, qu'on peut remplir ou vider par une manche latérale ; après le chargement, cette manche est repliée autour du sac. Un arbre vertical tourne au centre d'un plateau circulaire horizontal, muni de nervures dirigées suivant les rayons. Un peu au-dessus du plateau, cet arbre est traversé par un arbre horizontal en fer, qui porte à chaque extrémité un tube cylindrique en bois, mobile autour de son point d'attache et muni de deux disques circulaires, auxquels on peut lier le sac par les deux bouts ; le tube a la même longueur que le sac, mais ce dernier est plus large que les disques. La rotation de l'ensemble du système autour de l'arbre vertical communique au sac un mouvement circulaire analogue à celui d'une roue de voiture.

§ II.

OPÉRATIONS.

En France, la charge d'un compartiment de tonne varie de 200 à 300^l, et la vitesse de 7 à 14 tours par minute. Pour les poudres de chasse (p. 272), on commence d'abord à 5 ou 6 tours, puis on porte progressivement la vitesse à 10, 12 ou 14 tours ; on ralentit quelque temps avant le déchargement, afin d'éviter l'échauffement de la masse et un commencement de fusion du salpêtre et du soufre, qui tendrait à former des grumeaux. La durée habituelle de l'opération est de 24^h pour la poudre de chasse fine, de 36^h pour la superfine et de 48^h pour l'extrafine ; mais on peut sans inconvénient réduire ces durées à 18^h pour les deux premières poudres et à 24^h pour la dernière. Si l'on veut sécher en même temps la matière, il suffit d'ouvrir les portes pendant les dernières heures de l'opération ; mais cette manœuvre est peu praticable pour les poudres à fins grains, surtout pour la poudre de chasse extrafine, à cause de la quantité considérable de poussier qui se dégage. — Pour la poudre

à fusil F₁ (p. 272 et 279), la durée du lissage, qui est en moyenne de 20^a, doit être supérieure à 14^a; la densité gravimétrique de la matière doit passer de 0,850 à 0,937. La poudre à canon MC₃₀ (p. 273) est lissée au moins 1^a; sa densité gravimétrique, après lissage, doit être comprise entre 0,890 et 0,930. Pour les poudres à gros grains (p. 288), la durée du lissage varie, en général, de 6 à 16^a. Autrefois, les poudres des pilons (p. 273) n'étaient lissées que 10 à 12 minutes pour le canon, et 15 minutes pour le mousquet, à la vitesse de 10 à 12 tours par minute. — Les poudres de mine (p. 273 et 282) sont le plus souvent séchées, au moins en partie, dans les tonnes de lissage. On ouvre et ferme alternativement les portes centrales, de manière que la température à l'intérieur de la tonne se maintienne entre 35 et 40°, jusqu'à ce que la matière ne contienne plus que 1 à 1,50 p. 100 d'humidité; on pourrait arriver au même résultat sans fermer les portes, mais le lissage serait plus long et le grain moins beau. La durée totale de l'opération est, en moyenne, de 24^a: on marche à 7 tours par minute pendant 2 ou 3^a, puis à 12 ou 14 tours pendant 7 ou 8^a, puis on ralentit la vitesse. La suppression du séchage réduirait le lissage à une durée de 6 à 12^a.

En Italie, la matière grenée et assortie (p. 288), contenant 1,50 p. 100 d'humidité, est introduite dans la tonne à la charge de 220^a et arrosée de 1 p. 100 d'eau environ; un compteur sert à régler le nombre de tours. La durée moyenne du lissage est de 6^a pour la poudre à canon et de 4^a pour la poudre à fusil, avec une vitesse de 12 tours par minute; le nombre total de tours varie de 2 à 3000, suivant la densité gravimétrique avant lissage et suivant la saison. Les portes restent constamment fermées; l'humidité des grains lissés est de 1 à 1,25 p. 100.

A Wetteren, la charge d'une tonne est d'environ 50^a. La durée de l'opération est de 4^a pour les poudres de guerre et de 5^a pour les poudres de chasse. On procède souvent, pour les poudres les plus fines, à un second lissage de 2^a environ, avec ou sans addition de plombagine destinée à rendre à la matière l'aspect brillant qu'elle avait perdu par l'opération du séchage.

En Allemagne, la charge d'une tonne en poudre de guerre (p. 287) est de 200^a. Pendant la première demi-heure, la vitesse est de 9 tours par minute; on la porte à 12 tours dans la demi-heure suivante, puis à 16 tours. Le nombre de tours réglementaire est d'au moins 3600, ce qui correspond à une durée de 4^a environ. Vers la fin de

l'opération, on ouvre la porte du fond, pour laisser échapper la vapeur d'eau. Par suite du dégagement de chaleur, une partie des grains reste collée au fond de la tonne: cette croûte adhérente paraissant contribuer à la beauté du grain, on ne l'enlève qu'à la fin de la journée, après trois opérations consécutives.

En Russie, les poudres de guerre (p. 287), contenant 2 à 2,50 p. 100 d'eau, sont lissées par charges de 110^l. La vitesse est de 18 à 20 tours par minute; l'opération dure 3^h 1/2, dont 2^h 1/2 avec les portes fermées et 1^h avec les portes ouvertes. La poudre lissée ne renferme plus que 1 p. 100 d'humidité, et la densité gravimétrique a varié, pour les poudres à canon et à fusil, de 0,880 et 0,860 à 0,935 et 0,925.

En Autriche, la charge d'une tonne de lissage est de 125^l, dont 1/3 à 1/2 de poudre essorée et 2/3 à 1/2 de poudre verte. L'opération dure 6 à 10^h.

En Angleterre, la charge d'une tonne (p. 288) est de 181^l,4 environ. La vitesse varie de 30 à 40 tours par minute; elle est moindre pour l'appareil de Hounslow. Les poudres à canon ne sont pas lissées. Pour les poudres à fusil, le lissage est précédé et suivi d'époussetages dans les blutoirs horizontal ou incliné (p. 316), et dure 40^{min}, 3^h 1/2 et 5^h 1/2 pour les poudres RLG, FG et RFG. Quant aux poudres de chasse, elles sont lissées de 10 à 12^h: la vitesse, assez faible pendant les 2 premières heures, est maintenue à 38 tours pendant les 5 heures suivantes, à 20 tours pendant les 3 suivantes, et redevient très-faible pendant les 2 dernières heures. Les poudres de guerre et d'exportation sont soumises, après séchage, à un nouveau lissage avec addition de plombagine ou de graphite, à raison de 56^{gr} pour 181^l,400 de poudre. — Ce graphite est préparé par le procédé de Brodie. A cet effet, on chauffe au bain-marie, dans une marmite en fer, un mélange de graphite grossièrement pulvérisé avec le double de son poids d'acide sulfurique concentré et 14 fois son poids de chlorate de potasse, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'acide chloreux: par une addition de fluorure de sodium, on élimine le peu de silice qui s'y trouve à l'état de fluorure de silicium; après refroidissement, la masse est reprise par l'eau, lavée, séchée et portée au rouge, ce qui réduit le graphite en une poudre extrêmement fine. D'après Löwe, on peut encore calciner du graphite ordinaire avec le double de son poids de carbonate de potasse, dans une capsule en terre munie de son couvercle; on fait digérer le résidu avec de l'acide nitrique étendu; on filtre, lave, sèche et chauffe le graphite

jusqu'au rouge, puis on élimine le fer, les sulfates et les carbonates par une addition d'acide chlorhydrique. La qualité du graphite paraît influencer sur les propriétés balistiques de la poudre : d'après des expériences exécutées à Waltham-Abbey, une poudre qui donnait, avant le lissage, une portée de 353 pieds, a donné 293 pieds après lissage au graphite ordinaire, et 327 pieds après lissage au graphite de Brodie.

A la poudrerie de Berne, on remplit le sac de matières et on l'attache à l'extrémité de l'arbre horizontal, puis on met l'appareil en mouvement autour de l'axe vertical : le sac tourne alors autour de l'arbre horizontal, et la poudre se trouve comprimée contre les saillies du plateau. L'opération dure 1^h 1/2. La matière est ensuite reportée à l'atelier de grenage, où on la tamise pour éliminer la quantité considérable de poussier qui s'est formée. Cette méthode a l'avantage de donner des grains ronds d'une grande densité et d'une régularité remarquable au point de vue du tir à la cible. — Dans les petites poudreries suisses, on se contente de remplir des sacs en grosse toile avec 1^h,5 à 7^h,5 de poudre anguleuse, qu'on y enferme aussi étroitement que possible à l'aide d'un lien, sans toutefois la tasser, et de les faire rouler sur une table en pressant fortement dessus avec les mains. A mesure que la masse diminue de volume, on recule le lien de manière à la comprimer de plus en plus.

§ III.

GÉNÉRALITÉS.

En mettant à part le procédé de lissage un peu primitif employé en Suisse, on voit que les modes d'opération en usage chez les diverses nations semblent différer en plusieurs points : les résultats obtenus n'en présentent pas moins la plus grande analogie.

La perfection du lissage dans les tonnes est, en effet, une fonction directe de quatre éléments principaux : 1^o la durée de l'opération; 2^o la vitesse de l'appareil, tant qu'elle reste inférieure à une certaine limite; 3^o la hauteur de la poudre qui presse sur les couches inférieures; 4^o la grosseur des grains. La seule vitesse à considérer est la vitesse à la circonférence qui, en déterminant la rapidité d'éleva-

tion de la poudre, la force à retomber quand elle a acquis une inclinaison plus forte que son talus naturel. Or, si l'on compare la poudre rifle FG avec l'ancienne poudre à fusil française et qu'on rapporte les vitesses à des tonnes de mêmes dimensions, les éléments se grouperont de la manière suivante :

ESPECE DE POWDRE.	DURÉE du lissage.	VITESSE de la tonne par minute.	ÉPAISSEUR de la couche de poudre.	GROSSEUR des grains.
Poudre rifle FG.	5 ^h 1/2	22 tours 1/2	0 ^m ,25	1 ^m ,26 à 2 ^m ,10
Poudre à fusil, dite B.	36 ^h	10 tours	0 ^m ,39	0 ^m ,8 à 1 ^m ,4

Donc, pour la poudre française, la petitesse du grain et la lenteur de la rotation sont compensées par la durée du lissage et par la pression exercée sur les couches inférieures. Quant à la différence d'aspect extérieur, elle tient moins au lissage proprement dit qu'au mode d'époussetage adopté en Angleterre (p. 316). En général, le lissage court et à grande vitesse, tout en assurant une production considérable, offre peu de garanties au point de vue de la conservation de la forme du grain à l'intérieur de la tonne, et peu de sécurité en raison des chances d'explosion auxquelles il expose : la température de la charge s'élève, en effet, à 50 ou 60°, au lieu de 35 ou 40°, et produit une volatilisation partielle du soufre qui répand dans tout l'atelier une forte odeur sulfureuse.

Nous avons dit que le lissage, détruisant la porosité superficielle de la poudre, en diminue l'hygrométrie, ce qui est une condition favorable à la bonne conservation des produits. La densité réelle augmente avec la durée du lissage, surtout pour des matières contenant plus de 2 ou 3 p. 100 d'humidité. Mais c'est principalement la densité gravimétrique qui s'accroît avec la durée de l'opération, comme le montre le tableau suivant :

DURÉE du lissage.	DENSITÉ gravimétrique.
0 ^e	0,810
4	0,833
8	0,846
20	0,869
25	0,878
30	0,889
42	0,893

La poudre fraîchement préparée et débarrassée de poussier s'enflamme plus facilement avant qu'après lissage, comme l'ont montré des expériences exécutées à Washington et comme l'a fait observer Meyer, dans ses *Vorträge über Artillerie-Technik*, où il rapporte que de la poudre, obtenue par le grenage de galettes, a donné 96 aunes de portée dans le premier cas, et 75 seulement dans le second. Au bout de quelque temps, les rôles sont intervertis, par suite de la différence d'hygrométrie des deux matières : ainsi, après un séjour de 30 ans en magasin, la poudre non lissée ne donnait plus que 36 aunes de portée, tandis que la poudre lissée et conservée 35 ans donnait encore une portée de 42 aunes.

CHAPITRE V.

SÉCHAGE.

La poudre qui, au sortir des tonnes, contient encore une trop forte proportion d'humidité, est soumise soit au séchage naturel, soit au séchage artificiel.

§ I.

SÉCHAGE NATUREL.

Le séchage naturel se fait, comme l'essorage (p. 285), soit à l'air libre, soit dans des ateliers spéciaux : les opérations sont les mêmes, avec cette seule différence qu'on laisse séjourner la poudre sur les draps assez longtemps pour lui laisser perdre le plus d'humidité possible.

En France, les tables de séchage à l'air libre sont formées d'une série de planches légèrement inclinées vers le midi, ayant 2^m,80 de long sur 0^m,66 de large et 0^m,027 d'épaisseur, et maintenues par des lisses en bois qui sont fixées dans des dés en pierre de taille ; les draps sont tirés à l'aide de morceaux de plomb. La poudre est étendue, au moyen d'un râteau en bois, sur une épaisseur variable suivant l'espèce de poudre et qui est, en général, de 0^m,01 à 0^m,02 ; puis on la retourne au bout de 1^h 1/2 à 2^h.

Si la matière est directement exposée, en été, aux rayons du soleil, 3 à 4^h suffisent pour le séchage, et le thermomètre plongé dans la poudre marque de 60 à 70°. A l'ombre, l'opération dure environ

9°, et le thermomètre marque rarement plus de 23°. — En Suisse, les meilleures espèces de poudre sont séchées d'abord à l'ombre, puis au soleil.

Le séchage dans les ateliers dure, en moyenne, de 8 à 10 jours.

Lorsqu'on n'est pas pressé par la fabrication et que l'on a assez d'espace et du soleil, on peut préférer ce mode d'opération au séchage artificiel : il économise, en effet, le combustible et n'altère que d'une manière insignifiante la constitution du grain. Mais les transports occasionnent une main-d'œuvre considérable, car le séchoir doit être situé loin des usines ; de plus, par suite de l'exposition en plein air, la poudre est sale et poussiéreuse et l'époussetage en devient difficile. Enfin, les effets du séchage naturel sont essentiellement variables suivant le temps, et dépendent surtout de l'état hygrométrique de l'atmosphère.

§ II.

SÉCHAGE ARTIFICIEL.

Ce mode de séchage a l'avantage de s'appliquer dans toutes les saisons et de pouvoir produire une dessiccation complète de la matière.

Le séchage artificiel de la poudre a été successivement réalisé de quatre manières différentes :

- 1° Par l'air chaud d'un fourneau ou d'un poêle ;
- 2° Par l'air chauffé au moyen de la vapeur d'eau ou de l'eau chaude ;
- 3° Par l'air froid préalablement séché ou non séché ;
- 4° Par l'exposition dans le vide.

I. SÉCHAGE A L'AIR CHAUFFÉ DIRECTEMENT.

A l'origine, le séchage naturel était seul employé. On chercha bientôt à le perfectionner, en produisant un échauffement artificiel de la matière. Furtenbach rapporte, à la date de 1632, que la poudre était directement séchée sur le feu dans des chaudières en cuivre ; mais ce procédé ne tarda pas à être abandonné, à la suite des accidents qui se produisirent.

On fut ainsi amené à utiliser la chaleur rayonnante du foyer, au lieu de laisser la matière au contact direct de la source calorifique : à cet effet, un poêle, placé au milieu de l'atelier de séchage, était alimenté pendant toute la durée de l'opération. Une série d'accidents, causés par des imprudences, fit transporter le poêle à une extrémité de l'atelier et disposer le foyer proprement dit dans une chambre voisine, complètement indépendante de l'atelier de séchage : un manteau en cuivre, entourant le poêle, était destiné à préserver les matières placées dans les environs d'un échauffement trop rapide. Ce mode de séchage est encore employé dans l'Allemagne du Nord, en Hollande et en Suède. Dans le Harz du Nord, le poêle, revêtu d'un enduit de terre glaise, est placé à l'extérieur de l'atelier, et l'air chaud y pénètre à travers des ouvertures munies de clapets et disposées à la partie inférieure de la cloison séparatrice.

Cette méthode offre, en général, peu de garanties au point de vue de la constance et de l'uniformité de la température : le poêle, qui s'échauffe facilement, se refroidit aussi très-vite. Ce dernier inconvénient peut être, il est vrai, en partie évité par le revêtement en terre glaise adopté dans le Harz.

II. SÉCHAGE A LA VAPEUR OU A L'EAU CHAUDE.

Le séchage à la vapeur a été, pour la première fois, pratiqué en Angleterre, vers 1780. Des plaques de cuivre, sur lesquelles on versait la poudre, servaient de couvercles à des caisses en bois ou à de petits réservoirs, dont les parois conduisaient mal la chaleur et dans lesquels arrivait la vapeur, à travers une série de tubes en cuivre, à une température de 54 à 75°; on remuait constamment la poudre pendant l'opération, pour empêcher qu'elle ne se prit en masse. Cette méthode est encore en usage dans quelques fabriques anglaises, mais elle est depuis longtemps abandonnée dans les grandes poudreries.

Les procédés de séchage artificiel actuellement employés se rattachent à un petit nombre de types, dont le principe commun consiste à faire traverser une couche de poudre d'épaisseur déterminée, étendue sur une table inclinée ou sur des étagères, par un courant d'air chauffé à une température de 40 à 60° au moyen de la vapeur d'eau ou de l'eau chaude.

Avant de décrire les différentes dispositions adoptées pour les appareils de séchage, nous résumerons les principales expériences destinées à déterminer les diverses conditions de leur fonctionnement.

A. Travail des sécheries.

Nous supposerons que l'air, porté à une température déterminée, est chassé sous la table de séchage par un ventilateur animé d'une vitesse connue, et nous examinerons successivement : 1° le mode d'utilisation de la chaleur qu'il renferme; 2° l'influence de divers éléments sur la durée de l'opération; 3° le mode de détermination du débit du ventilateur, correspondant à une vitesse de l'appareil donnée et à une pression sous la table également donnée.

a) Mode d'utilisation de la chaleur.

Toutes choses égales d'ailleurs, le séchage sera d'autant plus rapide et le poids d'air sec à envoyer sous la table d'autant plus faible que la température de cet air sera plus élevée. On sait, en effet, que le poids de vapeur d'eau contenu dans 1^m d'air saturé croît avec la température et que, par suite, le poids d'air sec nécessaire pour évaporer 1^k d'eau diminue avec la température à laquelle se fait la saturation. C'est ce qui résulte du tableau suivant :

TEMPÉRATURE de la saturation.	POIDS DE VAPEUR D'EAU contenu dans 1 ^m d'air saturé.	POIDS D'AIR SEC nécessaire pour évaporer 1 ^k d'eau.
	kil.	kil.
5°	0,007	180,60
10	0,009	137,50
20	0,017	69,59
30	0,031	36,19
40	0,051	20,61
50	0,078	12,71
60	0,122	7,02
70	0,185	3,83
80	0,274	1,95
90	0,423	0,71

Dans la pratique, le poids d'air employé pour ramener la poudre à une humidité déterminée est toujours supérieur au poids théorique, calculé d'après le tableau précédent. En effet, on prend généralement de l'air à la température extérieure et à des états d'hygrométrie variables suivant les conditions atmosphériques; en outre, une portion de la chaleur fournie sert à élever la température de la masse à sécher ou de diverses parties de l'appareil; il faut enfin tenir compte des pertes de chaleur par rayonnement et de celles qui peuvent provenir du mode de séchage lui-même.

Ces différentes causes de déperdition de la chaleur ont été mises en évidence par une série d'expériences exécutées à Esquerdes sur de la poudre de mine ronde à 8,50 p. 100 d'humidité. On avait étendu 1000^g de cette poudre, en une couche de 0^m,13 d'épaisseur, sur une table ayant 9^m,59 de surface: l'air étant pris à la température extérieure de 12°, on notait, toutes les demi-heures, sa température à l'entrée et à la sortie de la matière, et l'on déterminait en même temps l'humidité de la poudre située au fond et au-dessus de la couche. On est ainsi arrivé aux résultats suivants :

DURÉE du séchage.	TEMPÉRATURE DE L'AIR		HUMIDITÉ DE LA POUDRE, POUR 100.			
	à l'entrée de la couche.	à la sortie de la couche.	au fond de la couche.	au-dessus de la couche.	moyenne.	différences.
0 ^h ,00	17°,0	17°,0	8,50	8,50	8,50	
0,50	36,5	23,5	6,65	8,80	7,72	0,78
1,00	39,5	23,5	6,35	8,60	7,42	0,30
1,50	40,0	23,5	5,20	8,75	6,92	0,50
2,00	40,0	24,0	4,10	8,05	6,07	0,85
2,50	39,5	28,0	3,00	7,30	5,15	0,92
3,00	40,0	33,0	2,20	7,40	4,80	0,35
3,50	39,0	32,5	2,10	5,90	4,00	0,80
4,00	37,0	32,0	1,80	3,80	2,80	1,20
4,50	37,5	33,5	1,70	3,65	2,67	0,13
5,00	38,0	34,0	1,80	2,55	2,17	0,50
5,50	38,5	35,0	1,25	2,20	1,72	0,45
6,00	38,5	35,5	1,25	1,80	1,52	0,20
6,50	38,5	36,5	1,00	1,65	1,32	0,20
7,00	38,5	36,5	0,85	1,10	0,97	0,35
7,50	38,5	36,5	0,70	1,15	0,92	0,05
8,00	38,5	36,5	0,70	0,80	0,75	0,17
8,50	38,5	37,0	0,60	0,65	0,62	0,13

Il résulte de ce tableau que le maximum d'évaporation, se rapportant à un travail de 1/2 heure, a été de 1,20 p. 100, soit environ de 2^l d'eau par mètre carré. Il est facile de voir que, dans les conditions de l'expérience, la quantité d'air théoriquement nécessaire pour effectuer cette évaporation était de 200^m par mètre carré. et correspondait à un débit du ventilateur d'un peu moins de 60^l d'air par mètre carré et par seconde : or, le ventilateur employé devait fournir de 60 à 70^l. L'utilisation de la chaleur, dans ce cas particulier, paraît donc satisfaisante.

On peut, en outre, conclure des résultats qui précèdent que l'opération du séchage présente trois phases distinctes. Dans la première, presque toute la chaleur est employée à élever la température de

la poudre, et l'air s'échappe saturé d'humidité à la température extérieure : les couches inférieures se dessèchent, mais il peut arriver que, pour une épaisseur suffisamment grande, l'humidité des couches supérieures augmente. Après la période d'échauffement vient celle du séchage proprement dit : les couches supérieures commencent aussi à sécher, et l'air s'échappe encore saturé d'humidité, mais à des températures croissantes. Enfin, dans la troisième phase, l'activité du séchage diminue et les dernières parties de l'humidité que retient la poudre deviennent de plus en plus difficiles à évaporer : l'air sort non saturé, à une température de plus en plus élevée, et l'utilisation de la chaleur se trouve, par suite, considérablement amoindrie.

On a cherché à utiliser la chaleur que possède l'air à sa sortie de la poudre, dans la dernière partie de l'opération, en le forçant à traverser une seconde couche de poudre plus humide que la première : on pourrait ainsi, avec le même chauffage et en donnant à l'air une pression légèrement supérieure, sécher une quantité de poudre à peu près double dans le même temps. Des difficultés d'installation se sont jusqu'ici opposées à l'application de cette méthode aux tables de séchage ordinaires. Ce système de dessiccation méthodique se trouve, au contraire, en partie réalisé lorsqu'on emploie des étuves, en ayant soin de diriger le courant d'air chauffé de manière que celui-ci passe successivement sur des couches de poudre de plus en plus humides.

b) Durée du séchage.

La durée du séchage varie avec la nature et l'humidité de la poudre, l'état hygrométrique de l'atmosphère, la température et la pression de l'air chaud; mais elle paraît être, dans de certaines limites, indépendante de l'épaisseur de la couche des matières à sécher. Ce dernier point résulte des expériences instituées à Angoulême (1860) sur de la poudre de mine, étendue en couches d'épaisseur variable sur une table de 16^m de surface et maintenue à la température de 50°; le débit du ventilateur était de 69' environ par seconde et par mètre carré de table, avec une pression de 5^{mm},9 d'eau, et l'air s'échauffait de 50° en passant dans le circuit de vapeur. La marche de la dessiccation ayant été suivie, pour chaque essai, de demi-heure en demi-heure, on a obtenu la série des humidités suivantes :

DURÉE du séchage.	CHARGE DE LA TABLE.						
	1200 ^k	1000 ^k	800 ^k	600 ^k	300 ^k	150 ^k	100 ^k
	ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE POUDRE.						
	83 ^{mm}	71 ^{mm}	56 ^{mm}	43 ^{mm}	21 ^{mm}	11 ^{mm}	7 ^{mm}
	HUMIDITÉ MOYENNE DE LA COUCHE, POUR 100.						
0 ^h ,00	8,26	8,00	7,90	7,90	8,43	8,15	8,20
0,50	6,80	5,50	5,80	5,80	5,40	5,20	4,30
1,00	5,60	4,00	4,00	4,00	3,80	3,00	3,70
1,50	4,70	2,00	2,50	2,50	2,00	2,80	2,00
2,00	3,60	1,40	1,50	1,50	1,50	1,80	1,40
2,50	2,70	1,00	0,90	0,90	1,40	1,60	1,20
3,00	2,00	0,50	0,80	0,80	1,00	1,50	0,80
3,50	1,70	0,50	0,70	0,70	0,60	1,00	0,40
4,00	1,00	0,20	0,40	0,40	»	0,30	0,20
4,50	0,70	»	»	»	»	»	»
5,00	0,30	»	»	»	»	»	»

On voit que, pour des épaisseurs de couche inférieures à 71^{mm} et dans les conditions de température et de débit des expériences d'Angoulême, la durée du séchage reste sensiblement constante. Au-dessus de 71^{mm}, cette durée a paru augmenter notablement avec l'épaisseur de la couche : elle a atteint 7^h 50^{mn} pour une charge de 3350^k de poudre, correspondant à une épaisseur de 230^{mm} environ. On pouvait ainsi, dans ces mêmes conditions, sécher 375^k de poudre par mètre carré en 14^h, soit 26^k par heure ; l'air, pris à la température moyenne de 13°, était porté à 63°, et la dépense en houille par 100^k d'eau enlevée, qui était en moyenne de 73^k, a varié de 62^k,4 à 88^k. Ces résultats ne s'appliquent qu'à la poudre de mine.

En général, dans les installations actuelles des séchoirs à vapeur, on peut sécher, par heure et par mètre carré de table, 25^k de poudre de mine et 7 à 15^k de poudres de guerre ou de chasse. C'est surtout pour ces dernières poudres, dont les grains sont plus fins et opposent une plus grande résistance au passage de l'air, que l'on est obligé de diminuer l'épaisseur des couches (p. 307).

c) Débit du ventilateur et pression de l'air.

Le débit du ventilateur varie de 80 à 120' d'air par seconde et par mètre carré de table, et la pression de l'air de 6 à 12^{mm} d'eau.

Les expériences d'Angoulême (1860) ont permis de calculer les débits du ventilateur correspondant à une pression connue sous la table.

A cet effet, on a commencé par charger la table de séchage comme à l'ordinaire, et l'on a déterminé, pour des vitesses du ventilateur croissant de 50 à 300 tours par minute, la série des pressions de l'air en un point de la caisse choisi de manière que l'air n'y possédât pas de vitesse sensible; ces pressions ont été appelées *normales*. Puis on a enlevé la poudre, on a couvert la surface de la table avec des draps et des planches, destinés à empêcher le passage de l'air, et l'on a remplacé les portes antérieures de la caisse par des portes mobiles dont l'ouverture pouvait être modifiée à volonté : on déterminait alors, pour chaque vitesse du ventilateur, les pressions de l'air au point repère de la caisse correspondant à des ouvertures croissantes des portes mobiles.

La représentation graphique des résultats obtenus permettait ainsi de trouver, pour chaque vitesse, l'ouverture correspondant à la pression normale précédemment observée. De la connaissance de cette pression et de la surface totale de l'ouverture, on a pu déduire les débits du ventilateur indiqués dans le tableau ci-après :

VITESSE du ventilateur par minute.	PRESSION normale de l'air sous la table en colonne d'eau.	SURFACE des orifices de sortie.	VITESSE de l'air par seconde.	DÉBIT CALCULÉ du ventilateur par seconde,	
				total.	par mèt. carré.
tours	millim.	mq.	mèt.	litres	litres
300	11,6	0,2324	13,526	1922	120
250	8,5	0,2157	11,661	1527	95
200	5,9	0,1911	9,674	1102	69
150	3,7	0,1665	7,538	767	48
100	1,7	0,1365	5,194	432	27
50	0,5	0,0870	3,161	165	10

Ce mode d'opérer comporte quelques causes d'erreur, dues aux fuites d'air qui pouvaient se produire par les parois de la caisse,

aux irrégularités de vitesse du ventilateur, ainsi qu'aux incertitudes inhérentes à la lecture du manomètre et au tracé des courbes graphiques. Il suppose, en outre, qu'au moment où la pression normale se trouverait réalisée par une ouverture convenable des portes mobiles, la quantité d'air sortant par ces portes serait précisément égale à celle qui traverserait la couche de poudre dans les mêmes circonstances de vitesse et de pression : cette hypothèse paraît justifiée dans les conditions des expériences d'Angoulême. On s'était d'ailleurs assuré que les pressions au point repère, pour une même vitesse du ventilateur, ne variaient pas avec la manière dont les portes mobiles étaient partiellement ouvertes, mais seulement avec la surface totale de l'ouverture.

B. Appareils et opérations.

a) En France et en Italie.

Les appareils de séchage de la poudrerie de Sévran comprennent trois parties distinctes : la sécherie proprement dite, le ventilateur et la chaufferie.

La sécherie se compose d'une caisse rectangulaire, surmontée d'une table recevant la poudre et inclinée d'arrière en avant, dont la largeur, commandée par la nécessité de se prêter facilement aux chargements et aux déchargements, est en général de 2^m ; l'intérieur de la caisse est vide et les parois en sont doublées de feuilles de plomb. Cette caisse est formée d'une double paroi verticale en planches de 0^m,03, assemblées à rainures et languettes, supportées à leur extrémité inférieure par un cadre en chêne, et coiffées à leur partie supérieure par un chapeau également en chêne qui règne sur tout le pourtour de la caisse et au-dessous duquel sont percées, du côté de la devanture de l'usine, quatre ouvertures pour les déchargements ; quatre autres ouvertures, munies de registres en cuivre, permettent de donner accès à l'air chaud du calorifère. Un intervalle vide de 0^m,08 de largeur, destiné à s'opposer au refroidissement, est ménagé entre les deux parois, dans lesquelles est pratiquée, sur la face antérieure, une ouverture fermée par une double porte donnant accès à l'intérieur pour les nettoyages. — La table de séchage est formée par une toile forte, mais cependant perméable à l'air, qui est maintenue contre les parois de la caisse au moyen de liteaux en bois de 0^m,04 de hauteur sur 0^m,025 d'épaisseur ; ces liteaux se logent dans la saillie du chapeau sur les parois, contre lesquelles ils sont serrés

par 36 boulons en cuivre qui traversent la double enveloppe et reçoivent leurs écrous à l'extérieur. La toile, qui a 10^m de surface, repose sur une série de fils de laiton parallèles, de 5^m de diamètre, tendus dans le sens de la largeur de la caisse, à une distance de 0^m,05 l'un de l'autre; ces fils sont rivés, à leurs extrémités opposées, dans deux tringles en bronze tirées en sens inverse au moyen de boulons qui traversent les deux enveloppes et dont les têtes sont encastées dans l'enveloppe extérieure : un espace de 0^m,025 est ménagé, au moment de la mise en place, entre les tringles et la paroi voisine de la caisse, de manière à permettre de remédier, en serrant les écrous, à l'allongement des fils sous le poids de la couche de poudre. Une autre série de fils, disposés dans le sens de la longueur de la caisse, à 0^m,10 les uns des autres, au-dessous des premiers, sert à maintenir leur écartement au moyen d'un petit fil de laiton qui relie les fils transversaux et longitudinaux aux points de croisement. Les premiers fils sont supportés, chacun en trois points, par des lames en bois de 0^m,12 de hauteur sur 0^m,02 d'épaisseur, posées sur champ, lesquelles reposent dans des supports en cuivre fixés sur des chevalets en bois. — Le chargement s'opère en versant la poudre à la partie supérieure de la toile et en l'étalant en couche régulière à l'aide d'un râteau; les ouvertures qui servent au déchargement peuvent être munies de manches en cuir, afin d'éviter le répandage du poussier. La charge d'une table par mètre carré et la durée du séchage varient, pour un même appareil et dans des conditions atmosphériques identiques, avec la nature de la poudre à sécher (p. 291-292). Les principaux éléments de l'opération sont résumés dans le tableau suivant :

ESPÈCE DE POUDRE.	SÉCHAGE par mètre carré de table.			QUANTITÉ de poudre séchée par mètre carré de table		
	Charge.	Épaisseur de la couche.	Durée de l'opération.	en 1 heure.	en 14 heures.	
Poudre de mine ordinaire. . .	200 ^k	0 ^m ,210 à 0 ^m ,230	7 ^h ,0 à 8 ^h ,0	25 ^k	350 ^k	
Poudres de guerre ordinaires.	40 à 45	0,050 à 0,060	3,0 à 4,0	10 à 15	140 à 210	
Poudres de chasse	{ fine. . . . { superfine.	30 à 45	0,033 à 0,050	3,5	9 à 13	126 à 182

Le ventilateur est destiné à donner à l'air une pression suffisante pour lui permettre de traverser la couche de poudre. Il doit fournir, en général, 80 litres d'air par seconde et par mètre carré de surface de table, soit, pour 2 tables de 10^m chacune, 1 600 litres par seconde : les ailettes ont 0^m,52 de long sur 0^m,19 de large, et le diamètre de la circonférence décrite par un point de leurs extrémités est de 1^m,40; la vitesse varie de 600 à 800 tours par minute. La pression sous la table dépasse rarement 6 à 7^m d'eau; pour de trop grandes vitesses, dans le cas des poudres à fins grains, la masse finit par se boursoufler. Le ventilateur, installé dans un cabinet attenant à l'atelier de séchage, est mis en mouvement par une petite machine de la force de 4 chevaux, dont la vapeur d'échappement sert à échauffer l'air chassé sous la table.

La chaufferie se compose (Pl. VI, *fig.* 1) d'une grande caisse rectangulaire en tôle, ouverte en haut et communiquant à sa partie inférieure, au moyen d'une buse en tôle, avec le conduit d'air de la sécherie. Cette caisse, dont la face antérieure est mobile, est enfermée dans une armoire à la partie inférieure de laquelle arrive l'air froid chassé par le ventilateur, et contient, pour chaque calorifère, 14 rangées verticales de serpentins en fer de 0^m,05 de diamètre, débouchant, en haut, dans une boîte carrée en fonte qui distribue également la vapeur à chacune d'elles et, en bas, dans une deuxième boîte semblable où arrivent l'eau condensée et, au besoin, la vapeur excédante; l'appareil est à dilatation libre dans tous les sens. Le fond de la caisse reçoit l'orifice du tuyau d'échappement de l'air chaud, lequel se recourbe pour aller s'enfoncer dans le mur latéral de l'usine, où il est prolongé par un tuyau en maçonnerie de 7^m,50 de longueur sur 0^m,40 de hauteur, qui suit, au-dessous du plancher, la paroi antérieure du séchoir. L'air froid monte jusqu'à la partie supérieure de la caisse, dans laquelle il pénètre pour s'échauffer au contact des serpentins et passer, de là, sous les tables de séchage. La surface de chauffe de l'appareil, correspondant à 1^m de table, est de 5^m environ; la température de l'air est de 56°, le ventilateur faisant 700 tours par minute.

Dans la plupart des séchoirs à vapeur anciennement construits, on avait, sous des formes diverses, installé l'appareil de chauffage directement dans la caisse de séchage, au-dessous même de la toile : cet appareil comprenait 2 ou 3 rangées de tubes en cuivre, placés horizontalement ou suivant la pente de la table, dans lesquels cir-

culait la vapeur. On utilisait ainsi une partie de la chaleur rayonnante des tuyaux, mais les réparations devenaient difficiles et même dangereuses. La vapeur était produite, à 1^m,1 ou 1^m,2 de pression, par une ou deux chaudières placées dans un atelier isolé à 50 ou 60^m de l'usine.

Les séchoirs italiens sont analogues aux séchoirs français. Le ventilateur fait 800 tours par minute et envoie 40 000^m d'air en 10^h. La table de la sécherie, qui a 15^m de surface, est surmontée d'une cage fermée de 2^m environ de hauteur, à la partie supérieure de laquelle était autrefois installé un petit ventilateur destiné à l'extraction de l'air chargé d'humidité; des thermomètres, placés sur les parois de la caisse et dans la couche de poudre, permettent de suivre les variations de température. — La sécherie est chargée une fois par jour : la poudre (p. 292), étendue en couche de 0^m,07 d'épaisseur, s'échauffe graduellement, en 5 ou 6^h, jusqu'à 46°; on laisse alors tomber le feu, et la poudre se refroidit lentement pendant 6^h. La charge d'une table est de 1000^{kg}; le charbon dépensé varie de 5 à 6 p. 100 du poids de la poudre sèche. La matière se trouve ramenée, par l'opération du séchage, de 1,25 environ à 0,5 p. 100 d'humidité.

Quel que soit le mode de séchage adopté, il est évident que l'air chargé de vapeur d'eau doit s'échapper, soit par un tuyau de cheminée spécial, soit par des événements, soit par la porte ou par les fenêtres de l'atelier, que l'on a soin d'ouvrir de temps en temps.

δ) En Allemagne et en Russie.

Les appareils employés en Allemagne diffèrent peu des précédents. Ils se composent d'une caisse en bois inclinée, ayant environ 3^m,50 de long sur 1^m de large : le bord supérieur est muni d'un châssis en bois, dans la feuillure duquel s'engage un cadre garni d'un treillis en fils de laiton; sur ce treillis sont tendues des toiles où l'on verse la poudre. La charge d'une table est d'environ 75^{kg}. A l'intérieur de la caisse se trouvent plusieurs gros cylindres creux en cuivre, ayant 0^m,32 de diamètre sur 1^m,35 de longueur et communiquant avec une chaudière qui les maintient constamment remplis de vapeur chaude; chacun de ces cylindres renferme une série de petits tubes de 0^m,05 de diamètre, ouverts aux deux bouts, à travers lesquels passe l'air froid chassé par le ventilateur. Cet air s'échauffe à l'aide de la chaleur dégagée par la condensation de la vapeur : des robinets placés à l'entrée de l'usine servent à régler l'arrivée de la

vapeur, de manière que la température de l'air ne dépasse pas 60°.

Les séchoirs russes sont semblables aux appareils allemands.

La poudre (p. 292-293) est étendue sur la table en couches de 0^m,04 à 0^m,02; elle est constamment remuée au moyen de râtaeux. Lorsqu'au sortir des tonnes de lissage la matière ne renferme pas plus de 1,50 p. 100 d'humidité, l'opération entière du séchage est habituellement terminée au bout de 5 quarts d'heure; on fait l'épreuve de dessiccation sur 100^g, qu'on porte au bain-marie et qu'on soumet à plusieurs pesées consécutives. Quand ces pesées n'accusent plus de différence, on laisse refroidir la poudre, on la verse dans des tines et on la porte à l'appareil d'époussetage (p. 314).

c) En Angleterre.

En Angleterre, le séchage artificiel est, en raison du climat, le seul employé. Le séchoir se compose d'un bâtiment carré, chauffé à l'intérieur au moyen de tuyaux, alimentés d'eau chaude ou de vapeur par une chaudière qui se trouve dans un abri distant de 30 ou 40^m. On y apporte la poudre (p. 293) étalée sur des plaques de cuivre ou mieux sur des toiles tendues sur des cadres en bois, lesquels se glissent dans les rainures d'étagères qui remplissent la chambre sur une grande hauteur, en laissant entre elles un passage suffisant pour les opérations du chargement et du déchargement. On peut ainsi placer, à Waltham-Abbey, 2 177^t de poudre dans un seul bâtiment. ce qui est le maximum toléré par la loi. La sécherie une fois chargée, la température de l'eau est graduellement élevée, pendant quelques heures, jusqu'à ce que celle de l'air de la chambre atteigne 50 ou 55°: on chauffe ainsi 18^h en tout et on laisse refroidir la poudre dans la chambre même, de sorte qu'une séchée demande environ 24^h. On ouvre de temps en temps les événements placés à la partie inférieure et au faite de l'atelier.

L'emploi de l'eau chaude pour échauffer l'air ne paraît pas présenter d'avantage sur celui de la vapeur d'eau. Il faut, en effet, pour porter l'air à la même température, disposer d'une masse liquide considérable, que l'on est forcé d'échauffer et de mettre en circulation à chaque interruption de marche.

Le séchage dans les étuves exige une main-d'œuvre considérable. et l'échauffement de l'air est loin d'être aussi régulier que dans les systèmes précédemment décrits; mais la dessiccation s'y fait beaucoup plus lentement et, par suite, avec moins de chances d'altération

de la matière, surtout si celle-ci contenait avant séchage plus de 3 à 4 p. 100 d'humidité. Sous ces réserves, l'emploi des sécheries à ventilateur est à la fois plus simple, plus rapide et plus économique que celui des étuves anglaises.

III. SÉCHAGE A L'AIR FROID.

Ce procédé consiste à faire passer de l'air atmosphérique ordinaire dans une ou plusieurs chambres contenant de la chaux vive ou du chlorure de calcium et à l'envoyer, de là, sous les tables de séchage à l'aide d'un ventilateur. L'air arrive par la partie supérieure des chambres et traverse successivement plusieurs couches de matière desséchante.

Cette méthode ne doit être employée que si la chaux ou le chlorure sont à bon marché et d'une utilisation facile ; en outre, elle est longue et consomme beaucoup de force motrice. Mais elle peut, dans certains cas, présenter de réels avantages au point de vue de l'influence du mode de séchage sur la constitution de la poudre. Il résulte d'expériences exécutées à la poudrerie du Bouchet que des grains de poudre prismatique, contenant environ 5 p. 100 d'humidité au moment du séchage, se couvraient d'efflorescences salpêtrées, soit par l'action d'une ventilation à l'air chaud, soit par un essorage à l'air libre ; la ventilation à l'air froid donnait seule des résultats satisfaisants : l'eau évaporée à basse température ne dissolvait alors qu'une quantité de salpêtre insuffisante pour produire une efflorescence sensible.

On se contente assez souvent d'envoyer sous les tables de l'air froid non desséché, en augmentant la pression du courant gazeux. On peut ainsi ramener les poudres de mine, par un séchage de 24 à 30°, à une humidité de 1 à 1,50 p. 100 : dans ce cas, le débit du ventilateur peut être porté à 120' d'air par seconde et par mètre carré de table, avec une pression de 11 à 12^{mm} d'eau. Mais ce mode d'opérer ne paraît applicable ni aux poudres ordinaires de guerre ou de chasse, qui pourraient se volatiliser ou se boursoufler, ni aux poudres denses à gros grains renfermant 2 ou 3 p. 100 d'humidité, qui ne sont qu'imparfaitement desséchées.

IV. SÉCHAGE DANS LE VIDE.

Outre la désagrégation possible de la matière, les procédés de séchage par ventilation ont l'inconvénient d'amener des poussières à la surface des grains et de détruire en partie l'effet du lissage : Laville a proposé de sécher la poudre dans le vide à la température ordinaire, en la plaçant sous la cloche de la machine pneumatique. La matière conserve ainsi son aspect. De plus, la variation de densité des grains est sensiblement plus faible : une poudre desséchée 29 fois varie de densité dans le rapport de 323 à 253, quand on la soumet à la ventilation à l'air chaud, et dans le rapport de 323 à 309, quand on l'expose dans le vide ; cette conclusion est confirmée par la diminution de force balistique qui se produit dans le second cas.

Ce dernier avantage est, dans la pratique, de peu d'importance, car, en général, on ne sèche les poudres qu'une ou deux fois au plus. En outre, la manœuvre de la machine pneumatique exige une force motrice de 12 chevaux, tandis que 2 ou 3 suffisent pour le ventilateur.

CHAPITRE VI.

ÉPOUSSETAGE, ASSORTISSAGE ET ÉGALISAGE.

Les opérations du lissage et du séchage déterminent une production de poussier, en quantité variable suivant la nature de la poudre, dont on débarrasse les matières par un époussetage; il se forme, de plus, une certaine proportion d'écaillés ou d'agglomérations, qu'on élimine par un surégalisage. Il se produit enfin, par le fait du lissage, divers changements dans la forme et dans la grosseur des grains, qui rendent nécessaire un égalisage ou un assortissage définitif de la poudre.

§ I.

ÉPOUSSETAGE.

I. EN FRANCE.

On se sert, en France, pour l'époussetage des poudres séchées (p. 307), de tamis de peau, de zinc, de crins ou de soie, mus mécaniquement ou à la main, et dont les perces sont déterminées d'après la limite inférieure des grosseurs de grains que l'on veut obtenir.

La poudre de chasse fine est époussetée, après surégalisage (p. 317), avec la perce en soie n° 8, les poudres de chasse superfine et extrafine avec la perce en soie n° 12; la proportion des poussiers retirés est d'environ 2 p. 100. L'époussetage de la poudre à canon, dite MC₂₀, se fait avec la perce en peau de 1^{mm}, et la quantité de

petits grains retirée est à peu près de 1 p. 100. On peut épousseter la poudre à fusil, dite F₁, en garnissant le châssis signolet de tamis en peau à la perce de 0^{mm},6 à 0^{mm},7; la proportion de poussier et de fins grains retirée, qui varie, en général, de 30 à 34 p. 100, s'abaisse à 18 ou 20 p. 100, si l'on a fait la séparation des pâtes molles avant le grenage (p. 271). Quant aux poudres à gros grains, elles sont soumises, après séchage, à un nouveau sous-égalisage (cf. p. 288) à la perce de 8^{mm} pour la poudre C₁, et de 11 et 17^{mm} pour les poudres SP₁ et SP₂.

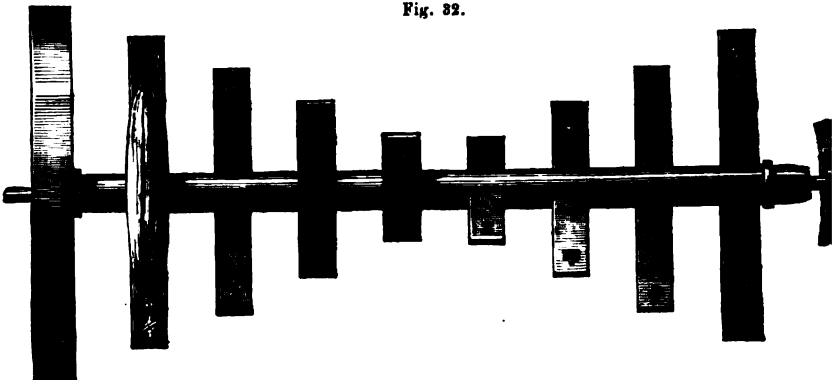
II. EN ALLEMAGNE.

On se contente, en Allemagne, d'épousseter la poudre (p. 309) dans des sacs; cette opération donne en même temps aux grains du poli et du brillant. Le déchet moyen est d'environ 14 p. 100.

On se servait autrefois de sacs en toile disposés, au nombre de 10, dans un atelier en planches hermétiquement clos, et dont les bords étaient attachés à des anneaux de cuivre fixés à la paroi; à côté de ces anneaux avaient été pratiquées des ouvertures ovales, destinées à l'introduction de la charge, qui était de 5 ou 6^l de matière par sac. Dès que les sacs étaient remplis, on les liait et on fermait les ouvertures par des obturateurs: un système de cordes, passant dans des agrafes fixées à l'autre extrémité des sacs et fonctionnant à l'aide d'un levier installé sur le toit de l'usine, permettait de communiquer aux sacs un mouvement vertical de va-et-vient.

L'appareil d'époussetage aujourd'hui employé à la poudrerie de Dresde (*fig. 32*) se compose d'un arbre portant 8 bras disposés en

Fig. 32.



spirale, de manière que la charge de l'arbre soit parfaitement uniforme tout autour de l'axe. Chacun des bras, long de 1^m,70 et large de 0^m,10, est muni sur ses deux faces de crochets en cuivre permettant d'y fixer 2 sacs; ces derniers, qui ont 1^m,32 de longueur sur 0^m,26 de diamètre, portent des agrafes en cuir à leurs deux extrémités.

L'installation de Spandau est identique : deux arbres, un peu plus longs que ceux de Dresde, sont disposés l'un à côté de l'autre.

Quand les sacs sont en service, on les déboucle, avant le chargement, pour les débarrasser du poussier qui remplit les pores, et l'on examine si le tissu en est suffisamment serré. On les charge alors soit de 5^l de poudre, comme à Dresde, soit de 7^l, comme à Spandau, on les ferme et on les attache aux bras de l'arbre; puis on met en marche à la vitesse de 15 tours par minute. Les grains roulent à l'intérieur du sac et, par le frottement soit contre les grains voisins, soit contre la toile, acquièrent un certain degré de brillant, tandis que le poussier est chassé à travers les pores du tissu. A Dresde, pour éviter le répandage du poussier, on a tendu une toile devant l'appareil. La durée de l'opération est, dans cette poudrerie, de 1^h pour la poudre à canon et de 2^h pour la poudre à fusil. A Spandau, les durées sont moitié moindres; elles restent toutefois assez incertaines, car le surveillant a l'ordre de livrer de la poudre propre et brillante, et se trouve autorisé à arrêter la machine quand il le juge à propos, pour soumettre la matière à un examen.

Les grains qui passent à travers le sac sont de nouveau époussetés dans un sac spécial en toile fine et mélangés à la poudre à fusil. Le poussier est ramassé et soumis à un lessivage destiné à en extraire le salpêtre. Ce poussier se compose principalement de charbon : une analyse a donné 74,0 de charbon pour 14,5 de soufre et 11,6 de salpêtre. (Cf. p. 205.)

En Suède, les poussières d'époussetage sont portées à la poudre de mine.

III. EN ANGLETERRE.

En Angleterre, la poudre (p. 310) est époussetée dans des blutoirs cylindriques à axe horizontal ou incliné. Cette opération constitue, en réalité, un véritable lissage, destiné à rendre aux surfaces des grains leur compacité et leur éclat primitifs, altérés par le séchage.

Le blutoir à axe horizontal a 2^m,44 de long sur 0^m,76 de dia-

mètre; il est formé d'une carcasse en bois recouverte d'une toile métallique. Le chargement s'opère par une porte latérale et le déchargement par l'un des fonds, qu'on retire en donnant en même temps une légère inclinaison à l'axe du blutoir, au moyen d'un levier et d'une corde qui supportent le tourillon. L'appareil entier est enfermé dans une cage. La charge d'un blutoir varie de 600 à 700^k, et le nombre de tours par minute de 38 à 40.

Le blutoir à axe incliné a 2^m,44 de long sur 0^m,504 de diamètre; sa pente est d'environ 1/10. Il ne possède pas de porte latérale; ses deux extrémités sont ouvertes et, dans celle qui est la plus élevée, pénètre le bec de la trémie qui déverse le grain et qui reçoit le choc de trois tasseaux placés sur l'axe du blutoir. Le grain ne fait que parcourir le cylindre d'un bout à l'autre. La vitesse est d'environ 40 tours par minute.

La poudre à canon, qui ne doit pas être lissée, est, après le grenage, époussetée pendant 5^a dans le blutoir horizontal, où elle repasse pendant 2^a après le séchage. La poudre rifle LG est époussetée 1/2 heure au blutoir horizontal, lissée 40 minutes, séchée et passée au blutoir incliné. La poudre FG est passée au blutoir incliné, lissée 3^a 1/2, séchée et mise 2^a dans le blutoir horizontal. La poudre rifle FG est passée au blutoir incliné, lissée 5^a 1/2, repassée dans le même blutoir, séchée et mise quelque temps dans le blutoir horizontal. Les poudres à gros grains ne sont pas époussetées: elles sont simplement soumises à un égalissage. Pour les poudres de chasse, la toile métallique est remplacée par un canevas ou par une toile de lin: chacune de ces surfaces donne au grain un aspect spécial. (Cf. p. 293.)

L'emploi des blutoirs pour l'époussetage paraît préférable à celui des tamis ou des sacs, surtout pour les poudres soumises à un double lissage. Il nécessite, sans doute, une installation un peu plus compliquée, mais la perfection relative qu'il apporte à la surface du grain et l'économie dans la main-d'œuvre suffisent pour compenser cette faible augmentation de dépense.

§ II.

ASSORTISSAGE ET ÉGALISAGE.

En France, il n'y a pas d'assortissage proprement dit : chaque poudre a sa fabrication spéciale. Le surégalisage, qui précède l'époussetage (p. 313), s'effectue sur des tamis qui ne diffèrent des premiers que par la dimension des perces. La poudre de chasse fine est surégalisée, après séchage, avec la perce en peau de 1^{mm}, la poudre de chasse superfine avec la perce en peau de 0^{mm},65, la poudre de chasse extrafine avec la perce en soie n° 1, et la poudre F₁ avec la perce en peau de 1^{mm},2; cette dernière poudre donne un déchet d'environ 10 p. 100 de gros grains. Pour la poudre MC₁₀₀, le surégalisage se fait, avant le séchage, avec la perce en peau de 3^{mm}, et la quantité de grains trop gros varie de 1 à 2 p. 100, suivant que la toile de la tonne-grenoir est plus ou moins propre.

En Allemagne, l'appareil d'assortissage se compose d'un cadre en bois, suspendu au plafond par 4 courroies en cuir et portant un système de 10 tamis, munis chacun de deux toiles métalliques dont les mailles ont respectivement 1^{mm},04 et 0^{mm},67 de côté. Les grains de canon et de fusil (p. 315) traversent la toile supérieure, la poudre à fusil seule traverse la toile inférieure. Le couvercle porte un entonnoir où l'on verse la matière : la poudre à fusil tombe, par une manche en cuir, dans une tine placée au-dessous de chaque tamis; les grains restés sur la toile supérieure sont humectés et portés à la presse (p. 260). Deux ouvriers impriment au système 120 oscillations. La charge d'un compartiment est de 2^l,5, et l'opération dure en tout 5 minutes. (Cf. p. 287.)

En Russie, l'appareil d'assortissage est entièrement semblable à celui de Spandau.

En Danemark, on se sert d'un cylindre entouré d'une toile métallique en fils de laiton et reposant sur deux chaises, avec une inclinaison de 5°; un ventilateur disposé latéralement chasse le poussier dans une chambre spéciale, et la poudre tombe dans une caisse placée à 0^m,15 en dessous. La toile métallique a, dans les différentes parties du cylindre, des mailles plus ou moins larges, et à chaque compartiment correspond une caisse spéciale : les perces vont en augmentant à mesure que le grain descend. Le poudre est versée à

la partie supérieure par un entonnoir. Les matières ainsi assorties sont, en outre, surégalisées et époussetées.

En Suisse, l'égalisation se fait sur un système de tamis inclinés, d'ailleurs analogues à ceux qu'on emploie en France.

En Italie, l'égalisation se fait, en même temps que l'époussetage, dans un blutoir ayant 3^m,50 de longueur sur 0^m,35 de diamètre moyen et formé de deux toiles métalliques distantes de 0^m,08. La vitesse est de 12 tours par minute pour la poudre à canon, et de 8 à 9 tours pour la poudre à fusil (p. 309); un blutoir débite, en 10^s, 800^g de la première poudre et 500^g de la seconde.

CHAPITRE VII.

MÉLANGE.

§ I.

EN FRANCE.

La tonne de lissage constituant l'un des appareils de mélange les plus parfaits que l'on connaisse, on peut admettre que les grains d'une même lissée ont une densité suffisamment homogène ; mais, si l'on veut composer un lot d'une poudre déterminée, il peut arriver que les diverses lissées possèdent des densités sensiblement différentes. Il faut donc procéder à un mélange méthodique de la matière (p. 313). Pour cela, on prélève sur chaque lissée un échantillon moyen, dont on prend la densité réelle 24^{e} au moins après la fin du séchage ; puis on porte les barils qui composent chaque lissée à l'appareil de mélange, où ils sont versés dans la proportion convenable pour obtenir une densité finale comprise entre les limites réglementaires. On a soin, d'ailleurs, de conduire l'opération de manière que la densité gravimétrique, le nombre de grains au gramme ou au kilogramme et l'humidité des produits mélangés satisfassent également aux conditions imposées.

L'appareil de mélange récemment installé à la poudrerie de Sévran comprend un système de 8 trémies en bois, sans fond, disposées deux à deux vis-à-vis l'une de l'autre à la partie supérieure d'un châssis de 1^m,80 de hauteur ; chacune d'elles peut contenir un peu plus d'une lissée de poudre, qui est d'environ 300^g, et présente, à sa partie inférieure et vers le milieu de l'appareil, une ouverture munie d'une porte mobile qu'on peut lever plus ou moins, de manière à

laisser écouler la poudre en couche plus ou moins épaisse. Au-dessous de chaque trémie se meut une toile sans fin, qui reçoit la poudre et la conduit sur une toile centrale dont le mouvement, parallèle à l'axe de l'appareil, est perpendiculaire à celui des premières toiles et dont la vitesse est 10 fois moindre. A chaque tour, la toile centrale verse dans un baril, placé à une extrémité de l'appareil, les couches de poudre d'épaisseur uniforme qu'elle a successivement reçues des diverses trémies : elle se meut sur 5 rouleaux en bois de hêtre, dont l'un est porté par un arbre à manivelles disposé à l'autre extrémité ; cet arbre est, en outre, muni de deux vis sans fin engrenant avec des pignons dentés montés sur deux arbres parallèles, qui commandent le mouvement des premières toiles. Un chariot placé en avant de la toile centrale porte 2 barils, dont l'un reçoit la poudre mélangée ; dès qu'il est rempli, on pousse le chariot pour amener le baril vide au milieu, et l'on enlève le baril plein. L'appareil doit être complété par l'installation d'un tamiseur mécanique, destiné à éliminer le poussier ou les écailles qui auraient pu se former pendant l'opération même du mélange.

Si l'on opère sur la poudre SP₃, la hauteur des orifices inférieurs des trémies étant de 0^m,04 et la vitesse des volants à manivelle de 30 tours par minute, la durée de remplissage d'un baril de 60^l est de 1 minute environ. Pour mélanger un lot de 12000^l, par exemple, on commence par faire 5 mélanges partiels de 2400^l en versant, à 5 reprises successives, 1 lissée dans chaque trémie ; chacun de ces mélanges partiels est ensuite versé dans l'une des 8 trémies, pour opérer le mélange final. La durée totale de l'opération est ainsi de 6 à 7^m.

§ II.

EN ALLEMAGNE.

En Allemagne, où les poudres de guerre sont soumises à un assortissage (p. 317), les diverses tines d'une même espèce de poudre peuvent contenir des grains de grosseurs et de densités différentes : on procède également à des mélanges partiels, suivis d'un mélange général.

L'appareil consiste en une forte poutre verticale, à section circulaire, suspendue à la toiture de l'atelier et supportant, par son extrémité inférieure et à une distance du sol d'environ 1^m,20, une série de planches disposées en cercle; ces planches portent elles-mêmes 6 entonnoirs en cuivre qui vont aboutir dans un tube commun, situé sur le prolongement de la poutre verticale. La charge d'un entonnoir est, à Spandau, de 100^l et, à Dresde, de 200^l. A l'extrémité inférieure du tube central se trouve une manche en cuir qu'on peut fermer au moyen d'une ficelle, de manière à arrêter l'écoulement de la poudre.

On opère les mélanges partiels en fermant la manche en cuir, versant 2 ou 4 tines dans chaque entonnoir, ouvrant la manche et recueillant la poudre dans une tine placée en-dessous : 12 tines à Spandau, 24 tines à Dresde constituent un mélange partiel. Lorsqu'on a ainsi obtenu soit 12, soit 6 mélanges partiels, on procède au mélange général en opérant simultanément sur 1 ou 2 tines de chacun d'eux, jusqu'à épuisement complet de la matière.

Des appareils de mélange analogues sont installés en Russie, en Autriche et en Italie (p. 318).

CHAPITRE VIII.

EMBARILLAGE ET EMPAQUETAGE.

§ I.

EN FRANCE.

La poudre de guerre mélangée est portée à l'enfonçage, pesée dans un baril préalablement taré et embarillée. Au xvii^e siècle, la poudre était enfermée dans des sacs, placés eux-mêmes dans des barils : c'est le mode d'enfonçage encore usité en Allemagne. Au commencement du siècle suivant (1704), les sacs furent remplacés par des barils : le baril proprement dit était garni intérieurement d'un drap, rempli de 50^l de poudre et introduit dans un second baril, appelé chape. Ce procédé s'est conservé jusqu'à nos jours, avec cette différence que le drap intérieur a été supprimé. Le baril a 0^m,63 de hauteur, et son plus grand diamètre est de 0^m,45 : il est formé de 14 douelles, qui ont 0^m,013 d'épaisseur aux extrémités et 0^m,010 au milieu ; les deux fonds se composent chacun de trois parties, et les cercles, au nombre de 20, sont réunis aux deux extrémités du baril. Quand on s'est assuré de l'exécution de toutes les prescriptions réglementaires, on ferme le baril et on l'introduit dans sa chape. Sur l'un des fonds de celle-ci, on inscrit l'année et le lieu de la fabrication, l'espèce de la poudre (autrefois P.C. ou P.M., poudre à canon ou à mousquet), la vitesse moyenne et, s'il y a lieu, la portée. — Aux barils enchapés de 50^l on a substitué, dans ces dernières années (1872), des caisses rectangulaires formées d'une solide enveloppe en bois, complètement doublée de zinc à l'exté-

neur et enchapée dans une seconde enveloppe en bois soigneusement assemblée; une ouverture rectangulaire, fermée par un tampon doublé de zinc, permet d'y puiser la poudre à l'aide d'une main en cuivre. Chaque caisse pleine, d'une contenance de 50^l, pèse 80^l environ.

Les poudres de chasse sont empaquetées dans des boîtes en fer-blanc mince, soudé sur les arêtes des fonds, dont les contenances sont de 2^l, 4^l, 5^{hectog.}, 2^{hectog.} et 1^{hectog.}; ces boîtes sont vertes pour la poudre de chasse fine, argentées pour la superfine et dorées pour l'extrafine. L'un des fonds porte une ouverture circulaire qui, pour les boîtes de 4 et 2^l, est fermée par un bouchon de liège, que l'on coupe au ras et sur lequel on colle l'étiquette indiquant la quantité de poudre, le prix et le lieu d'origine. Les boîtes de moindre contenance sont bouchées par une capsule en plomb, dont le fond est embouti à l'intérieur au moyen de l'outil à dilater; on place un rond de carton sur la capsule, et le tout est recouvert par une étiquette. Les boîtes sont enveloppées dans une ou deux feuilles de papier; le papier joseph et le papier de soie, employés autrefois, sont aujourd'hui remplacés par du papier plus fort. Après le pliage, les boîtes sont placées dans de solides caisses rectangulaires en bois, qui sont plombées après le chargement: le fond est consolidé par 2 barres transversales; le dessus est simplement fixé par des vis en fer. Chaque caisse contient 25^l. — Le mode actuel de fermeture des boîtes présente plusieurs inconvénients. La capsule en plomb, qui est difficile à enlever et à remettre, laisse quelquefois échapper de la poudre à l'intérieur des caisses; les bouchons à vis, que l'on a également essayés, forment saillie sur le fond et déchirent les papiers. En outre, l'étiquette se colle difficilement en hiver et se décolle rapidement en été. On a récemment proposé un système de boîtes agrafées, dont les feuilles sont à recouvrement les unes sur les autres et qui sont fermées à l'aide d'une glissière maintenue par un morceau de carton; l'étiquette est collée à la fois sur le carton et sur la glissière. — En Belgique, les poudres de chasse sont enfermées dans de petites bouteilles en fer-blanc.

Les poudres de chasse superfine et extrafine destinées à l'exportation sont enfermées dans des sacs, introduits eux-mêmes dans des barils.

La poudre de mine est également versée dans des sacs en toile grise, à tissu serré, contenant 25 ou 50^l, et ceux-ci sont enfermés

dans des barils qu'on plombe après le chargement. Sur l'un des fonds figurent la contenance, l'année de la fabrication et le nom de l'établissement producteur.

Pour les poudres destinées à des transports sur mer, on se servait, au commencement de ce siècle, de caisses en bois doublées de plomb. Depuis 1820, on a adopté des caisses en cuivre, fixées à l'intérieur de caisses en bois au moyen de vis en cuivre. On a observé qu'au bout de quelque temps, il se forme sur les parois de la caisse un dépôt de sulfure de cuivre : peut-être le zinc ou l'étain seraient-ils préférables à ce point de vue.

§ II.

EN ALLEMAGNE.

On se sert, à Spandau, pour le pesage de la poudre à enfoncer, d'une balance spéciale, dont l'un des plateaux est formé par un récipient tronc-conique en tôle qui porte, à la partie supérieure, un entonnoir pour l'introduction de la matière et qui se termine, à la partie inférieure, par une douille munie d'un obturateur : l'autre plateau est remplacé par un poids suspendu à un crochet, destiné à faire équilibre au récipient ; un second crochet sert à suspendre le poids correspondant à la quantité de poudre que l'on veut peser. Pour faire l'opération, on suspend les deux poids, on pousse l'obturateur et l'on verse la poudre dans le récipient jusqu'à ce que l'équilibre soit établi ; puis on retire l'obturateur et on laisse écouler la poudre dans le baril placé en dessous. Les barils contiennent 52^l,5 à Spandau, et 50^l à Dresde.

Aux xvii^e et xviii^e siècles, la poudre était enfoncée dans des barils revêtus d'un enduit d'huile de lin, pour les préserver de l'humidité. On a fait à ce sujet, à Hanovre, des expériences intéressantes (1780), dont on n'a peut-être pas tiré tout le parti désirable : des barils pleins de poudre ayant été enduits de colle forte, enveloppés dans du papier imprégné d'alun et trempés dans de la poix, un séjour d'un mois sous l'eau a laissé la poudre complètement intacte. C'est également en 1780 que paraissait, en Prusse, une Instruction prescrivant de verser la poudre dans des sacs en toile

qu'on plaçait dans des barils, introduits eux-mêmes dans d'autres barils un peu plus grands. Ce mode d'enfonçage fut bientôt abandonné, et l'on versa directement la poudre dans les barils, en s'assurant au préalable qu'ils ne présentaient aucune fissure. Ce dernier procédé n'était pas sans exposer à de réels dangers : après le remplissage du baril, les cercles supérieurs sont enlevés, les autres sont plus ou moins soulevés, de telle sorte que les douelles peuvent s'écarter et donner passage à des grains de poudre, qui s'écrasent au moment de l'enfonçage ; la présence d'un grain de sable ou même d'un morceau de bois sous le marteau de l'ouvrier peut alors suffire pour provoquer une explosion.

La poudre est aujourd'hui versée dans un sac, qui est ensuite fermé et introduit dans un baril. Les cercles sont exclusivement en bois de saule écorcé, qui est beaucoup plus rarement piqué des vers que le bois non écorcé ; on donne, en outre, la préférence aux bois coupés en hiver, qui durent plus longtemps que les bois coupés en été. Les barils sont enfoncés à l'aide de marteaux en bois. Sur l'un des fonds est collée une étiquette jaune pour la poudre à fusil, rouge pour la poudre à canon, indiquant la densité gravimétrique, l'année et le lieu de la fabrication, le numéro de la livraison, et portant, au-dessous du lieu d'origine, le timbre de la Commission d'épreuves.

La poudre prismatique est embarillée dans des caisses de 50^l, ayant environ 0^m,60 de longueur sur 0^m,30 de largeur et 0^m,45 de hauteur. Avant de remplir la caisse, on place une plaque de feutre contre l'une des petites faces ; on dispose ensuite les prismes en rangées régulières, on étend une seconde plaque de feutre sur la dernière rangée et l'on assujettit le couvercle au moyen de vis.

La poudre destinée à la marine est placée dans des caisses en cuivre, à fermeture hermétique.

En Russie, les procédés d'emballage sont identiques à ceux de Spandau.

En Autriche, l'emballage des poudres de guerre se fait à peu près comme en Prusse. Les sacs de toile ont 0^m,90 de diamètre sur 1^m de long. Les barils, qui sont de 100^l, ont pour hauteur 0^m,70 et pour plus grand diamètre 0^m,50 ; ils sont formés de 23 douelles, avec 2 fonds et 12 cercles. On emploie aussi, mais plus rarement, des barils de 50^l.

§ III.

EN ANGLETERRE.

Les poudres de guerre sont mises directement dans des barils de 45^l,36 (100 livres), en bois de chêne de Québec, ayant 0^m,53 de hauteur et 0^m,43 de diamètre maximum. Les douves et les fonds ont de 0^m,012 à 0^m,015 d'épaisseur; les cercles sont au nombre de 7, dont 5 en bois de châtaignier ou de frêne non écorcé, et 2 en cuivre de 2^{mm},5 d'épaisseur, placés aux deux extrémités. Ce mode d'enfonçage de la poudre dans une seule enveloppe n'offre pas de grands inconvénients, parce que les poudres anglaises, toutes fabriquées aux meules et bien lissées, ne donnent presque pas trace de poussier; en outre, le procédé de confection des barils leur assure une solidité bien supérieure à celle des barillages français ou allemands. Les poudres sont expédiées et conservées, sans plus de précautions, dans toutes les colonies anglaises, sauf dans l'Inde, où on les transvase dans des barils fabriqués sur place. L'un des fonds du baril porte les indications suivantes (Ordonnance du War-office, 28 juin 1860): nom de la poudrerie nationale ou du fabricant, nature et poids de la poudre, date du séchage, numéro du lot (100 barils), tare du baril au moment de l'embarillage.

Les poudres de commerce sont enfermées, soit dans des barils semblables à ceux que nous venons de décrire et dont la contenance est de 100, 50, 25 et 12,5 livres, soit dans des boîtes analogues à celles des poudres de chasse françaises.

Pichat, à qui l'on doit le mode d'enfonçage usité en Angleterre (1810), recommande de ne remplir que les 9/10 du baril, afin que les mouvements intérieurs de la matière l'empêchent de se mettre en boules ou en roches. C'est encore pour cette raison que, tous les ans, on fait rouler les barils sur le sol du magasin à poudre recouvert d'une forte plaque de cuir.

§ IV.

EXPÉRIENCES DE PIOBERT, DE FADÉIEFF ET DE GALE.

On s'est souvent préoccupé du danger résultant de la conservation en magasin de grandes quantités de poudre. Dès 1840, Piobert proposait de mélanger les grains avec $1/3$ environ de poussier extrêmement fin, destiné à combler tous les interstices et à ralentir la vitesse d'inflammation de la masse; on pouvait également employer du salpêtre, du soufre ou du charbon pulvérisés. Dans ces conditions et d'après les expériences de Piobert, la vitesse d'inflammation serait de $0^{\text{m}},018$ à $0^{\text{m}},300$ par seconde, suivant l'état de compression de la matière.

Après Piobert, Fadéieff a entrepris une série d'essais qui l'ont conduit au procédé suivant (1844). Un mélange de graphite et de charbon de bois pulvérisé est intimement mêlé, dans des tines, avec le double de son poids de poudre : le tout est versé dans des barils, que l'on choisit aussi cylindriques que possible et dont le fond est recouvert d'une couche de graphite-charbon de $0^{\text{m}},05$ à $0^{\text{m}},06$ d'épaisseur, préalablement comprimée à la presse; enfin, le baril étant presque complètement rempli, on soumet la matière à une nouvelle compression, on la recouvre d'une seconde couche de graphite-charbon et l'on ferme le baril. Le graphite communique à toute la masse des propriétés plastiques, qui donnent de la compacité au mélange et empêchent les grains de poudre de se séparer par le choc. — Un pareil mode d'embarillage ne rend pas seulement la poudre très-difficilement inflammable : quand l'inflammation se produit, la matière brûle lentement et sans explosion. Une masse de poudre de 32^{t} , non compris le graphite-charbon, mettait de 67 à 75 secondes à brûler complètement, en sorte que la vitesse de combustion était de 6 à 7^{m} par seconde, c'est-à-dire à peu près moitié de celle des galettes de composition; la gerbe de feu qui sortait de la tonne avait de $1^{\text{m}},50$ à 2^{m} de longueur. On pouvait, sans aucun danger, rester auprès du baril, qui ne subissait lui-même aucune détérioration. Fadéieff observa, en outre, que la poudre mélangée de graphite-charbon devenait, par cela même, beaucoup moins hygrométrique. Quand on veut mettre la poudre en service, il faut la tamiser; le graphite-charbon ainsi séparé peut servir à un nouvel enfonçage.

Gale a enfin proposé une troisième méthode, qui a fait l'objet d'un examen approfondi de la part de la Commission anglaise des armements (20 juin 1866). On chauffe du verre ordinaire jusqu'au blanc et on le plonge subitement dans l'eau froide, pour le convertir en une poussière fine qu'on mélange avec la poudre dans le rapport de 2, de 3 ou de 4 à 1, suivant que l'on veut obtenir une matière simplement inexplosible ou tout à fait incombustible. Après cette préparation, on peut, en effet, transporter la poudre sans le moindre danger et même la jeter dans le feu. Il faut encore la tamiser avant de s'en servir.

Si séduisants que paraissent au premier abord ces divers procédés d'embarillage, ils présentent des difficultés pratiques qui en proscrivent absolument l'application. Dans le cas où les besoins de poudre seraient urgents, par exemple au moment d'une déclaration de guerre, le tamisage causerait une perte de temps tout à fait inadmissible, en supposant que l'on ait les moyens de l'effectuer. En outre, cette opération même du tamisage ultérieur est une source de dangers beaucoup plus sérieuse que le fait de la conservation de la poudre en magasin. Dans le procédé de Fadéieff, en particulier, le graphite forme autour du grain, après le tamisage, une enveloppe adhérente qui diminue la vitesse d'inflammation de la charge, altération dont l'effet est surtout sensible pour les armes de petit calibre; et, s'il est vrai, d'après Fadéieff, que le mélange de la poudre avec le graphite donne, pendant quelques jours, de bons résultats au point de vue de l'hygrométrie, il en est tout autrement au bout d'un séjour de plusieurs années en magasin : par suite de l'intimité du mélange, il arrive nécessairement que le charbon cède peu à peu à la poudre une grande partie de son humidité.

CHAPITRE IX.

EMMAGASINAGE.

§ I.

MAGASINS A POUFRE.

En France, le magasin à poudre est un bâtiment ordinaire en pierre, planchéié en bois; les murs ont 0^m,50 à 0^m,60 d'épaisseur, et le plancher est surélevé au-dessus du sol environnant, afin de préserver l'intérieur de l'humidité. La porte et les volets, qui sont à deux battants, sont doublés avec des feuilles de tôle. Le bâtiment est rectangulaire; il est enveloppé par un mur d'enceinte de 3^m de hauteur, entouré lui-même d'un fossé; on entre à l'intérieur par un couloir couvert. Le magasin à poudre doit être en dehors des villes et à une distance minimum de 200^m de toute habitation. D'après une instruction de l'Académie des sciences, il doit être éloigné d'au moins 100^m de toute ligne télégraphique; sinon, les fils doivent communiquer sous terre, et l'on installe dans le voisinage de la ligne un paratonnerre de 15 à 20^m de hauteur.

En Allemagne, les magasins à poudre sont construits en pierre ou plutôt en bois, avec une couverture légère; les parois intérieures sont le plus souvent préservées de l'humidité au moyen d'une couche de paille. L'entrée est habituellement dirigée vers l'est. Le bâtiment est entouré d'un fossé et d'une terrasse.

En Suède, les magasins sont ordinairement en pierre. Aux parois sont fixés de gros tenons en bois, qui font saillie à l'intérieur et sur lesquels on cloue des planches que l'on recouvre d'un enduit à la chaux.

En Angleterre, les magasins des poudreries sont des abris construits sur le type ordinaire et le plus souvent situés au bord de la Tamise, afin de faciliter l'embarquement des produits. Les poudres de l'État sont, en outre, réparties dans de grands dépôts, placés en divers points choisis en vue de la défense du royaume et de la facilité de l'approvisionnement des flottes. Le dépôt de Purfleet se compose de 5 magasins distants de 25^m les uns des autres, ayant 50^m de long sur 16^m de large, et dont les grandes faces sont parallèles, les petits côtés étant sur le même alignement. Ces magasins sont voûtés à l'épreuve de la bombe, et chacun d'eux est formé de deux berceaux dont l'axe est suivant la longueur du bâtiment et dont la hauteur sous la clef est d'environ 8^m. Des portes sont pratiquées aux deux extrémités et sur le milieu de la face intérieure de chaque berceau; le système de ventilation est complété par des fenêtres et des soupiraux placés de distance en distance. Toutes les parties métalliques sont en bronze ou en cuivre. Les magasins sont enfermés dans un mur d'enceinte, qu'on ne franchit qu'après avoir chaussé des sandales dans une pièce placée devant la porte d'entrée : tous les chemins qui en partent sont planchiés à claire-voie, et les transports s'y font à l'aide de chariots roulant sur des rails en bronze. Enfin, des pièces de charpente transversales divisent chaque magasin en un certain nombre de compartiments égaux. — Quant aux poudres chargées sur les navires de guerre, William Newton a proposé de les inonder, en cas d'incendie, à l'aide d'un système de tubes qui mettent le magasin en communication avec la mer et sont bouchés par des rondelles de gutta-percha : celles-ci se ramollissent par la chaleur, à tel point que l'eau se précipite aussitôt et noie les poudres.

Les magasins à poudre doivent être tout spécialement préservés de l'humidité. Si le sous-sol est humide, on recouvre les murs, dès qu'ils se sont élevés de 1^m au-dessus du sol et en tous cas un peu au-dessus du plancher intérieur, d'une épaisse plaque de plomb qui dépasse le ravalement d'environ 0^m,04 et qui est légèrement recourbée vers le bas, afin d'empêcher l'eau d'y séjourner; puis on poursuit la construction. Si l'humidité arrive de l'extérieur, en raison du régime des pluies, on recouvre les parois intérieures d'un enduit siccatif, après les avoir séchées à l'aide d'un fourneau mobile; cet enduit se compose de 1 partie de blanc de plomb pour 10 d'huile de lin, avec 2,2 de cire ou 13 de résine. Si le climat est, en outre, très-humide, on revêt les murs d'une couche de corps mauvais conduc-

teurs, et l'on place dans le magasin même des vases contenant de la chaux ou d'autres substances absorbantes; mais il ne faut pas perdre de vue que ces substances peuvent rendre à une atmosphère sèche une partie de leur humidité. En général, le meilleur moyen pour préserver les bâtiments de l'humidité consiste à les aérer fréquemment, quand le temps est sec; on ouvre la porte et les fenêtres au lever du soleil, pour les fermer vers le soir.

Pour mettre un magasin de matières explosives à l'abri des coups de foudre, on dispose autour du bâtiment un ou plusieurs paratonnerres. Dans plusieurs poudreries étrangères, on se contente de planter dans le voisinage des arbres d'une grande hauteur. — En France, les paratonnerres étaient placés autrefois sur le bâtiment même : la difficulté qu'on éprouvait à les visiter et les dangers qui résultaient de la rupture du circuit métallique ont fait abandonner ce mode d'installation. Une Instruction de l'Académie des sciences (14 janv. 1867) prescrit d'établir les paratonnerres en dehors du chemin de rondé et de son mur de clôture, au moyen de supports solides en forme de pyramide triangulaire, ayant 15^m de hauteur; la tige, dont la hauteur varie de 3 à 5^m, est à section carrée de 0^m,04 à 0^m,05 de côté jusqu'au point d'insertion du conducteur, et se termine par une partie arrondie de 0^m,02 de diamètre, sur laquelle est vissé un cylindre de cuivre rouge ayant 0^m,02 de diamètre sur 0^m,20 à 0^m,25 de longueur, dont le sommet forme un cône de 0^m,03 à 0^m,04 de hauteur. Le cône de cuivre, en raison de sa forme et de sa conductibilité, donne moins d'aigrettes et résiste mieux à la fusion qu'une pointe d'or ou de platine. Les conducteurs métalliques, dont la forme est indifférente, plongent, par 4 racines de 0^m,60 de longueur, dans un puits spécial de 0^m,20 à 0^m,25 de diamètre avec 0^m,50 au moins de hauteur d'eau. — Pour les magasins de grandes dimensions, ayant, par exemple, 28^m de long sur 20^m de large et 15^m de haut, on installe 3 paratonnerres en triangle isocèle, sur des supports de 15^m et avec des tiges de 5^m; le circuit de ceinture, qui relie les 3 conducteurs, suit le contour du bâtiment un peu au-dessous du sol, et donne un supplément de garantie par sa communication avec les nappes aquifères qui se forment à la suite des grandes pluies. Les magasins moyens ont 2 paratonnerres, et les petits magasins en ont 1; même dans ce dernier cas, le circuit de ceinture est conservé. L'ensemble du paratonnerre peut être enduit de peinture, sauf la partie immergée. On s'assure de temps en temps de l'état des

pointes et des conducteurs, ainsi que de la profondeur d'immersion des racines.

Toute manipulation de matières est absolument interdite à l'intérieur ou aux approches du magasin à poudre. On n'y pénètre qu'avec des patins ou des sandales. En Prusse, le seul appareil d'éclairage qu'on y puisse introduire est une lanterne spéciale, entourée d'un fort treillis en fils métalliques et portant en haut et en bas deux ouvertures fermées par des clapets : en ouvrant le clapet supérieur, on peut facilement retirer soit le cylindre en verre, soit son couvercle ; en ouvrant le clapet inférieur, on peut tourner la lampe de manière à faire pénétrer deux crochets dans les échancrures ménagées au fond de la lanterne. La lampe est allumée en dehors du magasin ; la lanterne est fermée par une petite serrure en laiton, dont le surveillant garde la clef ; à l'intérieur du bâtiment, on la suspend en lieu sûr.

§ II.

EMMAGASINAGE ET ÉPREUVES DE ROULEMENT.

En France et en Allemagne, les barils sont rangés à une certaine distance des murs et reposent sur des tablettes en bois ; on forme ainsi des piles de 3 ou 4 barils, quelquefois de 5 ou 6. On a soin de grouper ensemble les barils contenant une même espèce de poudre ; ils doivent être disposés de telle sorte qu'on puisse voir facilement les indications portées par les fonds. Les magasins peuvent recevoir, en général, de 100 000 à 120 000^l de poudre.

En Angleterre, on a adopté, pour le dépôt de Purfleet, les dispositions suivantes. Chaque magasin renferme 10 400 barils de 100 livres, soit en tout 471 744^l. Chaque compartiment peut contenir 200 barils placés sur 3 de profondeur et 10 de hauteur, par couches alternatives de 7 et de 6 en largeur, y compris 5 barils placés à la partie supérieure ; un système de moufles sert à effectuer avec facilité cet engorgement. La disposition par casiers séparés a l'avantage de supprimer les talus, qui font perdre une place très-appreciable, et de permettre de prendre les poudres que l'on désire sans nécessiter un travail de remaniement dans les magasins : c'est toujours la plus ancienne de l'espèce demandée qui est fournie par l'établissement, condition essentielle pour que les poudres et le barillage se conservent dans le meilleur état.

En France, on vérifiait autrefois tous les ans l'état d'humidité des poudres en magasin : à cet effet, on faisait rouler les barils sur le sol recouvert d'une toile de crins. Si l'on n'entendait aucun son, ou seulement un son sourd, c'est que la poudre était humide; si le son était inégal, mêlé de coups secs, la poudre s'était formée en boules ou en roches; si l'on obtenait un son net et uniforme, la poudre était bien conservée. Dans le premier cas, on faisait l'épreuve d'humidité sur un échantillon : si la matière ne contenait pas plus de 6 à 7 p. 100 d'eau, on la séchait à l'air, ainsi que les barils vides, et on l'enfonçait de nouveau après époussetage. Dans le second cas, on versait la poudre dans un baril sec, où on l'agitait pour faire paraître toutes les boules, et l'on séparait celles-ci à la main; on ne la remplaçait pas ensuite au même endroit : si elle était en dessous, on la mettait en dessus, et inversement. Si l'humidité dépassait 7 p. 100 ou que le salpêtre commençât à s'effleurir, on repassait les matières aux meules ou aux pilons, après s'être assuré, par une analyse quantitative, que le dosage n'avait pas varié. — On pouvait déterminer l'humidité sur 5 ou 10^{re} du mélange de 3 échantillons prélevés à la surface, au milieu et au fond du baril.

En Prusse, l'épreuve des poudres par roulement, qui se faisait autrefois tous les 2 ans, n'est plus pratiquée aujourd'hui qu'à des intervalles de 8 ou 10 ans, dans tous les cas où le local offre des garanties suffisantes pour la bonne conservation des produits.

CHAPITRE X.

TRANSPORTS.

Avant d'être chargés, les barils de poudre destinés à un transport sont soumis à un examen minutieux. En Allemagne, pour un transport par voie de terre supérieur à 113^{kg} et pour les transports sur mer, on fixe le dernier cercle, à chaque extrémité, par trois petits clous en laiton. Le transport par eau, quoique moins fréquemment employé, est bien préférable en raison de la sécurité qu'il procure.

§ I.

TRANSPORTS PAR VOIE DE TERRE.

Quand le transport s'effectue par chemin de fer, le convoi de poudre ne peut faire partie que d'un train de marchandises; il doit être expédié de gare en gare, et jusqu'à destination, par le train le plus prochain qui puisse le recevoir. Les transbordements se font en plein jour et au moins 2 heures avant le coucher du soleil.

Pour les transports sur les routes ordinaires, le convoi ne doit marcher que sur une seule file de voitures, et jamais plus vite qu'au pas. On doit, autant que possible, éviter le passage dans les villes, bourgs ou villages, où l'on ne doit jamais stationner.

En Allemagne, on a de plus adopté les dispositions suivantes. Les barils étant chargés de manière qu'il ne se produise pas de frottement, la voiture est recouverte d'une toile de tente surmontée d'un fanion noir. La charge d'une voiture ne doit pas dépasser 600^{kg}.

Pour les convois importants, en paix comme en guerre, on fait marcher les voitures par groupes de deux ou de trois; elles doivent aller au pas, en évitant le plus possible les pavés, et se trouver à une distance de 40 pas les unes des autres. Si l'on a à traverser une voie ferrée, le convoi fait halte 400 pas avant d'y arriver: s'il doit s'écouler au moins un quart d'heure avant l'arrivée du prochain train, le convoi prend le trot jusqu'à ce qu'il ait dépassé la voie de 400 pas; sinon, il attend le passage du train, et ne traverse la voie que lorsqu'on s'est assuré qu'il n'y est pas resté de charbons allumés. Si la route se trouve, en certains points, à une distance de la voie ferrée inférieure à 400 pas, les prescriptions restent les mêmes. Si enfin le convoi est forcé de s'arrêter, par suite d'un accident quelconque, à une distance de la voie inférieure à 400 pas, on en informe le garde-barrière, qui donne le signal d'arrêt au prochain train; l'accident une fois réparé, le convoi passe d'abord, et le train ensuite. — Les caissons de munition peuvent être transportés sur les voies ferrées. A cet effet, on place deux avant-trains ou deux caissons de munition sur un wagon de transport découvert, sans enlever les timons, et deux avant-trains ou un caisson de munition dans un wagon de marchandises couvert, en enrayant les roues par des taquets.

Dans l'Amérique du Nord, on fait usage de wagons spéciaux pour les transports de poudre. Ces wagons se composent d'une ou de plusieurs caisses rectangulaires en tôle forte, dont les parois intérieures sont revêtues de madriers, ayant 0^m,052 d'épaisseur pour le fond et 0^m,039 pour les côtés et pour le dessus; ces madriers sont posés debout aux deux extrémités, afin de présenter une résistance suffisante à la pression latérale de la charge. Au centre du plafond se trouve une ouverture destinée au chargement, ayant une longueur dans œuvre de 0^m,68 et une largeur de 0^m,62; les bords en sont relevés et présentent une saillie de 0^m,052 autour de laquelle vient s'adapter la couronne d'un couvercle, large de 0^m,065 et garnie d'une bande de caoutchouc vulcanisé de 6^{mm},5 d'épaisseur qui réalise une fermeture hermétique; ce couvercle, assujéti par des vis, est muni d'un cadenas. Les essieux des roues ont 0^m,052 à 0^m,078 d'épaisseur et sont rivés à la caisse au moyen de deux frettes; leurs extrémités sont tournées au diamètre de 0^m,065 et reçoivent les roues, qui sont en bois de gâïac et mesurent 0^m,30 de diamètre sur 0^m,104 d'épaisseur. Un wagon américain de

moyenne grandeur peut contenir 3 de ces caisses, qu'on y place transversalement ; chaque caisse peut recevoir 80 barils. Les rivets et les boulons sont tous en bronze.

§ II.

TRANSPORTS PAR EAU.

Chaque bateau de transport est pourvu du matériel nécessaire pour le chargement, le défonçage, le radoubage des barils, etc. Le fanion noir qui, en Allemagne, signale un chargement de poudre, porte en blanc la lettre P (Pulver). Les canots que l'on rencontre doivent éteindre leurs feux ; les bateaux à vapeur doivent toujours se diriger de manière que le chargement ne reçoive pas d'étincelles de la cheminée.

Les écluses livrent passage simultanément à autant de bateaux chargés de poudre que le permettent leurs dimensions ; toute autre embarcation est momentanément écartée.

Si l'on rencontre une voie ferrée, le convoi ne peut passer sous le pont que si le train doit arriver dans une demi-heure au plus tôt. Ces dispositions, applicables en Allemagne, sont complétées par une série de prescriptions identiques à celles qui concernent les transports par terre.

CHAPITRE XI.

CHARGES COMPRIMÉES.

§ I.

EXPÉRIENCES AMÉRICAINES.

Les premiers essais de charges comprimées ont été faits pendant la guerre civile d'Amérique : les procédés de fabrication ordinaires ne pouvant plus suffire aux besoins de l'artillerie, on chercha à transformer directement en cartouches la matière ternaire à l'aide d'un pressage pur et simple. Le succès ne répondit pas tout d'abord aux espérances qu'on avait conçues ; la flamme, ne trouvant aucune issue à l'intérieur de la charge, cheminait lentement, et une partie de la matière était projetée hors du canon avant d'avoir été complètement brûlée. On obtint de meilleurs résultats, surtout pour les pièces de gros calibre, en pratiquant dans les cartouches ainsi fabriquées des ouvertures longitudinales et transversales.

En même temps, on songeait à comprimer des matières préalablement grenées, en mettant à profit la propriété que possède le soufre de fondre à 111°. Dès 1852, de Saint-Robert avait indiqué un procédé fondé sur ce principe (cf. p. 259) ; il était réservé aux Américains de l'introduire dans la pratique. La poudre était placée dans un vase en tôle à doubles parois remplies d'eau bouillante : le soufre se ramollissant vers 100°, les grains se collaient les uns aux autres, tout en conservant leur forme ; la matière était ensuite versée dans des moules cylindriques où on la comprimait. On obtenait ainsi des cartouches dans lesquelles les grains étaient parfaitement reconnaissables, quoique solidement adhérents entre eux ; elles étaient d'un

noir brillant, dures comme un bloc de pierre, et l'on pouvait les laisser tomber à terre sans les briser. Les cartouches comprimées donnèrent des résultats très-réguliers dans les fusils et dans les canons, avec un encrassement assez faible.

Ce mode d'agglomération des grains par la chaleur fut bientôt abandonné, et l'on vit apparaître une série de procédés, d'après lesquels les grains étaient réunis au moyen d'un enduit de gomme, de sucre, de collodion, etc. Nous citerons les deux principaux, ceux de Brown et de Doremus.

§ II.

PROCÉDÉS DE BROWN ET DE DOREMUS.

Le procédé de Brown, breveté en France (15 juin 1860), avait pour but de préparer la poudre en charges compactes s'adaptant aux divers calibres, sans détruire les granulations de la poudre ni diminuer sa force explosive, de manière que les cartouches pussent rester en magasin sans se détériorer et qu'on pût introduire la charge dans la chambre sans la renfermer dans du papier ou dans toute autre enveloppe. Il consistait à couvrir uniformément les grains de poudre d'une couche de mucilage gommeux, en les étendant sur une table préalablement enduite de cette substance, et à placer la poudre gommée dans un cylindre creux où elle était fortement comprimée. Le mucilage se composait de 1 livre de gomme arabique dissoute dans 2 livres d'eau froide, et de 1/4 de livre de salpêtre dissous dans 5 fois son poids d'eau; le mélange était additionné d'alcool et trituré jusqu'à formation d'un fluide opaque. La pression était appliquée à l'aide d'une presse à vis. — Il résulte des expériences exécutées par d'Hubert à la poudrière du Bouchet que la proportion de mucilage à employer devait être un peu inférieure à 1 p. 100. Mais il fut reconnu impossible, en France comme en Angleterre, d'arriver à une solidité convenable de la cartouche sans former une certaine quantité de pulvérin, ce qui conduisit à envelopper les charges dans une feuille d'étain. Ces cartouches offraient toutefois l'avantage de ne brûler à l'air qu'avec une certaine lenteur; elles étaient, d'ailleurs, d'un maniement facile et d'une grande

régularité d'effets : mais elles perdirent toute faveur à l'apparition du procédé Doremus.

Outre les avantages du système précédent, le procédé de Doremus, également breveté (18 mars 1862), devait donner une poudre moins hygrométrique et plus puissante que la poudre non agglomérée. La matière grenée était versée dans un moule en bronze de forme et de dimensions convenables, en quantité suffisante pour une charge, puis comprimée à l'aide d'un piston qui s'engageait dans le moule. On obtenait ainsi une masse solide, pouvant être maniée sans danger, mais conservant encore la texture granuleuse de la matière. On pouvait modifier la loi de combustibilité d'une même charge en versant la poudre par lots successifs : un premier lot, par exemple, étant soumis à la pression de 25 tonnes, on retirait le piston, on versait un second lot sur lequel on exerçait une nouvelle pression de 20 tonnes, et l'on terminait par un lot soumis à une pression de 15 tonnes. Les cartouches ainsi préparées pouvaient être protégées par une enveloppe de cuivre mince, de zinc, de papier mâché, etc. ; on les rendait tout à fait imperméables en vernissant la surface au collodion ou avec tout autre produit analogue insoluble dans l'eau. — Les cartouches comprimées du système Doremus, soumises en France à des essais suivis (1862-1864), donnèrent d'abord des résultats très-favorables. La compression n'altérait en rien la puissance balistique de la poudre ; elle diminuait le volume des approvisionnements, rendait le maniement des charges plus facile et supprimait la formation du poussier. Mais il fut bientôt reconnu que la poudre comprimée était plus brisante que la poudre en grains, peut-être à cause de la réduction du volume initial de la chambre, et l'emploi en fut généralement restreint au chargement des projectiles creux.

Les cartouches comprimées ne tardèrent pas à être complètement abandonnées en Amérique et dans les différents pays où elles avaient été successivement expérimentées, sauf en France.

§ III.

EXPÉRIENCES AUTRICHIENNES, ANGLAISES ET FRANÇAISES.

Les expériences instituées en Autriche sur les cartouches comprimées, à peu près à la même époque, ont montré l'importance de la situation de la partie dense de la charge par rapport au point d'inflammation : la vitesse du projectile diminue quand la portion la plus comprimée se trouve près de l'étoupille. Le mode de pressage a paru également exercer une grande influence : une pression trop forte donne une poudre lente qui brûle incomplètement, tandis qu'une pression trop faible donne une poudre brisante, qui détériore l'enveloppe des cartouches. En outre, des charges de densités différentes donnaient des résultats de tir très-inégaux. On rencontrait enfin les plus sérieuses difficultés pour l'installation d'une fabrication mécanique régulière et sans danger.

En Angleterre, au moment de la révolte des Fénians (1868), fut adoptée la cartouche à chevrotines (*Buckshot cartridge*) du colonel Boxer. Cette cartouche était entourée d'une douille Boxer avec inflammation centrale, dans laquelle se trouvait, outre les 16 chevrotines, un cylindre de poudre grenée en fin grain et comprimée. Ce cylindre portait une cavité sur les faces inférieure et supérieure; au-dessus était placé un tampon de coton qui servait de support aux chevrotines, dans l'intervalle desquelles on coulait du plâtre.

La France est le seul État d'Europe où les cartouches comprimées soient encore en usage. Le mode de compression à froid, sans autre substance intermédiaire, de la poudre à canon perfectionnée, est appliqué à la confection des rondelles de Reffye pour la mitrailleuse et pour les canons de 5 et de 7. — La charge de la mitrailleuse (canon à balles) se compose d'une boîte en carton et fer-blanc, qui renferme 25 cartouches métalliques disposées de manière à se présenter simultanément devant les 25 tubes de la pièce; chaque cartouche est formée de 6 petites rondelles de poudre MC., comprimée, pesant chacune 2^{gr},4 et mesurant 9^{mm},4 de hauteur. Au-dessus des rondelles se trouve une couche de graisse de 11^{mm} d'épaisseur, destinée à lubrifier les parois, sur laquelle est placée la balle cylindro-conique ogivale, pesant 54^{gr},2 et longue de 3 calibres environ (40^{mm}). — La gargousse du canon de 7 contient 5 rondelles cylindriques percées d'un trou cen-

tral, du poids de 224^g, ayant 40^{mm} de hauteur sur 85^{mm} de diamètre extérieur et 52^{mm},5 de diamètre intérieur; au-dessus de la dernière rondelle est placée une couche de graisse pesant 100^g, surmontée elle-même d'un disque de carton de 3^{mm} d'épaisseur. La gargousse du canon de 5 est entièrement semblable; le poids total de la poudre qu'elle renferme est de 0^g,86.

CHAPITRE XII.

POUDRES A GROS GRAINS.

§ I.

GÉNÉRALITÉS.

Jusque vers 1860, on ne connaissait que deux espèces de poudres de guerre, la poudre à mousquet et la poudre à canon ; cette dernière, dont les grains étaient généralement inférieurs à 2^{mm},5, servait indistinctement aux bouches à feu de tous les calibres. C'est à peu près vers cette époque que les premiers navires cuirassés firent leur apparition, et c'est au cours de la guerre de Sécession que s'engagea la lutte entre les épaisses cuirasses des navires et les pièces puissantes de l'artillerie de marine.

Une conséquence immédiate du blindage des navires fut l'augmentation simultanée du poids des projectiles et du calibre des canons. Dans ces conditions, l'ancienne poudre à grains de 2^{mm},5, tirée à fortes charges, se montrait infiniment trop vive et dangereuse au point de vue de la conservation des pièces : nous verrons, en effet, que, pour obtenir une augmentation de portée au mortier-épreuve, on avait été progressivement conduit à adopter des dimensions de grains de moins en moins convenables pour le tir dans les bouches à feu. On fut donc naturellement amené à modifier tout d'abord la grosseur des grains.

Mais on chercha bientôt à donner aux poudres deux qualités tout à fait essentielles dans les nouvelles conditions de tir et de chargement : la *progressivité* et la *régularité* de la combustion.

Quand on fait brûler un grain de poudre sous pression constante,

la surface d'inflammation diminuant à mesure que le grain se com-bure, le dégagement de gaz, maximum au début, va constamment en décroissant jusqu'à la fin de la combustion : il en résulte que, pour le cas du tir dans une bouche à feu, et abstraction faite de l'augmentation de la vitesse de combustion due à l'accroissement de la pression intérieure, la charge donne la plus grande partie de sa force dans les premiers instants de la déflagration, alors que le projectile est au repos ou animé encore d'une faible vitesse. Une poudre est dite *progressive* lorsqu'elle n'émet d'abord, par sa combustion dans l'âme d'une bouche à feu, qu'une faible quantité de gaz pour vaincre l'inertie du projectile, et qu'elle en fournit ensuite des quantités de plus en plus grandes à mesure que son mouvement s'accélère.

Toute poudre homogène, à forte densité et pouvant être considérée comme brûlant par couches concentriques, est en réalité une poudre progressive. Nous montrerons, en effet, que la vitesse de combustion de la matière croît très-rapidement avec la pression développée par les gaz : la diminution de la surface d'inflammation peut donc être plus que compensée, à l'intérieur des armes, par l'accroissement de la vitesse de combustion.

On peut arriver au même résultat par une modification convenable de la forme ou de la structure même du grain : trois types principaux ont été proposés pour assurer la progressivité de la combustion. Le premier type est celui des grains moulés et percés d'un ou de plusieurs canaux : on conçoit que, si la combustion s'effectue, grâce à ces canaux, du centre à la circonférence, la surface d'inflammation ira constamment en augmentant. Le second type est celui des grains parallépipédiques ou aplatis, imaginés par le capitaine Castan : il est évident que la diminution de la surface d'inflammation sera d'autant moins sensible que le grain sera plus aplati, la combustion par les faces latérales devenant de plus en plus négligeable. Le troisième type est celui des poudres à couches concentriques, dont la combustibilité va en croissant de la surface au centre, telles, par exemple, que les poudres rondes de Melsens, obtenues par agglomération, la poudre hexagonale de Dupont (p. 362) ou, mieux encore, la poudre à compensation de Totten (p. 355). On peut rattacher à cette dernière classe les poudres obtenues, en Italie et en Suède, en opérant sur un mélange de matière grenée avec du ternaire ou du poussier en proportions déterminées :

on suppose qu'après les premiers instants de l'inflammation, ce mélange se désagrège et se comporte comme une charge de grains ordinaires.

Quant à la *régularité* de la poudre au point de vue de ses effets, elle s'obtient, avec une grande facilité, au moyen de grains moulés ; mais on peut également y arriver, d'après Castan, à l'aide d'un galetage et d'un grenage convenables de la matière. Si l'on considère, en effet, le temps que met un grain à brûler, comme ce temps est toujours égal à celui que mettrait à se détruire la sphère inscrite dans sa plus petite dimension, on voit que tous les grains d'une charge se comporteront dans la combustion comme des grains égaux entre eux pourvu qu'ils aient tous leur dimension minimum constante, c'est-à-dire, par exemple, qu'ils proviennent, par un grenage approprié, de galettes ayant pour épaisseur cette dimension minimum. Quant à la loi d'émission des gaz à l'intérieur de la bouche à feu, elle dépend de la surface initiale d'inflammation qui, pour les poudres parallépipédiques à forte densité, restera toujours semblable à elle-même pendant la combustion ; elle dépend donc des deux autres dimensions du grain ou du nombre de grains au kilogramme. Si donc, par un grenage régulier, on arrive à obtenir une poudre dont les charges présentent une moyenne constante comme nombre de grains, ce qu'il est facile de réaliser pour des charges aussi considérables que celles des gros calibres, on aura dans la loi de production des gaz une constance comparable à celle que donnerait une charge composée de grains égaux.

§ II.

POUDRES ORDINAIRES A GROS GRAINS.

I. POUDRE MAMMOTH.

C'est au général Rodman, de l'artillerie des États-Unis, que revient le mérite d'avoir montré l'influence de la grosseur des grains dans les diverses conditions de tir. Des expériences exécutées, en mai 1859, sur une série d'échantillons de grosseurs différentes conduisirent à ce résultat, que la pression dans l'âme, mesurée par le poinçon Rodman, diminuait à mesure que la grosseur du grain aug-

mentait, et que les vitesses pouvaient en même temps être conservées à l'aide d'un accroissement de charge. Cette conclusion remarquable sert encore aujourd'hui de point de départ pour l'adaptation de la poudre aux pièces des divers calibres.

De nouveaux tirs furent faits dans le canon de 15 pouces (38^m,4), avec des échantillons dont le plus gros correspondait à une épaisseur moyenne de grains de 20^m,32. A la suite d'essais moins favorables exécutés sur des grains dont le diamètre allait jusqu'à 76^m,20, deux types de poudre furent adoptés dans l'artillerie de terre :

1^o La *poudre mammoth*, à grains de 15^m,2 à 22^m,9, pour le canon de 15 pouces;

2^o La *poudre à canon*, à grains de 6^m,3 à 8^m,9, pour toute la lourde artillerie SB.

Pour la marine, les grains de poudre mammoth ont 12^m,7 à 25^m,4 de diamètre, ceux de poudre rifle 7^m,6 à 12^m,7 et ceux de canon 2^m,5 à 3^m,8. Pour le 15 pouces et les calibres supérieurs, on a également adopté la poudre hexagonale (p. 362), de 70 à 75 grains à la livre (154 à 165 grains au kil.).

L'ancienne charge du 15 pouces, qui était de 16 à 23^l, fut d'abord conservée avec les nouvelles poudres, et ce n'est que plus tard qu'elle fut portée à 55^l et exceptionnellement à 68^l. Dans ces conditions de tir, la poudre mammoth de la marine doit avoir 110 grains à la livre (242 grains au kil.).

II. POUDRE PEBBLE.

En Angleterre, depuis 1860, Armstrong se servait pour ses canons d'une poudre dite RLG (*large grained rifle powder*), dont les grains avaient à peu près la grosseur d'une noisette. Cette poudre était lissée à la plombagine dans des tonnes en bois; on surégalisait et sous-égalisait sur des tamis ayant 4 et 8 mailles pour 2^m,6.

Les premiers essais de poudres à gros grains, fabriquées sur le modèle des poudres américaines, datent de 1865. On obtenait la *poudre pebble* (caillou) en formant des galettes à la presse suivant la méthode ordinaire, en les brisant avec des marteaux en cuivre et tamisant entre les perces de 12^m,7 et 25^m,4; on lissait ensuite à la plombagine et l'on soumettait la poudre aux procédés habituels de perfectionnement. Mais on négligea d'abord l'influence de la densité: le premier échantillon, qui avait 1,620, donna des résultats peu

favorables, et l'on parut pendant quelque temps (1865-1869) donner la préférence à la poudre pellet (p. 360). En 1870, grâce à l'emploi du densimètre à mercure, un nouvel échantillon de poudre pebble se montra supérieur aux poudres moulées, et la fabrication en fut définitivement entreprise pour les besoins du service; la grosseur des grains devait être comprise entre 12^{mm},7 et 15^{mm},9.

A Waltham-Abbey, on substitua aux marteaux de cuivre des couteaux également en cuivre, qui servaient à découper la galette en bandes et celles-ci en cailloux; le déchet se trouvait ainsi sensiblement diminué. On chercha ensuite à effectuer mécaniquement le grenage de la galette en la soumettant successivement à 2 paires de rouleaux cylindriques, qui portaient une série de couteaux dans le sens de leurs génératrices. Dans un autre système, les couteaux étaient respectivement fixés suivant des génératrices et suivant des cercles perpendiculaires à l'axe, de sorte que les bandes découpées par la première paire passaient à la seconde, sur une toile sans fin, sans changer de direction. On essaya enfin de disposer les couteaux en spirale à 45° sur la section droite, l'une des paires agissant à angle droit par rapport à l'autre. Le rendement de ces divers procédés de grenage ne dépassait guère 60 p. 100.

L'appareil adopté en dernier lieu à la poudrerie de Waltham-Abbey et dû au major Morgan (Pl. VI, fig. 4), se compose essentiellement de 2 paires de rouleaux cylindriques placés à des hauteurs différentes, munis de couteaux suivant leurs génératrices et disposés à angle droit : les axes des deux rouleaux supérieurs sont dans un plan horizontal, ceux des rouleaux inférieurs dans un plan vertical. Les bandes découpées par la première paire tombent sur un plancher horizontal placé en dessous, dont la surface est balayée par une série de règles en bois qui se meuvent, à la manière d'une toile sans fin, sur un système de deux poulies. Chaque bande tombe dans l'espace compris entre deux règles de bois et se déplace latéralement sur le plancher; lorsque la première bande arrive à l'extrémité du plancher, elle tombe sur un ruban qui se meut en dessous, à angle droit, et elle est ainsi présentée par un bout à la deuxième paire de rouleaux. En outre, par un dispositif spécial, le plancher est animé d'un mouvement de translation alternatif parallèlement aux règles de bois, de telle sorte que les bandes s'échelonnent régulièrement sur toute la largeur du ruban.

Le type définitif de poudre pebble a de 158 à 176 grains à la livre;

la grosseur des grains est comprise entre 13^{mm} et 17^{mm}; la densité de la galette étant de 1,800 environ, la densité finale varie de 1,780 à 1,820. On a de plus fabriqué, dans ces derniers temps, des grains de 38^{mm}, 1 de côté pour les canons de 38, de 81 et de 100 tonnes; on a même mis à l'étude, pour ces deux derniers, des grains de 50^{mm}, 8.

Des essais comparatifs, exécutés en Angleterre, ont montré que la poudre pebble donne un peu plus de vitesse et sensiblement moins de pression intérieure que la poudre prismatique prussienne (p. 358). Il faut remarquer, toutefois, que ces expériences ont été faites avec un canon de Woolwich du calibre de 20^{mm} se chargeant par la bouche; il est donc difficile d'en tirer des conclusions certaines au point de vue du tir dans les pièces se chargeant par la culasse. Pour ces dernières, en effet, la résistance à vaincre, dans les premiers instants de la combustion, s'augmente de tout l'effort nécessaire pour faire pénétrer la ceinture du projectile dans les rayures de l'âme; de là une différence notable dans le mode d'action de la poudre sur le projectile et sur les parois intérieures de la pièce.

III. POUDRES DE WETTEREN.

En Belgique, on fabrique, depuis 1870, d'après un type d'opérations uniforme, une série de poudres à gros grains dont les dimensions sont respectivement comprises entre 10^{mm} et 13^{mm}, 13^{mm} et 16^{mm}, 16^{mm} et 20^{mm}, 20^{mm} et 25^{mm}, 25^{mm} et 30^{mm}. Le dosage de ces poudres est de 75 de salpêtre, 12,5 de soufre et 12,5 de charbon. Les matières sont soumises à des triturations binaires et ternaires dans les tonnes, puis à une trituration peu énergique sous les meules pendant 3 heures à la charge de 25^t; elles sont déchargées à 6 ou 7 p. 100 d'eau, concassées au maillet et grenées au grenoir à retour à la perce de 6^{mm}. Le mélange de grains et de poussier est galeté à la presse hydraulique en couches d'épaisseurs variables, suivant l'espèce de poudre à obtenir.

Les galettes sont ébarbées sur une largeur de 0^m,02 à 0^m,03, puis découpées au moyen d'un couteau spécial, consistant en une plaque de bronze rectangulaire dont le côté inférieur est taillé en forme de lame; cette plaque est mobile à l'intérieur d'un cadre vertical et reçoit d'un excentrique un mouvement de haut en bas en même temps qu'un petit déplacement horizontal. Un buttoir permet d'engager sous la lame une largeur déterminée de la galette, qui se trouve ainsi découpée en bandes régulières. Celles-ci tombent

entre deux cylindres à lames circulaires, disposés au-dessous de la table qui porte le couteau et destinés à découper les bandes en cubes. Ce mode de grenage ne réussit que pour des matières très-humides, comme celles de Wetteren ; encore le découpage des bandes par les cylindres se fait-il assez irrégulièrement, et l'on a dû, pour cette dernière opération, recourir à l'emploi d'une hachette en bronze.

Un premier tamisage, effectué sur des toiles métalliques ou sur des tamis en zinc, sépare le poussier et les grains trop petits ou trop gros. La poudre est ensuite lissée pendant 3 heures dans des tonnes de 1^m,50 de diamètre, à la vitesse de 6 à 10 tours par minute ; pour les grains de 13 à 16^{mm}, on humecte un peu la matière, de manière à porter son humidité à 7 ou 8 p. 100 environ, puis on ajoute du poussier à peu près dans la proportion de 1/12 du poids de la poudre, opération qui diminue la densité moyenne et paraît devoir être une cause d'irrégularités. On procède alors au séchage à l'étuve, pendant 3 jours, à la température de 45 à 50° ; la matière abandonne presque toute son humidité et se couvre d'efflorescences salpêtrées. Aussi doit-on recourir à un second lissage pour rendre aux grains leur couleur noire ; ceux dont les dimensions sont supérieures à 16 ou à 20^{mm} doivent même être lissés avec addition de plombagine. La poudre est enfin soumise à un dernier tamisage, et l'on procède, en outre, pour les grains de 20 à 25^{mm} et pour ceux de 25 à 30^{mm}, à une visite minutieuse, dans laquelle on retire à la main les grains dont la forme arrondie accuse une densité trop faible ; les matières perfectionnées sont mélangées méthodiquement dans une série de caisses en bois ou de bacs, pour former des lots de 12 000^l.

Il résulte des épreuves de résistance exécutées à la fonderie de Ruelle et des épreuves de tir de la Commission de Gêvre, que les poudres de Wetteren sont généralement plus brisantes, à égalité de vitesse, que les poudres de même espèce actuellement fabriquées en France. On voit, en effet, d'après ce qui précède, que le mélange des composants doit être peu intime, ce qui diminue probablement à la fois la vitesse de combustion et la force de la poudre : on est ainsi amené à augmenter la première en réalisant des densités plus faibles, et, pour retrouver les effets des poudres plus fortes et à combustion plus vive, on est encore obligé de diminuer les dimensions extérieures du grain. On obtient alors des poudres qui, pour une même vitesse, donnent des pressions maxima généralement plus élevées que celles des poudres mieux triturées, mais à grains plus denses et plus gros.

IV. POUDRES FRANÇAISES.

En France, les poudres à gros grains dont la fabrication est aujourd'hui réglementaire sont désignées sous les noms de poudres C₁, C₂, SP₁, SP₂. Elles sont au dosage anglais (75 de salpêtre, 10 de soufre, 15 de charbon); le procédé général de fabrication est celui des meules et presses.

Les matières sont d'abord soumises à des triturations simples ou binaires dans les tonnes (p. 237), puis triturées sous les meules pendant 2¹/₂, chargement et déchargement compris, et retirées à 3 p. 100 d'humidité; on peut, au besoin, faire varier la force de la poudre en modifiant la durée de cette trituration. Les compositions neuves et les poussières sont alors mélangés dans les proportions du rendement, pour être repassés sous les meules pendant 1/2 heure; on arrose la matière et on la retire entre 3 et 3,5 p. 100 d'humidité (p. 250). On la concasse et on la grène au grenoir à retour ou au grenoir à cylindres, avec une seule toile à la perce de 2^{mm},5 pour les poudres C₁, C₂ et SP₁, et de 7^{mm} pour la poudre SP₂ (p. 252). Le mélange de grains et de poussier est porté à la presse hydraulique, où on le comprime en galettes ayant 1,700 à 1,720 de densité avec 6^{mm},5 d'épaisseur moyenne, pour la poudre C₁, 1,750 à 1,765 de densité avec 10^{mm} d'épaisseur, pour la poudre SP₁, et, pour la poudre SP₂, 1,765 à 1,785 de densité avec 12^{mm},8 d'épaisseur (p. 257).

Le grenage de la poudre C₁ s'effectue à l'aide de maillets en bois de 0^m,12 de côté, dont la face inférieure est garnie de pointes de laiton, faisant saillie de 10^{mm} et placées à 15^{mm} d'intervalle. On concasse la matière sur des tables en bois de cormier, formées de plaques de 0^m,25 de large sur 0^m,40 de long et 0^m,04 d'épaisseur; ces plaques sont percées de trous coniques, espacés de 0^m,02 d'axe en axe, dont le diamètre supérieur est de 11^{mm},5 et le diamètre inférieur de 15^{mm}. Le mélange de grains et de poussier est conduit par une trémie dans des tines placées en dessous, et sous-égalisé à la perce de 8^{mm} (p. 288). Le lissage dure de 12 à 16 heures (p. 292), et le séchage 12 heures en moyenne; la matière est enfin soumise à un second sous-égalisation à la perce de 8^{mm} (p. 314). L'épaisseur des grains doit être comprise entre 6^{mm},2 et 6^{mm},8, le nombre de grains au kilogramme entre 1,600 et 1,900, et la densité réelle entre 1,735 et 1,755.

Le grenage de la poudre SP₂ se fait, en général, au moyen du cou-

teau belge (p. 347) : la galette est découpée d'abord en bandes de 12^{mm},8 de hauteur moyenne et de 21^{mm} de largeur, puis en parallélogrammes dont la base a 21^{mm} de côté. La matière grenée est sous-égalisée à la perce de 17^{mm} (p. 288), lissée environ 6^{mm} (p. 292), séchée 24^{mm} et sous-égalisée à la même perce (p. 314). On obtient ainsi des grains aplatis qui ont pour dimensions moyennes 12^{mm},8, 21^{mm},21^{mm}; le nombre de grains au kilogramme varie de 100 à 110, et la densité réelle de 1,800 à 1,820.

Quant à la poudre SP₁, elle peut être grenée soit au maillet, soit à l'aide du couteau belge; les sous-égalisations se font à la perce de 13^{mm}, dans le premier cas, et de 11^{mm}, dans le second. L'épaisseur des grains doit être comprise entre 9^{mm},7 et 10^{mm},3, le nombre de grains au kilogramme entre 340 et 360, et la densité réelle entre 1,785 et 1,800.

Nous n'insisterons pas sur la fabrication des poudres cubiques ou légèrement aplaties, destinées aux pièces de gros calibres, dont les dimensions peuvent se calculer avec une approximation suffisante, en fonction des éléments du tir, à l'aide des formules théoriques que nous indiquerons plus loin.

A la poudrerie de Sévran, on a imaginé, pour faciliter le découpage de la galette en gros grains, de produire sur les deux faces, par l'opération même du galetage, une série de lignes de rupture ou de sillons parallèles dont l'écartement est égal au côté de la base du grain, les lignes de l'une des faces étant d'ailleurs perpendiculaires à celles de l'autre : on se sert, à cet effet, de deux doubles toiles qui, pour la poudre SP₁, par exemple, sont construites comme il suit. Une série de baguettes triangulaires en cuivre, dont la section a 5^{mm} de hauteur et 5^{mm} de base, est collée sur une toile avec un espacement de 22^{mm} d'axe en axe; les extrémités de ces baguettes sont aplaties et percées d'un trou. On enduit de colle les faces restées libres, on les recouvre d'une seconde toile à laquelle on fait épouser les saillies ainsi formées, on fait sécher, et l'on relie les deux toiles au moyen de coutures qui suivent les bords des baguettes et passent par les trous ménagés à leurs extrémités. Le chargement se fait par le procédé ordinaire : il faut seulement avoir soin que les baguettes des deux toiles aient des directions respectivement perpendiculaires. La hauteur des cadres peut être conservée pour la poudre SP₁; pour la poudre SP₂, elle doit être réduite à 16^{mm},5 (p. 258). Les matières ne doivent pas être galetées trop sèches, car

les baguettes se déforment par suite d'un excès de pression. La galette ainsi obtenue peut être facilement brisée à la main suivant les lignes de rupture; on peut également, à l'aide de mâchoires en bois fixées sur une table, la découper d'abord en bandes, puis en grains. — A la poudrerie du Ripault, les plaques de cuivre, qui ont 0^m,50 de côté et 4^{mm},5 d'épaisseur, sont percées, à 0^m,03 environ des deux bords opposés, de deux rangées de trous distants de 21^{mm} pour la poudre SP₂; dans ces trous passent des fils de laiton de 2^{mm},5 de diamètre, disposés parallèlement sur l'une des faces et rivés de l'autre côté; sur l'autre face sont fixés de la même manière des fils de laiton perpendiculaires aux premiers. Le galetage se fait avec des toiles ordinaires. Les lignes de rupture étant moins nettes dans ce système que dans celui de Sévran, on doit, pour obtenir une cassure régulière de la galette, opérer sur des matières relativement humides.

V. POUDRE A DÉS ET POUDRE PLATE.

On s'est efforcé, en Italie, d'obtenir la plus grande régularité possible dans la densité des grains et dans leurs dimensions respectives: on a imaginé, à cet effet, la compression à volume constant ou en cassette et le grenage au *tagliadadi*.

Après les triturations isolées et les mélanges binaire et ternaire des matières dans les tonnes (p. 240 et 248), on procède à un arrosage de 3 p. 100 d'eau et l'on commence aussitôt après le galetage à la presse. Entre les deux mâchoires de la presse et supportée par des traverses qui réunissent les montants, se trouve une caisse formée d'une enveloppe en bois dur de 0^m,05 d'épaisseur, recouverte d'une chemise en bronze ayant dans œuvre 0^m,433 sur 0^m,333 avec une épaisseur de 0^m,025; trois des faces de la boîte en bronze sont articulées l'une sur l'autre à charnière, pour faciliter le déchargement et le nettoyage. La caisse est ouverte en haut et en bas: une pièce en fonte, placée sur la mâchoire inférieure de la presse, entre exactement dans la caisse et forme un fond mobile qui, soulevé par le piston, vient comprimer contre le chapeau les couches de matière disposées à l'intérieur. Pour opérer le chargement, on place la tête du piston à une faible distance au-dessous de l'ouverture supérieure de la cassette, et l'on dispose sur la pièce de fonte une plaque de cuivre zinguée à la surface, sur laquelle on étend une couche de poudre de 2^g,700 qu'on régale le mieux possible; on recouvre cette couche

d'une seconde plaque de cuivre, on abaisse un peu la tête du piston, on étend une seconde couche de poudre, et l'on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait disposé en tout 17 couches, soit 46^l de matière. Un compas, formé d'un curseur mobile le long d'une tige placée verticalement sur le plateau de la presse, sert à mesurer la diminution de hauteur correspondant à la densité cherchée et indiquée par une table spéciale. La durée du chargement est de 45^{min} et celle de la compression de 20^{min}; on maintient la pression maximum pendant 2^{min}. On obtient ainsi, pour la *poudre à dés*, des galettes très-dures de 11^{mm} d'épaisseur, dont les densités ne diffèrent pas de plus de 0,020 (1,770 à 1,790). Une presse peut faire, en 10^h, 360^l de galettes.

Le grenage en cubes de 10^{mm} de côté environ s'effectue au moyen du tagliadadi, appareil établi sur le principe des machines à débiter les bandes de papier et formé de deux couteaux entre lesquels on pousse la galette; celle-ci vient butter sur une règle en bois, que l'on écarte plus ou moins, suivant les dimensions des grains à obtenir; le couteau supérieur est animé d'un mouvement alternatif de haut en bas à raison de 60 courses par minute. On débite d'abord la galette dans un sens, puis les longuerines juxtaposées sont découpées dans le sens perpendiculaire. Un tagliadadi débite 800^l de matières en 10^h, et le déchet ne dépasse pas 1 p. 100. On obtient ainsi des grains cubiques de 10 à 11^{mm} de côté, renfermant 2,5 p. 100 d'humidité.

Ces grains sont alors lissés dans des tonnes de grand diamètre, pendant 2^h 1/2 environ (800 à 1000 tours), à la charge de 300^l. Pour en diminuer la vitesse d'inflammation, on produit une désalpétra-tion de la surface en arrosant la poudre dans la tonne, et on lisse les faces des cubes en la faisant tourner avec des grains verts de 3^{mm}. La matière est ensuite séchée, époussetée et mélangée.

Un procédé de fabrication analogue a été appliqué à la *poudre plate* ou *poudre Castan*, destinée aux nouveaux canons de 73^{mm} et de 83^{mm}, qui avait pour dimensions 10^{mm}, 10^{mm}, 2^{mm}. Elle était comprimée en cassette, à raison de 40 galettes par pressée; chaque galette pesait de 480 à 500^g, suivant les densités que l'on voulait obtenir.

VI. POUDRES DIVERSES.

a) Poudres autrichiennes.

En Autriche, on fabriquait, dès 1873, à la poudrerie de Stein, des poudres galetées au laminoir et grenées au grenoir à cylindres en grains de 6 à 10^{mm}; la densité finale était de 1,630.

On fabriqua ensuite des poudres à forte densité, d'après la méthode espagnole, en galetant la matière sous les presses hydrauliques, avec une épaisseur de galette de 10 à 13^{mm} et une pression variable suivant la densité à obtenir; la pression maximum de 200^{kg} par centimètre carré correspondait à une densité de grains de 1,770. On grenait au grenoir à cylindres et on lissait avec ou sans graphite; on ajoutait ce dernier dans la proportion de 3 p. 100, quand le grain était déjà échauffé par le lissage. On a ainsi obtenu des poudres dont les grains étaient compris entre 2^{mm},5 et 5^{mm},5 et 8^{mm}.

Des essais de tir comparatifs (1875) ayant démontré la supériorité des poudres à faible densité fabriquées d'après la première méthode, on a définitivement adopté la poudre de 6 à 10^{mm}, galetée au laminoir et grenée aux cylindres, avec une densité finale comprise entre 1,623 et 1,665.

b) Poudres progressives suédoise et italienne.

En Suède, la matière, soumise à des triturations isolées et à une trituration ternaire, est galetée à la presse hydraulique, sans humectage préalable, chaque couche de poudre étant placée entre une pièce de toile humide et une pièce double de toile également mouillée; les 27 couches sont séparées par des feuilles de tôle; la pression exercée est d'environ 41^{kg} par centimètre carré. On obtient ainsi des galettes ayant une épaisseur de 10^{mm},7, une densité de 1,500 et une humidité inférieure à 7 p. 100. La matière est ensuite concassée, grenée au grenoir mécanique à la perce de 2^{mm},2, tamisée, mélangée à la main, dans la proportion de 4 à 1, avec de la poudre à canon de 2^{mm},2 finie, sèche et lissée, puis galetée une seconde fois à la presse hydraulique entre plusieurs pièces de toile sèches à la pression de 52^{kg} par centimètre carré. La nouvelle galette, qui a 11^{mm} d'épaisseur et 1,820 à 1,840 de densité, est ébarbée avec un couteau en cuivre et brisée à la main en 4 parties de 0^{mm},10 à 0^{mm},12 de largeur: chaque tablette est découpée en bandes transversales

de 0^m,014 de largeur et celles-ci en cubes de 0^m,014, au moyen de petites machines à main semblables à celles qu'on emploie pour casser le sucre et munies, sur le côté du couteau en acier, d'une petite bride en cuivre sur laquelle viennent s'appuyer les tablettes quand on les fait glisser sous le couteau. La poudre est alors soumise à la série des opérations suivantes : arrondissement et premier égalissage dans le châssis Lefèvre ; arrosage en présence d'un peu de ternaire sec, pour dresser la surface ; premier lissage de 1^h, dans un tambour muni de 4 saillies ; second égalissage à la main ; premier séchage à l'étuve à 25 ou 30°, pendant 2 jours ; second lissage de 1^h 1/2, dans un tambour sans saillies ; second séchage de 14 jours, jusqu'à ce que l'humidité soit ramenée à 0,8 p. 100 ; troisième lissage de 1/2 heure ; enfin, troisième égalissage à la perce de 14^{mm}. — On obtient ainsi des grains brillants aplatis, de 14^{mm} d'épaisseur, dont la base a 14^{mm} de côté ; le nombre de grains au kilogramme est de 420 : la densité réelle est comprise entre 1,680 et 1,720. Ce procédé offre, d'après les artilleurs suédois, l'avantage d'assurer la combustion complète des grains à l'intérieur de l'âme : il doit se produire, en effet, à un certain instant de la déflagration de la charge, une désagrégation de chaque grain en ses éléments primitifs (matière grenée et grain de canon), de sorte qu'à partir de ce moment la combustion s'effectue comme si la charge était uniquement composée de grains de 2^{mm},2, sans qu'il en résulte un accroissement correspondant des pressions, par suite du déplacement du projectile.

On a fabriqué en Italie, pour le canon de 100 tonnes, une poudre aplatie, dite *progressive*, par un procédé analogue à celui que nous venons de décrire : on opérait le second galetage sur un mélange de grains irréguliers de 3 à 6^{mm}, ayant 1,790 de densité et provenant du galetage de la matière ternaire, avec une certaine quantité de pulvérin. Les dimensions des grains ainsi formés étaient de 54^{mm}, 54^{mm}, 45^{mm}, la densité finale étant de 1,777 et le nombre de grains au kilogramme égal à 5. — Les tirs comparatifs de cette poudre et d'une poudre pebble de Waltham-Abbey (p. 346), se composant de cubes de 38^{mm},1 de côté et de 1,680 à 1,760 de densité, ont montré que, si, à charge égale, la poudre pebble est mieux utilisée que celle de Fosano, à tension égale, au contraire, la force vive de la poudre progressive est supérieure de 1/7 à celle de la poudre pebble.

c) Poudres américaines.

Nous signalerons enfin deux types de poudre fabriqués en Amérique et connus sous les noms de *schaghticoke cubical* et de *compensating powder*.

Le mode de fabrication du schaghticoke cubical présente quelque analogie avec celui des poudres françaises (p. 350). La galette est placée sur une table mobile qui se déplace sur deux paires de rouleaux : un jeu de couteaux fixes formant peigne rencontre la galette sur son passage, et trace sur sa surface une série de sillons parallèles ; en faisant faire un quart de tour à la galette, on achève de la quadriller par un second passage sous les couteaux. On répète la même opération sur l'autre face, et l'on détermine ainsi les plans de rupture suivant lesquels la galette doit être réduite en grains.

Le second type de poudre, récemment proposé par le lieutenant Totten et destiné au canon de 15 pouces Rodman, se compose de grains dont le noyau est en fulmicoton et l'enveloppe en poudre ordinaire : le noyau, qui est sphérique, a 12^{mm},7 de diamètre, et l'épaisseur totale du grain est de 25^{mm},4. D'après Totten, il se produit, par l'emploi de la poudre mammoth (p. 345), une perte de 60 p. 100 du poids de la charge au point de vue de son utilisation réelle : si donc on considère une charge de 100 livres, il y aura avantage à remplacer les 60 livres non utilisées par 15 livres de fulmicoton, en admettant que la force de ce dernier soit quadruple de celle de la poudre ordinaire, et l'on obtiendra ainsi une poudre dont les effets seront, pour une charge de 55 livres, supérieurs de 60 p. 100 à ceux de la poudre mammoth employée à la charge de 100 livres, ou, à égalité de charge, 4,5 fois plus considérables que ceux de la poudre ordinaire. Les deux composés qui constituent le grain n'exercent aucune action chimique l'un sur l'autre ; en outre, la poudre à compensation n'est pas brisante.

§ III.

POUDRES MOULÉES.

I. POUDES CAKES PERFORÉES.

Dès 1860, le major Rodman proposa de fabriquer des grains moulés à la presse hydraulique et d'un diamètre tel que, placés les

uns au-dessus des autres, ils pussent former une charge cylindrique : cette charge, légèrement enduite de colle sur sa surface ou seulement sur les bords des grains et roulée dans du papier fort, constituait une gargousse compacte très-résistante. Chaque grain, formé de poussier ou de matière grenée, était comprimé dans un moule placé sur une pièce de fond ; celle-ci était percée de trous dont le nombre et la grandeur correspondaient à ceux qui devaient être pratiqués dans le grain, et qui étaient recouverts d'une feuille de papier destinée à empêcher la poudre d'y pénétrer. Un piston de même section que l'intérieur du moule, et portant vissées à son extrémité inférieure et parallèlement à son axe des tiges cylindriques munies de pointes coniques égales en nombre et en diamètre aux trous de la pièce de fond, présentait un appendice de même section, percé de trous, qu'on enflait sur les tiges jusqu'au moment où il venait butter contre l'extrémité du piston. La longueur de cet appendice était calculée de manière qu'il pût pénétrer dans le moule d'une quantité suffisante pour donner au grain l'épaisseur et le degré de pression voulus ; un épaulement servait à le maintenir au contact du grain, pendant qu'on retirait les aiguilles qui avaient pénétré dans les trous de la pièce de fond. Le moule était fait en deux parties réunies par une frette.

Lorsqu'on employa cette presse à la fabrication des grains pour le canon de 15 pouces, il devint très-difficile d'extraire les tiges d'un grain cylindrique d'aussi grand diamètre. On eut alors recours à des grains de section hexagonale : une gargousse comprenait 4 rangées, dont chacune se composait de 7 grains. Les épaisseurs des grains prismatiques fabriqués en Amérique ont varié de 25^{mm},4 à 50^{mm},8.

En 1874, on fabriqua, pour le 12 pouces Rodman, des galettes ou plaques cylindriques, ayant 292^{mm} de diamètre sur 76^{mm} de hauteur et percées de trous de 6^{mm},4 à la distance de 19^{mm} d'axe en axe ; la gargousse était formée de 4 galettes (75 livres). Une poudre analogue fut fabriquée pour le 10 pouces. On prêta la plus grande attention à l'uniformité de la densité, en chargeant les moules avec soin et donnant un degré de pression parfaitement fixe ; les trous furent plus tard obtenus en forant la galette, et l'on fit pénétrer partiellement la pièce de fond à l'intérieur du moule. Les rondelles ainsi préparées étaient disposées dans la gargousse de manière que les axes des trous se correspondissent, chaque rondelle étant séparée de sa voisine par des goujons en bois.

Les divers essais exécutés en Amérique sur les *poudres cakes perforées* et sur la poudre en grains non moulés dite mammoth (p. 344), semblent avoir été favorables à l'emploi de cette dernière poudre.

L'idée théorique qui avait présidé à la confection des galettes cylindriques ou prismatiques percées a été précédemment indiquée (p. 343) : dans la combustion des poudres cakes perforées, la surface d'inflammation, qui est, au début, égale à la surface latérale des trous, va continuellement en croissant. On obtient, en outre, par ce mode de déflagration de la charge, une pénétration plus régulière du projectile dans les rayures, une plus grande uniformité dans son mouvement à l'intérieur de l'âme, une moindre déformation de la ceinture en plomb et, par suite, une régularité et une précision supérieures au point de vue des effets balistiques de la poudre.

II. POUDRES PRISMATIQUES.

Les *poudres prismatiques à 7 canaux*, primitivement employées en Russie et en Prusse, ne sont qu'une modification des poudres cakes imaginées par Rodman : elles se fabriquent à l'aide d'une machine spéciale, due au professeur Vischnegradzky.

Cette machine (Pl. IV, *fig. 4*) se compose essentiellement de 2 sommiers placés l'un au-dessous de l'autre et reliés à l'arbre moteur par un système de bielles et d'excentriques, qui, à chaque révolution de l'arbre les sommiers se rapprochent jusqu'à une certaine distance, puis prennent ensemble, mais avec des vitesses différentes, un mouvement de bas en haut. La poudre est versée dans une trémie fixe placée au-dessus de la plaque de distribution, à laquelle une came donne un mouvement alternatif de va-et-vient. Les sommiers portent chacun 6 poinçons, traversés par des faisceaux de 7 aiguilles cylindriques d'acier, terminées en pointe et fixées à une pièce qui fait partie du bâti de la machine; ces poinçons pénètrent dans les cavités correspondantes d'une matrice, où la poudre a été introduite par des canaux percés dans le tiroir de distribution. Les prismes une fois formés sont amenés à la surface supérieure du moule par les poinçons inférieurs; ils sont balayés et rejetés au dehors par le mouvement en avant de la plaque de distribution. Des bagues fixées aux mesures de la plaque de distribution limitent la quantité de poudre que chacune d'elles doit recevoir;

la densité du grain est d'ailleurs réglée au moyen de cales placées sous l'embase des poinçons.

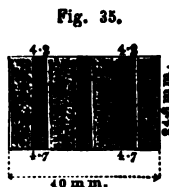
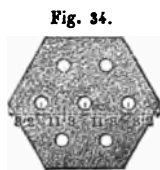
Les machines employées en Allemagne et en Hollande se distinguent de la précédente par une disposition spéciale du tiroir de distribution. Le fond du tiroir se compose de 2 plaques, dont on peut modifier la distance au moyen de coins sur lesquels agit une vis fileté en sens inverse à ses deux extrémités : on peut ainsi faire varier la charge distribuée en augmentant ou diminuant la profondeur du tube de chargement. La presse est, en outre, munie d'un double débrayage à griffes, monté sur l'arbre principal, qui permet de supprimer instantanément l'action du moteur.

Les poinçons peuvent être facilement changés en même temps que la matrice : la machine permet donc de fabriquer un type quelconque de poudre moulée. La forme prismatique des grains offre un réel avantage sur la forme cylindrique, au point de vue de l'emballage de la poudre et de la confection des gargousses ; mais elle a l'inconvénient de présenter un certain nombre d'arêtes vives, qui se brisent et s'écaillent par l'effet du choc ou de la pression.

En Russie, une presse à 6 poinçons moule 320^l de grains par journée de 10 heures. La matière à comprimer consiste en grains de 0^m,75 à 2^m,5, contenant de 6 à 7 p. 100 d'eau. Les charges de poudre étant mesurées au volume, les poids des grains peuvent différer de 6 p. 100 ; mais, à cause de la détente qui suit la compression, les densités finales ne varient pas de plus de 2 p. 100, limite imposée pour la réception. Les grains étaient d'abord exposés pendant 14 jours, sur des étagères pleines, à une température un peu supérieure à 32° ; on a dû substituer à ces étagères de simples clayonnages et terminer le séchage par une exposition de 2 jours sur les tables de la sécherie à la température de 60°, jusqu'à ce que la poudre fût ramenée à 1 p. 100 d'humidité. Le poids d'un grain est de 42^g,665 ; sa densité, prise à l'alcool, varie de 1,670 à 1,710 ; sa hauteur est de 25^{mm},4, la diagonale de la section de 36^{mm},83 et le diamètre des canaux de 5^{mm},08.

A Spandau, les matières ternaires sont humectées, pressées et grenées, comme pour la confection de la poudre à canon (p. 269) ; le mélange de grains et de poussier est séché jusqu'à ce qu'il soit ramené à une humidité de 1,50 p. 100, soumis à une trituration de 1 440 tours dans une tonne de mélange avec des gobilles en bronze, humecté de 10 p. 100 d'eau et de nouveau galeté au laminoir. On grène la

galette ainsi obtenue, dont la densité varie de 1,675 à 1,710, on sépare la poudre à canon, qui est séchée jusqu'à ce qu'elle contienne 6 à 6,50 p. 100 d'humidité et qu'on passe ensuite au tamis. La poudre tamisée ne doit plus contenir que 5,75 p. 100 d'humidité : elle est alors comprimée sous forme de grains prismatiques à 7 canaux, pesant chacun 40^{rs},1. Ces grains, qui renferment encore plus de 5 p. 100 d'humidité, sont ramenés à 0,75 p. 100 par une exposition de 48 heures au plus dans la chambre froide du séchoir, puis par une exposition de 24 à 48 heures dans une chambre chauffée à 45 ou 50°. Les grains prismatiques prussiens sont généralement moins brillants et présentent plus d'efflorescences salpêtrées que les grains fabriqués en Russie. — Le poids final des grains de Spandau est de 37^{rs},5 ; les grains fabriqués par Ritter à la poudrerie de Hamm pèsent 40^{rs},5. La densité est de 1,660. Le diamètre de la base, d'angle à angle, est de 40^{ms} et la hauteur de 24^{ms},8 (fig. 33, 34 et 35). Les 7 canaux sont



disposés, l'un au centre du grain, les 6 autres dans les coins, mais plus près des bords que du canal central ; leur diamètre est de 4^{ms},7 à la base inférieure et de 4^{ms},2 à la base supérieure.

Divers essais ont été tentés, dans ces dernières années, pour élever la densité des grains prismatiques à 1,740 et 1,760, et pour remplacer en même temps les 7 canaux par un seul canal central, dispositif qui offre de plus sérieuses garanties au point de vue de la conservation de la forme du grain pendant toute la durée de la combustion. En Russie, la poudre prismatique, d'une densité de 1,750 et munie d'un canal central de 13^{ms} de diamètre, a été trouvée trop vive pour le canon de 14 pouces ; mais une poudre analogue, dont le canal avait 10^{ms}, a donné des résultats remarquables et s'est montrée bien supérieure à la poudre pebble (p. 346). En Allemagne, on tire également, dans les canons Krupp de 11 et de 14 pouces, une poudre dont les grains sont percés d'un canal unique de

9 à 10^{mm}. On fabrique actuellement, à la poudrerie de Hamm, des grains prismatiques à un seul canal, dont le diamètre est de 50^{mm} et la densité de 1,750.

III. POUDRE PELLET.

La *poudre pellet*, ou poudre cylindrique moulée, se fabrique à l'aide de presses imaginées par John Anderson et installées principalement à Woolwich, à Hounslow et à Waltham-Abbey. Nous décrivons la machine employée dans cette dernière poudrerie.

La machine pellet (Pl. IV, *fig.* 3) se compose d'une plate-forme tournante de 1^m,86 de diamètre, dont la circonférence est dentée et qu'on peut mettre en mouvement à la main au moyen d'un engrenage. Cette plate-forme porte 4 plaques de bronze de forme ovale, disposées à angle droit, ayant environ 0^m,46 de diamètre sur 0^m,052 d'épaisseur et percées chacune de 250 trous cylindriques de 17^{mm} de diamètre; chacun de ces trous est garni d'un piston d'acier, qui peut monter par la pression de la presse ou descendre par son propre poids. Au-dessus de ces plaques se trouvent d'autres plaques parallèles, garnies de tiges à tetons qui viennent obturer les trous correspondants; ces dernières plaques sont fixées à un châssis qui peut monter ou descendre, suivant que le piston auquel il est adapté reçoit la pression en dessus ou en dessous. On peut ainsi faire supporter aux deux faces du grain la même pression et éviter d'avoir, pour l'une des faces, un appui sur une paroi complètement fixe.

On produit simultanément la pression dans les trous de deux plaques opposées, au moyen de deux presses disposées symétriquement par rapport à l'axe de la machine. Les tiges supérieures étant soulevées et les pistons se trouvant à une distance de 32^{mm} environ au-dessous de la surface des plaques (*fig.* 36), on remplit les trous du mélange de grains et de poussier, tel qu'il provient d'un grenage à la perce de mousquet (p. 277), et l'on nettoie les plaques; puis, par une manœuvre convenable du mécanisme, on abaisse les tiges supérieures, qui, dans le type primitif de la machine pellet, produisent simplement l'obturation des trous sans pénétrer à l'intérieur (*fig.* 37), et l'on donne la pression de manière à réduire la hauteur du cylindre de poudre de 34^{mm} à 17^{mm} : on soulève alors les tiges et l'on remonte les pistons jusqu'à la surface de la plaque (*fig.* 38), de sorte

Fig. 35.

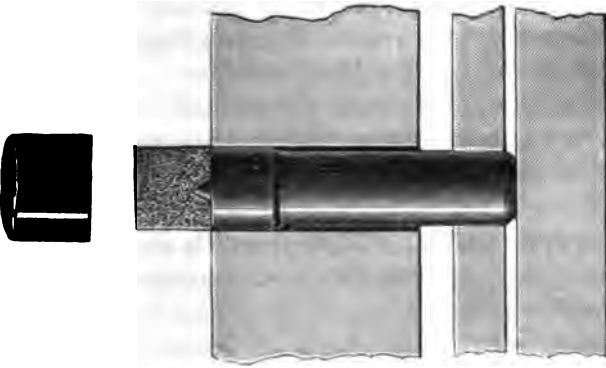


Fig. 37.

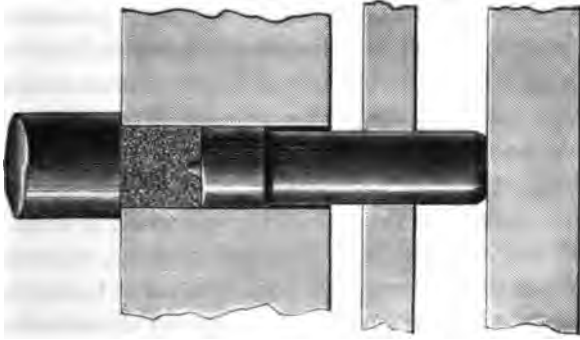
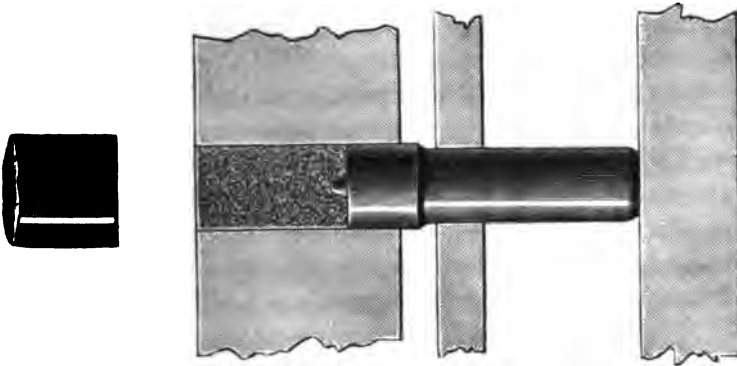


Fig. 36.



que les grains moulés se trouvent complètement dégagés. L'opération terminée, on fait faire un quart de tour à la plate-forme et l'on enlève les grains, pendant que la même série de manœuvres est

exécutée sur la partie symétrique de la machine. La pression exercée est d'environ 75^k par centimètre carré; l'appareil est servi par 3 ouvriers.

Le grain de poudre pellet est un cylindre lisse, ayant 18^{mm} de diamètre sur 12^{mm} de hauteur et portant sur l'une de ses bases un évidement en forme de cône émoussé, qui mesure 5^{mm} de diamètre sur 7^{mm} de profondeur. Il pèse en moyenne 6^{gr},43, et sa densité varie de 1,650 à 1,700. La fabrication de la poudre pellet, en Angleterre, paraît être aujourd'hui en partie abandonnée pour celle de la poudre pebble (p. 345).

IV. POUDRE HEXAGONALE.

On donne le nom de *poudre hexagonale* à une poudre américaine, fabriquée depuis 1872 à Wilmington (Delaware) par Dupont de Nemours, et dont les grains se composent de deux troncs de pyramide à six pans, réunis par leurs grandes bases au moyen d'une couche de poudre d'épaisseur variable. La galette s'obtient en comprimant un mélange de grains et de poussier entre des plaques qui portent en creux la forme extérieure des grains; il suffit ensuite de la briser, soit à la main, soit mécaniquement, suivant les lignes de séparation ainsi formées. On peut faire varier la densité gravimétrique de cette poudre dans des limites assez étendues en modifiant la distance qui sépare les cavités correspondantes des plaques de pression, ou encore, pour des galettes semblables, en conservant sur une plus ou moins grande largeur, lors du grenage, la couronne de raccordement des pyramides.

Cette poudre, qui est très-répandue en Amérique, ne paraît pas, d'après des expériences françaises, présenter de sérieux avantages sur les poudres parallépipédiques. Un échantillon, dont les grains avaient une largeur de 75^{mm} à la base et de 32^{mm} au sommet, avec une hauteur de 70^{mm} et une épaisseur de couronne de 15^{mm}, s'est montré, pour les calibres supérieurs au 24 cent., plus vif et plus brisant que la poudre de Wetteren de 25 à 30^{mm} (p. 347).

V. POUDRES MOULÉES AU CAOUTCHOUC.

Nous signalerons, en terminant, un ingénieux procédé de moulage dû à Lebbrecht et breveté, depuis 1875, en Belgique et en Prusse

Une plaque en caoutchouc ^{ou} en gutta-percha élastique, percée de cavités correspondant à la forme et aux dimensions des grains à obtenir, est placée sur une plaque de cuivre : on remplit les cavités de poudre, et l'on forme ainsi une pile par la superposition de plaques élastiques séparées par des feuilles de cuivre : puis on soumet le tout à l'action de la presse hydraulique. Pendant cette opération, la section des ouvertures décroît, et la compression latérale qui en résulte agit sur les grains de manière à produire une diminution de densité de la surface extérieure vers le centre. Au moment du déchargement, les plaques élastiques reviennent à leur épaisseur primitive et les ouvertures reprennent leurs sections premières, ce qui a pour résultat de produire un démoulage spontané et d'éviter ainsi une des plus grandes difficultés des procédés actuellement en usage. Toutefois, ce mode d'opérer ne paraît pas assurer à la forme des grains une régularité suffisante, surtout pour les poudres des calibres supérieurs.

CHAPITRE XIII.

GÉNÉRALITÉS SUR LA FABRICATION DE LA POUDRE.

§ I.

TABLEAU D'ENSEMBLE DE LA FABRICATION.

Nous avons passé en revue, dans les chapitres précédents, les opérations successives de la fabrication des poudres. Nous croyons utile de résumer ce qui se rapporte spécialement à chaque sorte de poudre (à l'exception des poudres à gros grains), en complétant certaines parties que nous avons dû négliger à dessein, afin de mettre en évidence les caractères distinctifs des procédés généraux de fabrication adoptés en France et à l'étranger.

I. POUDRES FRANÇAISES (*).

a) Poudres de guerre (pilons ou meules).

Poudres des pilons. — Dosage : 75, 12,5, 12,5. Charbon noir de bourdaine à 30 p. 100.

(*) *Poudreries* : Angoulême, Esquermes, Le Bouchet, Le Ripault, Pont-de-Buis, Saint-Chamas, Saint-Médard, Saint-Ponce, Sévran-Livry, Toulouse, Vonges.

Raffineries : Bordeaux (salpêtre), Lille (salpêtre), Marseille (salpêtre et soufre).

Fabrique de dynamite : Vonges.

Fabrique de coton-poudre : Moulin-Blanc.

Dépôt central des poudres et salpêtres : Paris.

Triturations simples du soufre et du charbon dans des tonnes en cuir : 1^a, 22 tours. Tamisage.

Battage aux pilons (40^a) : 11^a, 8 à 10 p. 100 d'eau au déchargement. Poussières repassés sous les pilons : 3^a, 11 p. 100 d'eau. Essorage : 5 p. 100 d'eau.

Grenage à la tonne-grenoir : perce 2^{mm},5 (canon), 1^{mm},4 (mousquet). Tamisage : perce 1^{mm},4 (canon), 0^{mm},6 (mousquet).

Lissage (500^a) : 10 à 12^{min} (canon), 15^{min} (mousquet), 10 à 12 tours.

Surégalisage : perce 2^{mm},5 (canon), 1^{mm},4 (mousquet).

Séchage naturel ou artificiel : 0,50 p. 100 d'eau.

Époussetage. Grains entre 2^{mm},5 et 1^{mm},4 (canon), 1^{mm},4 et 0^{mm},6 (mousquet).

Épreuves (*) : $d = 0,830$ à $0,870$. $X > 225^m$. $V(10) > 450^m$.

Ancienne poudre à fusil, dite B. — Dosage : 74, 10,5, 15,5. Même charbon.

Triturations simples ou binaires dans des tonnes en cuir ou en fer : 2 à 6^a, 20 à 25 tours. Tamisage.

Trituration sous les meules (20^a) : 3^a (chargement et déchargement compris), 3 à 4 p. 100 d'eau. Poussières repassés 1/2^a, 3 à 4 p. 100 d'eau.

Galetage rapide sous les meules. Essorage. Concassage au maillet.

Grenage au grenoir à retour : perces 1^{mm},4 et 0^{mm},6.

Lissage (500 à 600^a) : 36^a, 10 à 12 tours.

Séchage : 0,50 p. 100 d'eau.

Époussetage : perce 0^{mm},6.

Épreuves : $d = 0,925$. $\delta = 1,750$. $n = 1700$. $X = 221^m$. $V(10) = 570^m$.

Poudre à fusil actuelle, dite F₁. — Dosage : 77, 8, 15. Même charbon.

Même préparation des charges que pour B.

Trituration sous les meules (20^a) : 2^a 1/2, 2 à 3 p. 100 d'eau. Poussières repassés 1/2^a ou en partie galetés à la presse.

Galetage lent sous les meules. Essorage (1 ou 2 jours). Concassage et tamisage, avec ou sans séparation des pâtes molles.

Grenage au grenoir à retour ou à cylindres : perces 1^{mm},4 et 0^{mm},8.

Lissage (500 à 600^a) : 20^a, 10 à 12 tours.

(*) Nous désignerons par d la densité gravimétrique, δ la densité réelle, n le nombre de grains au gramme, X la portée au mortier-épreuve, $V(10)$ et $V(5)$ les vitesses au fusil-pendule à la charge de 10^{gr} et de 5^{gr}, v_{25} la vitesse à 25^m de la bouche obtenue dans le fusil Gras avec la cartouche réglementaire.

Séchage : 1 à 1,10 p. 100 d'eau.

Surégalisage et époussetage : perces 1^{mm}, 2 et 0^{mm}, 6.

Mélange à l'appareil de Sévran.

Rendement : 33 à 42 p. 100.

Épreuves : $d=0,933$ à $0,943$. $\delta > 1,740$. $n < 2000$. $v_{25} = 426$ à 434 .

Poudre à canon, dite MC_{30} . — Dosage : 75, 12,5, 12,5. Même charbon.

Même préparation des charges que pour B.

Trituration sous les meules (25^t) : 3/4^t, 5 à 6 p. 100 d'eau. Poussières repassés 15^{mn}.

Galetage rapide sous les meules. Concassage.

Grenage à la tonne-grenoir : perce 2^{mm}, 5. Tamisage à 1^{mm}, 4.

Lissage (600^t) : 1^t à 1^t 1/2, 10 tours.

Surégalisage : perce 2^{mm}, 5.

Séchage : 1 à 1,10 p. 100 d'eau.

Époussetage : perce 1^{mm}, 4.

Rendement : 44 p. 100.

Épreuves : $d=0,900$ à $0,920$. $\delta=1,630$ à $1,650$. $n=300$. $X=227$. $V(10)=485$.

b) Poudres de chasse (meules).

Dosage : 78, 10, 12. Charbon roux de bourdaine à 40 p. 100.

Triturations binaires dans des tonnes en fer ou en cuir : 4 à 6^t, 20 à 25 tours.

Trituration sous les meules (20 ou 25^t) : 1^t 1/4 à 2^t avec 3 à 3,5 p. 100 d'eau (fine), 2^t 1/4 à 3^t avec 2,5 à 3 p. 100 d'eau (superfine), 3^t avec 2 à 2,50 p. 100 d'eau (extrafine). Poussières repassés 1/2^t avec même humidité.

Galetage lent sous les meules. Essorage (1 ou 2 jours). Concassage et double tamisage, avec séparation des pâtes molles.

Grenage au grenoir à retour : perces soie n° 000 et n° 3 (fine), n° 0 et n° 5 (superfine), n° 1 et n° 8 (extrafine).

Lissage : 12 à 24^t (fine), 24 à 36^t (superfine), 48^t (extrafine).

Séchage : 0,50 p. 100 d'eau.

Surégalisage et époussetage : 1^{mm} et soie n° 8 (fine), 0^{mm}, 65 et soie n° 12 (superfine), soie n° 1 et n° 12 (extrafine).

Rendement : 50 à 55 p. 100 (fine), 55 à 58 (sup.), 58 à 60 (extr.).

Épreuves : $d > 0,860$. $\delta=1,690$ à $1,820$ (fine), $1,700$ à $1,840$ (sup.).

1,750 à 1,870 (extr.). $n=15000$ à 30000 (fine), 30000 à 60000 (sup.), 50000 à 80000 (extr.). $V(5) > 330^m$ (fine), $> 350^m$ (sup.), $> 375^m$ (extr.).

c) Poudres de mine (tonne de granulation, presses ou meules).

Poudres de mine rondes. — 3 sortes : ordinaire, forte, lente.

1° Ordinaire. — Dosage : 62, 20, 18. Charbon noir de bois blanc à 35 p. 100.

Triturations binaires dans des tonnes en fer : 4 à 5^a (salpêtre), 6 à 7^a (soufre), 20 à 28 tours.

Trituration ternaire dans des tonnes en cuir : 1^a 1/2 à 2^a 1/2, 20 à 25 tours.

Granulation dans la tonne de Champy : grains entre 3^{mm} et 6^{mm}, 10 p. 100 d'eau. Tamisage.

Lissage : 6 à 12^a (sans séchage), 20 à 24^a (avec séchage).

Séchage facultatif : 1 à 1,50 p. 100 d'eau.

Rendement : 50 p. 100.

2° Forte. — Dosage : 72, 13, 15. Même charbon.

Même fabrication. Grains entre 2^{mm} et 4^{mm}.

3° Lente. — Dosage : 40, 30, 30. Même charbon.

Même fabrication. Grains entre 4^{mm},5 et 8^{mm}.

Poudres de mine anguleuses. — Dosage de mine ordinaire, forte ou lente. Même charbon.

Triturations binaires et ternaire, comme pour la mine ronde.

Granulation dans la tonne de Champy : grains entre 3^{mm} et 6^{mm}, 7 à 8 p. 100 d'eau. Tamisage. Lissage : 12 à 16^a (portes ouvertes), 4 à 5 p. 100 d'eau.

Grenage à la tonne-grenoir : perce 1^{mm},4. Tamisage à 0^{mm},65.

Lissage : 5^a (portes ouvertes, 7 tours), 6^a (portes fermées, 14 tours), 1 à 4^a (portes ouvertes), 1,20 à 1,50 p. 100 d'eau.

Surégalisage et époussetage facultatif : 1^{mm},4 et soie n° 8. Grains entre 0^{mm},6 et 1^{mm},4.

Poussières repassés aux meules (25^a) : 15^{mm}, 4 p. 100 d'eau. Galetage rapide. Concassage et double tamisage, avec séparation des pâtes molles : 1^{mm},4 et n° 0. Grenage de la pâte dure à la tonne-grenoir. Mélange des produits du grain rond, de la galette et des pâtes molles pour le lissage. — Repassage facultatif des poussières à la presse.

Rendement : 47 p. 100.

Épreuves : $\delta=1,450$ à 1,550. $n=1700$.

Mode de fabrication analogue par les meules ou par les presses.
Poudres de mine fin grain. — Dosage de mine ordinaire, forte ou lente. Même charbon.

Triturations binaires et ternaire. Tamisage.

Trituration sous les meules (20^h) : 1/2^h, 3 à 3,50 p. 100 d'eau.

Galetage rapide sous les meules. Concassage et double tamisage, avec séparation des pâtes molles. Poussières repassés 15^{me}.

Grenage à la tonne-grenoir : perce 0^{me},65. Tamisage : soie n° 5.

Lissage (mélange) : 18^h (portes fermées), 6^h (portes ouvertes), 0,60 à 0,80 p. 100 d'eau.

Époussetage : soie n° 12. Grains de chasse superfine.

Rendement : 46 p. 100, .

Épreuves : $d = 0,825$. $\delta = 1,560$. $V(5) = 306^{\circ}$. Vitesse de combustion dans une rainure : 0^{me},66 par seconde.

Mode de fabrication analogue par la tonne de granulation ou par les presses.

d) Poudres de commerce extérieur (pilons, presses ou meules).

Dosage : 72, 13, 15. Charbon noir de bois blanc à 35 p. 100. Grains entre 0^{me},5 et 2^{me},5 ou entre 1^{me} et 2^{me},5.

Poudre des pilons. — Triturations simples. Tamisage.

Battage aux pilons : 3^h, 8 à 9 p. 100 d'eau. Essorage.

Grenage à la tonne-grenoir.

Lissage : 12^h (2^h portes fermées, 10^h portes ouvertes).

Séchage, égalisage et époussetage.

Poussières galetés à la presse et grenés au grenoir à retour.

Épreuves : $d = 0,950$. $\delta = 1,500$. $V(10) = 435^{\circ}$.

Poudre des presses. — Triturations binaires et ternaire. Humectage à 4 p. 100 d'eau. Tamisage à 5 ou 6^{me}.

Galetage à la presse hydraulique ou au laminoir.

Grenage à la tonne-grenoir.

Lissage : 24^h (avec séchage).

Égalisage et époussetage.

Poussières galetés à la presse et grenés à la tonne-grenoir.

Épreuves : $d = 0,970$. $\delta = 1,514$. $V(10) = 433^{\circ}$.

Poudre des meules. — Triturations binaires. Tamisage.

Trituration sous les meules (20^h) : 1/2 heure.

Galetage rapide sous les meules.

Grenage au grenoir à retour (tourteau léger).

Lissage (plombagine) : 24^h (avec séchage).

Égalisage et époussetage.

Poussiers repassés sous les meules 15^{min} ou galetés à la presse.

Épreuves : $d = 0,870$. $\delta = 1,530$. $V(10) = 500^m$.

II. POUDRES ALLEMANDES (SPANDAU ET DRESDE).

a) Poudres de guerre de l'ancien armement (tonnes et presses).

Dosage : 74, 10, 16. Charbon noir de bourdaine et de saule à 30 p. 100.

Trituration simple du charbon dans une tonne en bois et cuir : 1^h 1/2, 10 tours. Trituration binaire du soufre et du salpêtre : 2^h, 10 tours.

Trituration ternaire dans une tonne en cuir : 2^h 1/2, 10 tours. Humectage à 10 p. 100.

Galetage à la presse hydraulique ou au laminoir : 8,50 à 9 p. 100 d'eau. Concassage au maillet.

Grenage au grenoir à retour : perces 1^{mm},2 et 0^{mm},26, 8 p. 100 d'eau. Poussiers humectés de 2 p. 100, galetés et grenés.

Séchage préalable en plein air ou sur des étagères : 3 p. 100 d'eau.

Époussetage et assortissage préalables dans l'appareil de Spandau : 120 coups; grains entre 1^{mm},2 et 0^{mm},67 (canon), 0^{mm},67 et 0^{mm},26 (fusil). Poussiers humectés de 7 p. 100 et repassés à la presse.

Lissage (200^h) : 4^h, 9 à 16 tours, 1 à 1,50 p. 100 d'eau.

Séchage naturel ou artificiel : 1^h 1/4.

Époussetage dans les sacs : 1/2^h (canon), 1^h (fusil), à Spandau; le double à Dresde.

Assortissage dans l'appareil de Spandau : 120 coups en 5^{min}. Grains entre 1^{mm},04 et 0^{mm},67 (canon), 0^{mm},67 et 0^{mm},26 (fusil).

Mélange à l'appareil de Spandau ou de Dresde.

Épreuves : $d = 0,837$ à $0,875$ (Prusse), $0,894$ à $0,924$ (Allemagne).

b) Nouvelle poudre à fusil (meules et presses).

Même dosage. Même charbon.

Triturations simples des trois composants dans les tonnes en bois et cuir : 2^h.

Trituration ternaire dans les tonnes en cuir : 2^h 1/2. Humectage à 5 p. 100.

Trituration sous les meules (25^h) : 2^h 1/2, 9 tours, 2,50 p. 100 d'eau. Concassage.

Galetage à la presse hydraulique : 2 p. 100 d'eau. Concassage.
 Grenage au grenoir à retour : perces 1^{me}, 2 et 0^{me}, 26.
 Lissage (200^t) : 5^t, 8 à 15 tours, 1 p. 100 d'eau.
 Séchage, époussetage, égalisage. Grains entre 1^{me}, 2 et 0^{me}, 26.
 Mélange.
 Épreuves : $\delta = 1,650$ à 1,660.

III. POUDRES AUTRICHIENNES (STEIN).

Poudre des tonnes et presses. — Dosage : 75, 5, 10, 14, 5. Charbon noir de bourdaine et d'aune à 30 p. 100.
 Triturations binaires dans des tonnes en fer.
 Trituration ternaire dans des tonnes en cuir.
 Galetage au laminoir. Concassage au concasseur mécanique.
 Grenage au grenoir à retour : perces 1^{me}, 2 et 0^{me}, 3.
 Séchage préalable en plein air et sur les étagères.
 Époussetage et assortissage préalables.
 Lissage (125^t) : 6 à 12^t, 8 à 15 tours.
 Séchage naturel ou artificiel.
 Époussetage et assortissage : grains entre 1^{me}, 2 et 0^{me}, 75 (canon), 0^{me}, 75 et 0^{me}, 3 (fusil).
 Mélange à l'appareil de Spandau.
 Épreuves : $\delta = 1,600$ (canon), 1,620 (fusil).

IV. POUDRES RUSSES (OCHTA).

a) Poudres de l'ancien armement (meules et presses).

Dosage : 75, 10, 15. Charbon noir d'aune à 30 p. 100.
 Trituration simple du charbon sous les meules. Trituration binaire du soufre et du charbon dans des tonnes en fer.
 Trituration sous les meules (32 à 48^t) : 4^t, 2,5 à 5 tours, 6 p. 100 d'eau. Concassage.
 Galetage au laminoir ou à la presse hydraulique. Concassage.
 Grenage au grenoir à retour : perces 2^{me}, 5 et 0^{me}, 26, 5 p. 100 d'eau.
 Séchage préalable sur les étagères : 30^t, 48 à 60^t, 2,50 p. 100 d'eau.
 Lissage (110^t) : 3^t 1/2, 18 à 20 tours, 1 p. 100 d'eau.
 Séchage sur les tables de la sécherie : 60^t, 2^t 1/2 à 3^t.

Assortissage dans l'appareil de Spandau : grains entre 2^{mm},44 et 1^{mm},27 (artillerie), 1^{mm},27 et 0^{mm},76 (infanterie), 0^{mm},76 et 0^{mm},38 (chasse grosse), 0^{mm},38 et 0^{mm},26 (chasse fine).

Époussetage dans les sacs de Spandau : 1[°].

Mélange à l'appareil de Spandau.

Épreuves : $d = 0,935$ à $0,945$ (art.), $0,915$ à $0,935$ (inf.). $\delta = 1,550$ à $1,625$ (art.), $1,560$ à $1,635$ (inf.). $n = 142$ à 169 (art.), 371 à 412 (inf.).

b) Nouvelle poudre à fusil (meules et presses).

Dosage : 77, 8, 15. Charbon roux d'aune à 35 p. 100.

Fabrication analogue. Grains entre 0^{mm},38 et 0^{mm},76.

V. POUDRES BELGES (WETTEREN).

Poudre des meules. — Dosage : 75, 12,5, 12,5. Charbon noir de chènevotte et de bourdaine à 30 p. 100.

Trituration du soufre sous une meule en pierre et dans une tonne en fer. Tamisage : soie n° 8. Triturations binaires dans des tonnes en fer : 2[°] 1/2 (salpêtre), 3[°] (soufre).

Trituration ternaire dans des tonnes en cuir : 40^{min}.

Trituration sous les meules (25[°]) : 3[°], 7 à 8 p. 100 d'eau. Concassage au maillet.

Grenage au grenoir à retour.

Lissage (50[°]) : 4[°] (guerre), 5[°] (chasse).

Séchage naturel ou artificiel.

Second lissage (facultatif) : avec ou sans plombagine.

Époussetage.

Mélange dans des bacs.

Épreuves : $d = 0,866$ (canon), $0,835$ (fusil).

VI. POUDRES ANGLAISES (WALTHAM-ABBET)

Poudre des meules et presses. — Dosage : 75, 10, 15. Charbon noir d'aune et de cornouiller à 25 p. 100.

Triturations simples du soufre et du charbon sous des meules en pierre. Tamisage au blutoir.

Trituration ternaire dans la tonne à palettes : 5^{min}, 40 tours.

Trituration sous les meules (24 à 29[°]) : 2[°] 1/2 à 5[°] 1/2, 7 à 8 tours.

Concassage à la machine à broyer : perce 2^{mm},5.

Galetage à la presse hydraulique : 70 à 80^{mm} (canon), 50 à 60^{mm} (fusil et chasse). Concassage au maillet.

Grenage et assortissage au grenoir à cylindres : perces de 0^{mm},35 à 6^{mm},33 (p. 277).

Lissage (181^h) : 30 à 40 tours, 40^{mm} (RLG), 3^h 1/2 (FG), 5^h 1/2 (RFG), 10 à 12^h (chasse).

Séchage sur les étagères : 55°, 18^h.

Second lissage (facultatif) : avec ou sans plombagine.

Époussetage dans un blutoir horizontal ou incliné : 7^h (LG).

Épreuves : $d = 0,895$ à $0,943$ (LG), $0,943$ à $0,991$ (RLG).

VII. POWDRES ITALIENNES (FOSSANO ET SCAFATI).

Poudre des tonnes et presses. — Dosage : 75, 10, 15. Charbon noir de chènevotte et de saule à 28 p. 100.

Trituration simple du soufre dans le pulvérisateur. Trituration simple du charbon dans le concasseur. Triturations binaires dans des tonnes en fer : 20 tours, 6^h (salpêtre), 12^h (soufre).

Trituration ternaire dans des tonnes en cuir : 14 à 16 tours, 3 à 4^h. Tamisage à 0^{mm},4. Humectage de 1,80 à 3,35 p. 100 d'eau.

Galetage à la presse hydraulique : 100^h par c. q. Ébarbures humectées de 1 p. 100 et repassées à la presse. Essorage (2 à 3 jours) : 1,50 à 2 p. 100 d'eau. Concassage au concasseur mécanique.

Grenage et assortissage au grenoir à cylindres de Waltham-Abbey : grains entre 1^{mm},5 et 0^{mm},7 (canon), 0^{mm},7 et 0^{mm},4 (fusil); 1 à 1,50 p. 100 d'eau.

Lissage (220^h) : 12 tours, 6^h (canon), 4^h (fusil); 1 à 1,25 p. 100 d'eau.

Séchage naturel ou artificiel : 0,50 p. 100 d'eau.

Époussetage au blutoir incliné : 12 tours (canon), 8 à 9 tours (fusil).

Mélange à l'appareil de Spandau.

Épreuves : $d = 0,850$ à $0,890$ (canon), $0,820$ à $0,860$ (fusil). $\delta = 1,660$ à $1,700$ (canon), $1,630$ à $1,670$ (fusil). $n = 900$ à 950 (canon), 4500 à 5000 (fusil).

VIII. POWDRES ESPAGNOLES (GRENADE).

Poudre des tonnes et presses. — Dosage : 75, 12,5, 12,5. Charbon noir de chènevotte à 28 p. 100.

Triturations simples ou binaires dans les tonnes.

Trituration ternaire dans les tonnes. Humectage à 2,5 p. 100.

Galetage à la presse hydraulique.

Grenage avec des cylindres en bronze : perces 4^{mm},5 et 0^{mm},5.

Lissage.

Séchage naturel ou artificiel.

Époussetage et assortissage : grains entre 5^{mm} et 2^{mm},5 (canons de gros calibre), 2^{mm},3 et 1^{mm} (canons de petit calibre), 1^{mm} et 0^{mm},5 (canon de 8 cent. et armes portatives).

Fabrication analogue d'une poudre de 10 à 15^{mm} (canons rayés de calibre supérieur au 16 cent.).

§ 11.

PRODUCTION ET CONSOMMATION.

I. FONCTIONNEMENT DES APPAREILS.

a) Travail consommé.

Le tableau ci-dessous indique le travail consommé par les principaux appareils employés à la fabrication des poudres, tant en France qu'à l'étranger.

	Chev.
<i>Tonne binaire</i> en fer, 110 ^k de matières et 120 ^k de gobilles, 20 à 28 tours par minute (France)	1,75
<i>Tonne ternaire</i> en cuir, 100 ^k de matières et 100 ^k de gobilles, 20 à 25 tours par minute (France)	1,3
<i>Pilon</i> de 40 ^k , 55 à 60 coups par minute (France)	0,3
<i>Paire de meules</i> de 5 000 à 6 000 ^k chacune, 20 à 25 ^k de matières, 10 tours par minute (France)	6 à 7
<i>Grenoir à retour</i> , 8 tamis, 75 à 80 tours par minute (France)	1,5
<i>Grenoir à retour</i> , 12 tamis, 70 à 75 tours par minute (Allemagne)	2 5
<i>Grenoir à cylindres</i> de Waltham-Abbey (Angleterre)	3 à 4
<i>Tonne-grenoir</i> (France)	0,8
<i>Tonne de granulation et tamiseur mécanique</i> (France)	2
<i>Tonne de lissage</i> à 2 compartiments, 600 ^k de matières, 12 à 14 tours par minute (France)	2,5 à 3
<i>Tonne de lissage</i> , 200 ^k de matières, 16 tours par minute (Allemagne)	1,5
<i>Tonne de lissage</i> , 220 ^k de matières, 12 tours par minute (Italie)	1,5 à 2
<i>Châssis d'assortissage</i> (Allemagne, Russie, etc.)	1
<i>Ventilateur de la sécherie</i> , 10 à 15 ^m de table (France, etc.)	2
<i>Blutoir</i> , 12 tours par minute, 800 ^k de matières en 10 ^k (Italie)	1

b) Débits et rendements.

Meules. — Le débit des meules varie, pour les différentes poudres, avec la durée de la trituration des matières.

Soient :

- A la quantité initiale de matières versées sous les meules,
 Q la charge d'une paire de meules,
 T la durée de la fabrication correspondant à A,
 t, t_1 les durées de trituration des compositions et des poussières.
 r le rendement final en grains ;

on aura :

$$T = \frac{A}{Qr} \left[(t - t_1)r + t_1 \right].$$

On peut déduire de cette formule, pour les poudres des meules autres que les poudres à gros grains, la quantité A de poudre perfectionnée correspondant à une fabrication de durée T. Le tableau suivant indique les productions théoriques des diverses poudres de guerre ou de chasse françaises par paire de meules et par journée de 24^e de travail effectif, avec ou sans l'emploi des presses pour les poussières.

ESPECÈ de poudre.	CHARGE d'une paire de meules Q.	DURÉE de la trituration, chargement et déchar- gement compris.		RENDE- MENT final en grains r.	PRODUCTION THÉORIQUE d'une paire de meules par 24 ^e de travail effectif		OBSERVATIONS.
		Compo- sitions t.	Poussières t ₁ .		sans l'emploi des presses pour les poussières.	avec l'emploi des presses pour les poussières.	
Guerre	MC ₂₀ . . .	25 ^k	0 ^h ,75	0 ^h ,50	0,44	430 ^k	» ^k
	SP ₂ . . .	20	2,50	0,50	0,70	150	»
	SP ₁ , C ₁ . .	20	2,50	0,50	0,50	137	»
	F ₁	20	2,50	0,50	0,35	140	»
		20	2,50	0,50	0,35	»	170
Chasse	fine	20	1,25	0,75	0,50	240	»
	superfine.	20	1,50	»	0,55	»	320
		20	2,25	0,75	0,57	170	»
	extrafine.	20	2,50	»	0,55	»	190
		20	3,00	0,75	0,60	85	»
	20	3,00	»	0,60	»	95	

(*) En ne repassant aux presses que les poussières verts.

Dans la pratique, ces chiffres doivent être, par suite des chômages, réduits dans une certaine proportion, qui est d'environ 1/10 pour une usine marchant par la vapeur.

Presses. — Les presses hydrauliques françaises donnent de 130 à 350^l de galettes par heure, suivant leurs dimensions, la nature des matières et la densité à obtenir.

En Italie, les presses hydrauliques ordinaires débitent 130^l par heure, la presse à cassette 36^l seulement.

Les laminoirs russes et allemands donnent environ 360^l de galettes à l'heure.

La presse prismatique russe à 6 matrices débite 32^l de grains par heure.

Grenoirs. — Nous avons précédemment indiqué les débits et rendements relatifs aux grenoirs à retour français (p. 271), allemand (p. 269) et russe (p. 272), à la tonne-grenoir (p. 273-274), aux grenoirs à cylindres français (p. 279), anglais (p. 276-277) et italien (p. 278), enfin à la tonne de granulation (p. 281-282).

Séchoirs. — Nous nous contenterons de renvoyer au tableau de la p. 307.

II. PAIX DE REVIENT DES PRODUITS.

Les prix de revient des poudres dans les différents pays ne pourraient fournir des indications utiles sur l'économie relative des procédés de fabrication employés que si la valeur des terrains et des bâtiments, le prix des matières premières, des machines et de la main-d'œuvre se trouvaient comparables dans tous les cas. Sous ces réserves, nous indiquerons les principaux résultats obtenus.

En France, les prix de revient varient suivant l'espèce de poudre. On peut les évaluer, en moyenne, aux chiffres suivants :

Poudres de guerre	}	à canon et à fusil ordinaires.	1',30 le kil.
		F, et à gros grains.	1',80 —

En Allemagne (Spandau et Dresde), le prix de revient de 1^l de poudre s'élève, déduction faite des salaires et des frais d'entretien de l'établissement producteur, à 1',35 environ. Les prix de vente varient de 2',25 à 2',50. La poudrerie royale de Dresde n'étant pas à la charge de l'État, qui en achète les produits, l'administration de l'établissement est tenue de pourvoir à son entretien et à son déve-

loppement sur les bénéfices qu'elle retire de la vente des poudres.

En Autriche, les prix de revient, calculés en tenant compte de l'intérêt du capital engagé et de l'amortissement, varient de 1',068 à 1',201 par kil.

En Suisse, les cantons doivent acheter les poudres dont ils ont besoin aux établissements de la Confédération. Les bénéfices réalisés sur cette vente servent à pourvoir aux dépenses de l'État.

En Angleterre, les prix de revient des produits de la poudrière de Waltham-Abbey sont les suivants :

Poudres à canon	{	LG (canons ordinaires).	1',58 le kil.
		LGA ₈ (canons Armstrong).	1,96 —
Poudres à fusil.	{	RLG (anciennes armes).	1,58 —
		RFG (armes rayées).	1,96 —
		FG (exercices à blanc).	1,58 —
Poudre shell FG	(projectiles creux).	1,58 —	

III. USAGE ET CONSOMMATION.

En France, les *poudres de chasse* livrées à la consommation se distinguent, comme nous l'avons vu, en *fine*, *superfine* et *extrafine* (p. 366). Les *poudres de mine* comprennent les poudres *rondes*, exclusivement employées, à l'origine, pour les travaux de sautage ou de pétardement, les poudres *anguleuses*, qui sont destinées à la confection des cartouches comprimées, et les poudres *fin grain*, appliquées à la fabrication des mèches de sûreté (p. 367). Les *poudres de commerce extérieur* servent à faciliter des échanges avec certaines peuplades barbares de l'Afrique ou de l'Amérique. Quant aux *poudres de guerre*, elles se divisent en poudres à *fusil* et à *canon* : la poudre à fusil F₁ (p. 365) est employée pour le tir du fusil Gras; la poudre à canon MC₃₀ (p. 366) est destinée au tir des canons se chargeant par la bouche et des mortiers lisses, à la confection des rondelles comprimées (p. 340) et au chargement des projectiles creux; enfin, les poudres à gros grains C₁, C₂..., et SP₁, SP₂... (p. 349), sont réservées, les premières, aux canons de campagne, les secondes, aux bouches à feu de siège et de place.

On a pu dresser la statistique des munitions consommées par les armées allemandes pendant les campagnes de 1815, 1864, 1866 et 1870-1871. Nous en donnons le résumé suivant :

Campagne de 1815. — L'artillerie de campagne prussienne com-

prenait 285 canons, qui ont tiré 18 086 coups ; les pièces qui ont le plus travaillé en ont tiré, en moyenne, 160,83. Le poids total des projectiles lancés s'est élevé à 148 096,4 livres, et celui de la poudre employée à 43 134,5 livres.

Campagne de 1864. — Pendant la campagne dans les duchés de l'Elbe, l'infanterie prussienne a consommé 527 484 cartouches de fusil à aiguille et 16 000 cartouches de l'ancien modèle, soit en tout 543 484 cartouches.

Campagne de 1866. — Pendant la campagne de 1866 dans la Bohême et sur le Mein, l'infanterie se composait de 268 000 hommes, qui ont consommé 1 843 536 cartouches, y compris celles qui ont été perdues ou avariées. Sur ce nombre, 650 363 cartouches se rapportent à la première armée (y compris l'armée de l'Elbe), 739 847 à la seconde armée, et 458 326 à l'armée du Mein ; ce qui correspond à 6 cartouches par arme pour la première armée, 6 pour la seconde et 11 pour l'armée du Mein, avec une moyenne de 7 cartouches pour tout l'ensemble. Sur quelques points, la consommation s'éleva notablement au-dessus de la moyenne : ainsi, entre Nachod et Skalitz, le premier bataillon du 37^e régiment de fusiliers de la Westphalie brûla 22 979 cartouches ; à Nachod, le second bataillon du même régiment en brûla 21 810 ; enfin, à Podol, une compagnie du bataillon de fusiliers du 72^e régiment d'infanterie tira, en 33 minutes, 5 700 cartouches, soit 22 par homme.

Campagne de 1870-1871. — D'après des documents officiels, l'artillerie de campagne prussienne, y compris le 14^e régiment badois et la division hessoise, comptait 195 batteries de campagne, dont 79 légères, 78 lourdes et 38 à cheval, avec 29 batteries de réserve, dont 19 légères et 10 lourdes ; chaque batterie se composait de 6 canons. Ces 1 344 pièces ont tiré en tout 267 975 coups, dont 112 770 pour les batteries légères, 107 126 pour les batteries lourdes et 48 079 pour les batteries à cheval, ce qui donne une moyenne de 199 coups par pièce.

L'artillerie bavaroise comptait 36 batteries, dont 12 légères, 22 lourdes et 2 de 12 livres. Ces batteries comprenaient 216 canons, qui ont tiré en tout 56 214 coups, soit, en moyenne, 260 coups par pièce.

La Saxe a mis en ligne 6 batteries légères, 8 lourdes et 2 à cheval. Les premières ont tiré 8 007 coups, et les dernières 7 514.

Le tableau suivant présente quelques particularités intéressantes,

se rapportant aux munitions consommées dans le cours de la campagne :

LIEU DU COMBAT.	NOMBRE de batteries de campagne			NOMBRE total de pièces		NOMBRE DE COUPS TIRÉS		
	légers.	lourdes.	à cheval.	campagne.	siège.	TOTAL		MAYEUR par pièce de campagne.
						pièces de campagne.	pièces de siège.	
Wörth.	17,5	15	9	231	»	9 851	»	78
Hauteurs de Spicheren.	8	5	»	78	»	2 374	»	»
Colombey (Borny). . .	8	9	6	137	»	2 855	»	»
Vionville (16 a° 1870).	14	15	8	222	»	20 659	»	230
Gravelotte (Saint-Pri- vat-la-Montagne). . .	41	43	19	616	»	34 844	»	424
Beaumont.	14	18	5	222	»	6 663	»	»
Noiseville.	13	13	4	180	»	10 696	»	160
Sedan.	36	49	15	599	»	33 328	»	160
Amiens.	8	9	6	138	»	6 096	»	»
Beaune-la-Rolande. . .	6	5	5	96	»	2 821	»	»
Villiers et Champigny (30 nov. et 2 déc. 1870)	14	9	2	150	»	8 860	»	200
Orléans (2, 3 et 4 dé- cembre 1870).	23	19	13	388	»	31 343	»	200
Beaugency et Cravant (7, 8, 9 et 10 déc. 1870)	12	10	8	180	»	25 748	»	290
Le Mans (11 et 12 jan- vier 1871).	14	17	8	234	»	6 097	»	80
Belfort (du 15 au 18 janvier 1871).	12	10	1	126	30	10 963	1 548	260
Saint-Quentin.	10	11	6	161	»	7 282	»	»

Pendant ces 16 combats, 16 pièces furent mises hors de service; 1 canon éclata, 7 avant-trains et 1 caisson à munitions sautèrent.

§ III.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES POUDRERIES ET DES USINES A POUVRE.

I. PLAN D'ENSEMBLE D'UNE POUDRERIE.

La plupart des fabriques de poudre étaient autrefois établies dans l'intérieur des villes : elles en sont toutes, aujourd'hui, à une distance plus ou moins grande, déterminée par des règlements qui diffèrent suivant les pays. Dès 1528, il était interdit de fabriquer de la poudre à l'intérieur de la ville de Breslau.

Les poudreries occupent, en général, un espace de terrain considérable, qui varie, en France, de 13 à 70 hectares environ. A l'entrée se trouvent les bâtiments d'habitation et d'administration ; puis viennent les magasins aux matières premières, l'atelier de carbonisation, l'atelier de composition et trois lignes de bâtiments distinctes, comprenant les usines de fabrication, les dépôts et les ateliers d'emballage. Le magasin à poudre est situé en dehors de l'enceinte.

Les usines de fabrication (tonnes de trituration et de mélange, meules, pilons, tonne de granulation, presses, grenoirs, lissoirs, sécherie) doivent être éloignées les unes des autres d'au moins 30^m ; la distance habituelle est de 50^m. Entre les usines sont disposés des merlons en terre assez élevés et plantés d'arbres, destinés, en cas d'explosion, à arrêter les projections et à rompre l'ébranlement de l'air. — Les dépôts, qui reçoivent les matières en cours de fabrication et dans lesquels s'exécutent les opérations manuelles (tamisage à bras, concassage, assortissage, égalisage, époussetage, mélange) doivent être éloignés d'au moins 50^m. — La distance à conserver entre les ateliers d'emballage est la même que pour les dépôts. — Enfin, le magasin général doit se trouver à une distance minimum de 200^m de l'enceinte de la poudrerie.

Dans les poudreries hydrauliques, la disposition générale des bâtiments est commandée par la marche du cours d'eau. Chaque usine possède son moteur spécial.

Pour les poudreries mues par la vapeur, on peut adopter divers systèmes d'installation :

1° Une machine centrale, avec transmission du mouvement par des câbles métalliques partant d'une tour polygonale et aboutissant

aux usines, qui sont disposées en demi-cercle : l'atelier de composition est situé en avant de la salle des chaudières, et les dépôts sont placés sur un second demi-cercle extérieur et concentrique au premier. Ce système, dit *rayonnant*, est appliqué à la poudrerie de Sévran-Livry ; il présente cet inconvénient assez grave que, si l'on ne dispose pas d'une machine de secours, toute réparation de la machine centrale produit un arrêt général de la fabrication. Toutefois, la perte de temps causée par les chômages (graissages, réparations, etc.) ne dépasse pas $1/10$ du temps total.

2° Deux machines alimentées par un groupe commun de chaudières et transmettant le mouvement à deux câbles métalliques parallèles, qui font chacun le service d'une rangée d'usines. Ce système, dit *longitudinal*, donne lieu à la même objection que le précédent ; en outre, la rupture d'un câble peut entraîner, dans certaines conditions, le chômage de la moitié de l'établissement.

3° Un groupe central de chaudières et une petite machine à vapeur pour chaque usine.

4° Une machine à vapeur centrale, comprimant de l'air, et une petite machine à air comprimé pour chaque usine ; on pourrait également employer comme moteurs des machines à eau comprimée.

Ces deux derniers systèmes n'ont jusqu'ici reçu aucune application en France.

II. CONSTRUCTION DES BÂTIMENTS.

Magasins des matières premières, ateliers de carbonisation et de composition. — Ces bâtiments doivent être construits, autant que possible, en matériaux incombustibles. L'atelier de carbonisation, dont les dimensions sont commandées par le nombre des fourneaux à établir (p. 169), a la forme d'un grand rectangle avec charpente en fer ; il est muni d'un lanternon et d'un nombre suffisant de portes et de fenêtres, destinés à assurer une ventilation énergique ; enfin, la cheminée, dont la section dépend également du nombre des fourneaux, doit avoir une hauteur d'au moins 20^m.

Usines de fabrication. — Ces bâtiments sont les plus sujets aux explosions, en raison des opérations mécaniques qui s'y exécutent. Les matériaux, variables avec les climats, doivent former des projectiles peu lourds et de petites dimensions ; l'intérieur est le plus souvent enduit de plâtre.

Les usines sont, en général, à trois ou à deux murs forts, de manière que les explosions se trouvent dirigées dans un sens déterminé. Le premier système paraît préférable pour les usines qui ne renferment que de faibles quantités de poudre à la fois (meules, p. 219); le second s'applique surtout à celles qui peuvent contenir de plus grandes quantités de matières (tonnes ternaires, tonnes de lissage). Il y a même avantage, pour certains ateliers, tels que les séchoirs ou les usines à presse hydraulique, à ne conserver qu'un seul mur fort; ce système exige d'ailleurs de plus grands intervalles entre les bâtiments. Pour les usines de triturations simples ou binaires, il faut s'attacher particulièrement à n'employer que des matériaux combustibles.

Les murs forts ont 0^m,80 à 1^m d'épaisseur; ils sont solidement reliés aux angles du bâtiment à l'aide de chaînes en fer noyées dans la maçonnerie. La devanture se compose, jusqu'à une hauteur de 1^m environ, de planches en sapin de 0^m,020 d'épaisseur; la partie supérieure est vitrée. La toiture commence à 0^m,50 ou 0^m,60 en contre-bas des murs forts; elle est formée par une couverture de serge posée sur un voligeage en planches de sapin de 0^m,013. On a rendu la serge imperméable et incombustible en la trempant pendant 30^m dans une dissolution saturée d'alun, puis en passant sur les deux faces une couche de peinture épaisse à la céruse; on met, en outre, sur la serge posée, deux couches de peinture ordinaire mélangée d'ocre jaune.

Les planchers doivent être construits de manière à éviter, autant que possible, les cavités existant entre les lambourdes des planchers ordinaires, qui formeraient des nids à poussier. Il suffit, pour cela, soit de couler du mortier entre les lambourdes, soit de sceller les frises du plancher dans du bitume chaud étendu en couche de 0^m,02 d'épaisseur sur une aire en béton; on peut également poser des lambourdes sur le béton, remplir l'intervalle avec du bitume chaud et clouer le plancher avec des clous en cuivre ou des chevilles en bois. On emploie enfin, à la poudrerie de Sévran, un dallage en asphalte composé d'une première couche de béton, d'une couche de 0^m,015 de bitume factice mélangé de graviers, et d'une dernière couche de 0^m,010 de bitume pur; ce système de dallage présente l'inconvénient d'être très-sensible à l'humidité, qui se condense à la surface, surtout en hiver.

Dans le cas où deux usines sont accolées dans le même bâtiment,

elles se trouvent, le plus souvent, séparées soit par le cabinet de transmission, soit par le coursier de la roue hydraulique. Pour éviter, en cas d'explosion, toute communication possible des gaz d'une usine à l'autre, l'arbre de couche traverse le mur par des ceillards munis de deux volets en bois garnis de peau de mouton, appuyés contre des feuillures pratiquées dans la maçonnerie et fortement maintenus par des boulons qui les relient.

Les chemins passent, en général, le long de la devanture ou du mur de fond de l'usine, suivant que le service se fait par le devant ou par le derrière. La première disposition offre peu de sécurité en cas d'explosion; la seconde présente l'inconvénient d'affaiblir le mur fort. Ce dernier dispositif se trouve complété, à la poudrerie de Sévran, par un système de masques en maçonnerie, reliés au mur de fond par une voûte arc-boutée et destinés à arrêter les débris projetés sur le chemin; mais on cherche de plus en plus à diminuer l'importance de ces masques, afin d'éviter la formation d'un véritable couloir par lequel les gaz pourraient passer d'un compartiment dans le voisin (p. 219). — Les chemins sont en macadam ou en briques posées de champ, suivant les pays. Dans les poudreries hydrauliques, on utilise le cours d'eau pour le transport des grandes charges; les petites sont transportées à la brouette. A la poudrerie de Sévran, un système de voies ferrées, sur lesquelles se meuvent des wagonnets couverts, permet d'effectuer les mouvements de matières avec une grande rapidité.

L'eau doit toujours se trouver en quantité abondante et à une très-petite distance de chaque usine. L'eau destinée à la fabrication doit être claire: on en remplit chaque soir un tonneau, où on la laisse reposer pendant la nuit.

Les arbres qui entourent les usines à poudre leur tiennent lieu de paratonnerres. Dans le cas où le mouvement est transmis au moyen de câbles métalliques, on peut disposer des peignes métalliques au-dessus et à une faible distance de ces derniers, en ayant soin de mettre ces peignes et toute la partie métallique de l'usine en communication électrique avec un puits.

Dépôts, ateliers d'emballage et magasin à poudre. — Les dépôts et les ateliers d'emballage pouvant contenir des accumulations de matières souvent considérables, il est inutile de chercher à diriger l'explosion. Les matériaux doivent être résistants, mais peu volumineux et incombustibles: on emploie généralement des cloisons en

briques de 0^m,11 d'épaisseur et des poteaux de bois; les moellons ont de 0^m,40 à 0^m,50 d'épaisseur.

Quant au magasin à poudre, nous avons décrit plus haut (p. 329) les principaux types actuellement adoptés en France et à l'étranger.

III. INSTRUCTIONS GÉNÉRALES.

Charbon. — Le charbon fraîchement préparé est, comme nous l'avons vu (p. 188), sujet à l'inflammation spontanée. On l'enferme, aussitôt après le déchargement, dans des étouffoirs hermétiquement clos, où on le conserve pendant 4 jours au moins avant de l'employer. Si on le triture seul, l'opération doit se faire dans une usine séparée et ne doit pas durer plus de 1 heure; il faut, en outre, se servir de tonnes en cuir et n'employer que des gobilles de 7^{mm}. Enfin, le charbon trituré doit être immédiatement déchargé et conservé dans des étouffoirs.

Soufre. — Le soufre présente moins de danger que le charbon; on cite néanmoins quelques cas d'explosion du soufre dans des tonnes en fer. Aussi recommande-t-on de ne triturer ce corps que dans des tonnes en cuir, pendant 1^h à 1^h 1/2 au plus, avec des gobilles de 7^{mm}. Le plus souvent, le charbon et le soufre sont triturés dans un même atelier séparé des autres.

Binaires. — Le binaire soufre-charbon ne paraît pas devoir faire explosion; mais il peut s'enflammer à l'air, à cause du charbon qu'il contient; on le conserve dans des étouffoirs. Le binaire salpêtre-charbon ne présente aucun danger, pourvu que le poids du charbon ne dépasse pas 1/15 de celui du salpêtre; on le conserve dans des caisses en bois ouvertes. Il ne faut jamais faire successivement les deux binaires dans une même tonne, sans l'avoir préalablement lavée et nettoyée.

Ternaire. — Le ternaire constitue une véritable poudre sèche, pour laquelle on doit user des plus grandes précautions.

Mécanismes divers. — D'après les nombreuses expériences qui ont été faites pour déterminer les conditions de l'inflammation de la poudre et sur lesquelles nous reviendrons plus loin, on doit, dans le fonctionnement des mécanismes exposés au contact de cette substance, éviter d'une manière absolue le choc de fer sur fer et, autant que possible, celui de fer sur cuivre ou sur bronze, et même de cuivre sur cuivre; les matières employées de préférence sont le bois

et le cuivre. L'interposition d'un gravier entre deux corps durs peut suffire pour provoquer l'explosion de la poudre : on y obviendra par des triturations suivies de tamisages.

Une autre cause fréquente d'explosions résulte de la détérioration continuelle du matériel : les cassures et les grippements, qui en sont la conséquence, donnent lieu à des échauffements et à des chocs qu'il importe d'éviter en veillant au bon entretien des appareils.

Précautions générales. — Ces divers accidents sont à redouter, surtout pour les usines à meules.

On les prévient d'une manière à peu près certaine par l'observation scrupuleuse d'une série de prescriptions, dont il suffira d'indiquer les plus importantes : tamisage des matières à une perce suffisamment fine, suspension des écrous à des fils de cuivre ou à des lanières, graissage convenable des différentes pièces du mécanisme, etc.

En général, il faut proscrire l'accumulation des matières dans les usines ; on doit toujours enlever la dernière charge avant d'apporter la nouvelle. Les abords des usines doivent être tenus très-propres et constamment humides ; on n'y doit pénétrer qu'avec des chaussures spéciales. Enfin, le démontage et la réparation des appareils imprégnés de poudre exigent que l'usine soit préalablement inondée, et ne doivent se faire qu'avec une grande circonspection.

SECTION III.

PROPRIÉTÉS DE LA POUDRE.

Dans la pratique de la fabrication, on a l'habitude de procéder, après le mélange final, à un examen des propriétés de la poudre. Il n'en a pas été question dans les chapitres précédents : nous avons, en effet, préféré ne pas interrompre l'exposition technique des procédés de fabrication par des considérations d'un ordre différent, nous réservant d'y revenir plus tard et de réunir dans un tableau d'ensemble les diverses propriétés de la poudre.

Parmi ces dernières, nous distinguerons les propriétés physiques, les propriétés chimiques et les propriétés mécaniques.

CHAPITRE I.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE LA POUDRE.

Les propriétés physiques de la poudre peuvent être comprises sous les titres suivants : aspect extérieur, dureté, grosseur des grains, densité, humidité et hygrométrie, crassement.

§ I.

ASPECT EXTÉRIEUR.

La poudre à grains ordinaires doit présenter une couleur ardoisée uniforme ; si la coloration tire sur le bleu foncé ou sur le noir, c'est que la poudre est trop humide ou contient trop de charbon. La couleur doit être parfaitement uniforme, même lorsque la poudre est pulvérisée et qu'on la regarde à la loupe. Les grains ne doivent pas offrir au toucher de parties rugueuses. Les inégalités de coloration indiquent une incorporation inégale de la matière, et les aspérités de la surface un lissage insuffisant. Des points brillants ou des taches bleuâtres montrent que le salpêtre s'est effleuré pendant le séchage, ce qui altère également l'uniformité du mélange.

La poudre ne doit pas déteindre quand on la fait glisser dans la main ou sur une feuille de papier : si elle déteint, c'est qu'elle renferme trop d'humidité ou qu'elle est mélangée à du poussier. Cette dernière hypothèse se vérifie facilement par un tamisage.

§ II.

DURETÉ DES GRAINS.

La poudre ne doit pas s'écraser ou se réduire en poussière quand on la presse dans la main.

En France, l'épreuve de dureté n'est prescrite que pour les poudres de guerre. Elle consiste à faire enfoncer 8^l de poudre à canon ou à fusil bien époussetée dans un baril avec chape, et à faire rouler le tout sur deux planchers à rebords saillants, ayant 5^m de longueur et inclinés à 15°; ces planchers sont appuyés l'un contre l'autre et munis, à leur partie inférieure, d'un matelas d'arrêt. Après 400 opérations sur chaque plancher, c'est-à-dire après un parcours total de 4000^m, la poudre est époussetée pendant 6 à 8 minutes sur un tamis à 2400 mailles par centimètre carré; puis on pèse la matière restée sur le tamis. On tolère un déchet de 0,20 p. 100.

En Allemagne, on se contente d'enfermer 0^l,5 de poudre dans un blutoir en cuir, et de placer ce dernier dans une tonne de lissage qu'on fait tourner pendant 1/4 d'heure à la vitesse de 15 tours par minute. La perte de poids ne doit pas dépasser 7^{gr},75, ce qui correspond à un déchet de 1,55 p. 100.

§ III.

GROSSEUR DES GRAINS.

Les grains doivent avoir les dimensions réglementaires et, autant que possible, une grosseur uniforme; de plus, le nombre des grains contenus dans 1^{gr} ou dans 1^l doit être compris entre des limites déterminées pour chaque espèce de poudre.

En Prusse, on verse 2^l,5 de poudre sur deux tamis opposés du dernier appareil d'assortissage (p. 317), et l'on imprime à l'appareil une série de 120 oscillations. Pour la poudre à canon, on tolère 200^{gr} de grains trop gros restés sur le tamis à canon, et 266^{gr} de grains trop fins passés à travers le tamis à mousquet; pour la poudre à fusil, on tolère 133^{gr} de grains trop gros restés sur le tamis à

mousquet. L'épreuve est, au besoin, répétée, et l'on prend la moyenne des deux résultats.

Nous avons précédemment indiqué les limites des grosseurs de grains adoptées en Allemagne (p. 369), en Autriche (p. 370), en Russie (p. 371), en Angleterre (p. 277), en Italie (p. 372), en Espagne (p. 373) et en Amérique (p. 279).

En France, on examine séparément, pour la poudre soumise à l'épreuve, la grosseur des grains et le nombre de grains au gramme ou au kilogramme.

Grosseur des grains. — Cette épreuve n'est réglementaire que pour les poudres de guerre. Elle consiste à tamiser 10^g de poudre à canon sur le tamis à mousquet, la matière recueillie sur le tamis à chasse fine, et le nouveau produit sur le tamis à épousseter; on tamise de même 10^g de poudre à mousquet sur le grenoir de chasse fine, le sous-égaliseur de chasse fine et le tamis de soie à épousseter. On doit trouver ainsi, en moyenne :

Pour 10 ^g de poudre à canon :		Pour 10 ^g de poudre à mousquet :	
Grains entre 2 ^{mm} ,5 et 1 ^{mm} ,4	9 ^g ,0	Grains entre 1 ^{mm} ,4 et 1 ^{mm} ,0	7 ^g ,0
— 1 ^{mm} ,4 et 1 ^{mm} ,0	0,9	— 1 ^{mm} ,0 et 0 ^{mm} ,5	2,8
— au-dessous de 1 ^{mm} ,0	0,1	— au-dessous de 0 ^{mm} ,5	0,2

Pour les poudres à gros grains, la mesure des épaisseurs se fait sur chaque grain au moyen d'un pied à coulisse; on opère, en général, sur 20 grains, on prend la moyenne des chiffres obtenus, et l'on note les épaisseurs maxima et minima. Ces épaisseurs doivent être comprises, pour la poudre C₁, entre 6^{mm},2 et 6^{mm},8 (moyenne 6^{mm},5); pour la poudre C₂, entre 7^{mm},5 et 8^{mm},5 (moyenne 8^{mm}); pour la poudre SP₁, entre 9^{mm},7 et 10^{mm},3 (moyenne 10^{mm}); pour la poudre SP₂, entre 12^{mm},7 et 13^{mm} (moyenne 12^{mm},8). — Nous avons indiqué plus haut (p. 345-363) les dimensions des principales poudres à gros grains fabriquées à l'étranger.

Nombre de grains au gramme ou au kilogramme. — Cette épreuve, obligatoire pour toutes les poudres, consiste à compter le nombre de grains contenus dans un poids déterminé de poudre, et à prendre la moyenne de trois opérations consécutives. Les poids sur lesquels on opère sont les suivants : 0^g,01 pour les poudres de chasse super-fine et extrafine, 0^g,1 pour la poudre de chasse fine, 1^g pour les poudres de guerre ordinaires, de mine et de commerce extérieur, 100^g pour la poudre C₁, 1^{kg} pour les poudres C₂, SP₁ et SP₂. Les

nombre trouvés doivent être compris entre les limites, réglementaires pour les poudres de guerre, indiquées dans le tableau ci-dessous :

Nombre de grains au gramme. . .	}	Poudre de chasse extrafine. . .	de 50 000 à 80 000
		Poudre de chasse superfine. . .	de 30 000 à 60 000
		Poudre de chasse fine.	de 15 000 à 30 000
		Poudre F ₁	inférieur à 2 000
		Poudre à mousquet (pilons). . .	de 1 200 à 2 000
		Poudre MC ₂₀	environ 300
Nombre de grains par 100 ^{cs}		Poudre à canon (pilons).	de 250 à 400
		Poudre de mine ronde ordinaire.	30 à 40
Nombre de grains au kilogramme. . .	}	Poudre C ₁	160 à 190
		Poudre C ₂	600 à 650
		Poudre SP ₁	340 à 360
		Poudre SP ₂	100 à 110

Nous avons mentionné plus haut (p. 369-373 et 343-363) les limites du nombre de grains au gramme ou au kilogramme adoptées pour les principales poudres étrangères.

§ IV.

DENSITÉ.

Nous considérerons trois sortes de densités de la poudre :

1° La *densité gravimétrique*. C'est le poids de l'unité de volume de poudre, y compris l'air atmosphérique renfermé dans les interstices des grains; en d'autres termes, c'est le poids, en kilogrammes, de 1 litre de poudre non tassée.

2° Le *poids spécifique relatif* ou simplement la *densité réelle*. C'est le poids spécifique des grains isolés, en y comprenant seulement l'air contenu dans les pores.

3° Le *poids spécifique absolu*. C'est le poids spécifique des grains isolés, abstraction faite de l'air renfermé dans les pores.

I. DENSITÉ GRAVIMÉTRIQUE.

On peut mesurer la densité gravimétrique d'une poudre en déterminant, soit le volume occupé par un poids connu de la matière

soit le poids de la poudre correspondant à un volume connu. On emploie exclusivement ce dernier mode d'opérer.

Un gravimètre de forme et de dimensions déterminées donnera, pour différentes poudres, des densités dont les valeurs dépendront du nombre et de la grandeur des interstices compris entre les grains, de la forme et des dimensions de ces grains, de l'état plus ou moins poli de leur surface. Mais, pour une même poudre, des gravimètres de construction différente ne fourniront pas la même densité : il faut tenir compte, en effet, de l'influence de quelques éléments spéciaux, tels que le diamètre de l'orifice par lequel s'écoule la poudre, la distance de l'obturateur à la tranche du récipient, et surtout l'étendue de la surface de contact de la poudre et du gravimètre, surface où tendent à se produire les anomalies de disposition des grains les uns par rapport aux autres. Aussi les indications du gravimètre n'ont-elles qu'une valeur relative, pour les poudres d'une fabrication déterminée essayées de la même manière et dans un même appareil.

En général, si l'on opère sur des poudres de guerre ou de chasse dont les grains ont une grosseur suffisamment uniforme, la densité gravimétrique croît et se rapproche de 1 à proportion que la grosseur des grains augmente; c'est l'inverse qui se produit pour les poudres rondes formées par agglomération, parce que la matière n'est pas homogène et se trouve plus dense au centre qu'à la surface.

D'après Piobert, la durée de la trituration n'augmente la densité gravimétrique de la matière que pendant les 20 premières heures pour les poudres des pilons, et pendant les 7 premières pour les poudres des meules. (Cf. p. 227.) Les charbons roux donnent, toutes choses égales d'ailleurs, une matière moins dense que les charbons noirs (cf. p. 161); les charbons d'aune, de peuplier, de saule, de tilleul, de tremble, donnent une densité un peu plus faible que le charbon de bourdaine. Enfin, le lissage augmente d'autant plus la densité gravimétrique qu'il est plus prolongé (p. 295) et que les grains sont plus légers et plus gros; cette augmentation varie de 1/60 à 1/15.

Les épreuves réglementaires se font sur des poudres non tassées : il y aurait intérêt à les éprouver dans l'état même où elles se trouvent au moment de leur emploi, c'est-à-dire après un tassement préalable. La diminution de volume est surtout sensible pour les poudres anguleuses. Ce tassement peut s'obtenir au moyen d'une

baguette de bois dont on frappe les parois du gravimètre; il varie alors, suivant Piobert, de $1/9$ à $1/10$ pour la poudre à mousquet, et de $1/10$ à $1/11$ pour la poudre de chasse. On peut encore faire couler lentement la poudre le long d'un cylindre incliné, de manière à provoquer un arrangement naturel des grains les uns par rapport aux autres : le tassement est alors de $1/7$ pour les poudres à canon et à mousquet et pour la poudre de chasse fine, et de $1/6$ pour la poudre de chasse superfine.

Nous décrirons les procédés d'épreuve et les conditions de réception en usage dans divers pays.

a) En France et en Belgique.

Le gravimètre employé en France est un vase en cuivre, ayant un diamètre de $0^m,077$ et une hauteur de $0^m,215$; sa capacité est exactement de 1 litre. Il est surmonté d'un entonnoir à obturateur présentant une capacité un peu plus grande, formé d'une partie cylindrique (hauteur $0^m,178$, diamètre $0^m,086$) et d'une partie tronc-conique (hauteur $0^m,060$, diamètres des deux bases $0^m,086$ et $0^m,014$); l'orifice d'écoulement a pour diamètre $0^m,014$, et la distance du dessus de l'obturateur à la tranche du récipient est de $0^m,040$. — Pour prendre la densité, on remplit l'entonnoir de poudre, on pousse l'obturateur avec précaution de manière à produire un écoulement lent et uniforme, on repousse l'obturateur quand le gravimètre est plein, on enlève l'entonnoir sans occasionner de tassement, on arase la poudre avec une raclette en cuivre, on fait tasser la poudre à l'intérieur du récipient et l'on brosse les grains adhérents au bord. On pèse le gravimètre plein, et l'on en déduit le poids de la poudre contenue dans 1 litre. On prend la moyenne de trois opérations consécutives.

Les densités gravimétriques ainsi obtenues doivent être comprises entre les limites suivantes :

Poudres de chasse.	supérieure à 0,860
Poudres à canon et à mousquet (plombs).	de 0,830 à 0,870
Poudre B.	de 0,920 à 0,930
Poudre F ₁	de 0,933 à 0,943
Poudre NC ₂₀	de 0,900 à 0,920
Poudre NC ₁₅	de 0,860 à 0,900
Poudre de mine ronde.	de 0,760 à 0,820
Poudre de mine fin grain.	de 0,825 à 0,850
Poudres de commerce extérieur.	de 0,870 à 0,970

En Belgique, on se sert du gravimètre français. Les densités réglementaires sont de 0,866 pour la poudre à canon, et de 0,835 pour la poudre à fusil.

b) En Allemagne, en Angleterre, en Russie et en Italie.

On emploie, en Allemagne, un gravimètre de 1 pied cube (33 litres), et l'on arase avec une raclette en bois. Les densités obtenues oscillent entre 29^t,5 et 30^t,5 (soit, pour 1 litre, 0^t,894 et 0^t,924). — En Prusse, une Instruction du 14 mars 1858 fixe la densité gravimétrique moyenne à 28^t,25, avec une tolérance de \pm 0^t,625 (soit, pour 1 litre, 0^t,856 avec une tolérance de \pm 0^t,019).

En Angleterre, on se sert également d'un gravimètre de 1 pied cube (28^t,315). Les limites réglementaires pour les poudres de guerre sont les suivantes :

Poudres à canon. . .	}	LG.	de 0,895 à 0,943
		LGA.	de 0,943 à 0,975
Poudres à fusil. . .	}	RLG.	de 0,943 à 0,991
		FG.	supérieure à 0,847
		RFG.	de 0,831 à 0,847

En Russie, la densité gravimétrique des poudres de guerre doit être comprise entre 0,935 et 0,945 pour la poudre d'artillerie, et entre 0,915 et 0,935 pour la poudre d'infanterie.

En Italie, les limites réglementaires sont 0,850 et 0,890 pour la poudre à canon, 0,820 et 0,860 pour la poudre à fusil.

II. POIDS SPÉCIFIQUES RELATIF ET ABSOLU.

Pour évaluer le poids spécifique de la poudre, on en plonge une quantité connue dans un milieu déterminé, dont on observe la variation de volume ; ce milieu ne doit ni dissoudre, ni attaquer aucun des éléments constitutants de la poudre. On a successivement employé à cet effet des *corps solides*, des *gaz* et des *liquides*.

Le corps solide dont on se servait autrefois est le *lycopode* ; ce procédé est aujourd'hui complètement abandonné. Les *volumètres* de Kopp et de Regnault, les *stéréomètres* de Say et de Leslie ne pouvaient indiquer que le poids spécifique absolu. On a dû recourir à l'emploi des liquides : *essence de térébenthine*, *eau saturée de salpêtre*, *alcool absolu*, *eau pure* (avec enduit au collodion), *mercure*.

Les trois derniers procédés sont seuls usités aujourd'hui : les deux premiers en Allemagne et en Autriche, le troisième en France, en Russie, en Angleterre, en Italie, etc.

Avant d'entrer dans le détail des divers procédés, nous donnerons la liste des densités réelles des différentes poudres françaises et étrangères :

1° Poudres françaises.

Poudres à fusil.	{ ancienne dite B. nouvelle dite F ₁	environ 1,750
		supérieure à 1,740
	{ dite MC ₁₅ — MC ₂₀	de 1,520 à 1,580
		de 1,630 à 1,650
Poudres à canou.	{ — C ₁ — C ₂ — SP ₁ — SP ₂	de 1,735 à 1,755
		environ 1,760
		de 1,785 à 1,800
		de 1,800 à 1,820
Poudres de chasse.	{ fine. superfine. extrafine.	de 1,680 à 1,820
		de 1,700 à 1,840
		de 1,750 à 1,870
Poudres de commerce extérieur.		de 1,500 à 1,530

2° Poudres étrangères.

Prusse.	Nouvelle poudre à fusil.	de 1,650 à 1,660
Autriche.	{ Poudre à canon. Poudre à fusil.	environ 1,600
		environ 1,620
Russie.	{ Poudre d'artillerie. Poudre d'infanterie.	de 1,550 à 1,625
		de 1,560 à 1,635
Italie.	{ Poudre à canon. Poudre à fusil.	de 1,660 à 1,700
		de 1,630 à 1,670

La durée de la trituration des matières sous les pi ons ou sous les meules, celle du lissage et la nature du charbon employé exercent sur la densité réelle de la poudre une influence analogue à celle que nous avons indiquée plus haut (p. 390) au sujet de la densité gravimétrique.

A. Densité au lycopode.

La méthode la plus ancienne paraît avoir consisté à remplir les intervalles compris entre les grains de poudre avec de la semence de lycopode. On versait du lycopode jusqu'à une certaine hauteur dans un cylindre mesureur assez étroit, gradué de bas en haut en pouces cubes. On faisait la lecture, on vidait le vase avec précaution, on pesait une quantité déterminée de poudre, et on la versait dans le cylindre

avec le lycopode par couches alternatives : de l'augmentation de volume on déduisait le poids spécifique relatif de la poudre.

Ce procédé comporte plusieurs causes d'erreur. D'abord, les variations de volume seront différentes, suivant que la semence de lycopode sera en grains fins ou en poussière. En outre, quand on la retire du cylindre et qu'on l'y reverse, il se produit toujours une perte de substance correspondant à la portion qui s'échappe en poussière ou qui reste adhérente aux parois. Enfin, la moindre secousse provoque une variation de volume, d'où résulte une grande incertitude dans les résultats. C'est ainsi qu'une même poudre donne des densités variant de 1,300 à 1,920, suivant que l'on tasse plus ou moins le lycopode.

Les autres corps solides appliqués à la détermination de la densité de la poudre n'ont pas donné de meilleurs résultats.

B. Voluméomètres et stéréomètres.

L'emploi de ces appareils est fondé sur la loi de Mariotte. Le voluméomètre de Kopp et le stéréomètre de Say permettent d'évaluer le poids spécifique de la poudre sans autre intermédiaire que l'air atmosphérique, dont on détermine le volume dans deux états de pression différents, obtenus soit par compression, soit par dilatation. Mais il est impossible d'éliminer l'air compris dans les pores des grains : on ne peut donc mesurer, par cette méthode, que les poids atomiques des matières correspondant aux divers modes de fabrication. Ainsi, des poudres de même dosage, dont les densités, prises à l'alcool, étaient de 1,56, 1,77, 1,67, 1,82, donnent uniformément 2,704 et 2,499 dans le voluméomètre de Kopp, suivant que l'on opère par une pointe ou par l'autre, et 2,441 dans le stéréomètre de Say.

Le voluméomètre de Regnault et le stéréomètre de Leslie donnent lieu aux mêmes observations.

C. Densité à l'essence de térébenthine.

La difficulté qu'on éprouvait à faire pénétrer le mercure dans les interstices des poudres à fins grains et les inconvénients inhérents à l'emploi de l'alcool avaient conduit Brianchon à se servir de l'essence de térébenthine, qui conserve à la matière sa texture et sa

consistance. Mais, comme le grain se mouille et se gonfle, les corrections deviennent indispensables, et l'on a dû renoncer à ce procédé.

D. Densité à l'eau saturée de salpêtre.

Cette méthode, longtemps employée en France, date de l'année 1835.

Un flacon ayant 0^m,08 de diamètre et 0^m,12 de hauteur, à bords dressés et fermé par un obturateur en verre, est pesé successivement plein d'eau distillée et plein d'eau saturée de salpêtre; après l'avoir vidé, on y verse 100^m de poudre, on le remplit d'eau saturée, et l'on pèse. De ces diverses pesées on déduit le poids ou le volume d'eau saturée correspondant à la dernière et, par suite, le volume de la poudre sur laquelle on a opéré.

Ce procédé présente deux inconvénients principaux. D'abord, la densité de la dissolution salpêtrée varie suivant la répartition de la température, et les parties lourdes tombent au fond. En second lieu, il est difficile de maintenir la température constante pendant toute la durée de l'essai : il se produit alors soit une précipitation d'une partie du salpêtre dissous, soit une dissolution du salpêtre contenu dans la poudre, ce qui en altère la constitution et, par suite, la densité.

E. Densité à l'alcool.

Deux méthodes ont été proposées pour mesurer la densité des poudres au moyen de l'alcool : la première consiste à déterminer l'augmentation de volume produite par l'introduction d'un poids connu de poudre; la seconde, à déterminer le poids de l'alcool chassé par la poudre.

a) Méthode de l'augmentation de volume.

Dans une éprouvette à pied, parfaitement calibrée et graduée en dixièmes de centimètre cube, on verse de l'alcool absolu, que l'on a laissé séjourner quelque temps dans l'enceinte où se fait l'opération. Le volume réglementaire de l'alcool versé est de 35^m : on attend quelques minutes pour laisser tomber les gouttes adhérentes aux parois, puis on fait la lecture. On verse alors dans l'alcool envi-

ron 16^{re} de la poudre à essayer, à l'aide d'un entonnoir en verre à col aussi long et aussi large que possible, et, dès que le dernier grain est tombé, on fait de nouveau la lecture. On en déduit, par un simple calcul, le poids spécifique cherché.

La poudre soumise à l'essai doit être préalablement séchée au bain-marie et placée aussitôt dans un appareil siccatteur, au-dessus d'un vase contenant de l'acide sulfurique, jusqu'à ce qu'elle ait pris la température de l'enceinte.

b) Méthode de la différence de poids.

D'après Timmerhans, on remplit d'alcool absolu un vase cylindrique à bords rodés, on arase et l'on pèse; puis on verse par un entonnoir un poids connu de poudre, on arase et l'on pèse de nouveau. Connaissant le poids spécifique de l'alcool, on en déduit aisément le volume de la poudre sur laquelle on a opéré.

Cette méthode ne peut donner que des résultats approximatifs, car une pesée exacte exige toujours plus de temps qu'une simple lecture sur un tube de verre: l'alcool peut alors chasser l'air contenu dans les pores des grains, et l'on trouve un poids spécifique relatif toujours supérieur à la réalité. Des essais exécutés à la poudrerie de Spandau l'ont suffisamment démontré; aussi s'en est-on tenu à la première méthode dans tous les établissements de Prusse et de Saxe.

c) Expériences de Heeren, d'Otto et d'Upmann.

La méthode de l'augmentation de volume n'est pourtant pas à l'abri de tout reproche. Il est impossible d'éviter, en versant la poudre, de faire rejaillir l'alcool contre les parois; en outre, le liquide pénètre toujours plus ou moins à l'intérieur des grains. C'est sur ce dernier point que Heeren a dirigé ses recherches.

D'après Heeren, si le poids de l'alcool est égal à environ 7 p. 100 du poids de la poudre, le liquide est complètement absorbé en 3 ou 4 secondes; le poids observé de l'alcool chassé par la poudre est donc trop faible. Si, par exemple, on trouve un poids spécifique de 1,539, les 7 p. 100 de l'alcool absorbé correspondent presque exactement à 14 p. 100 du volume total (le poids spécifique de l'alcool à 15° étant de 0,7939), et le poids observé de l'alcool chassé doit être augmenté de 1/6: le poids spécifique relatif de la poudre en sera donc abaissé.

La pénétration de l'alcool dans la poudre produit un dégagement de bulles d'air de l'intérieur des grains, dégagement plus rapide pour les poudres poreuses et non lissées que pour les poudres denses et lissées : ces dernières chassent donc relativement plus d'alcool que les premières, et la distinction des matières denses ou poreuses, lissées ou non lissées, est moins nette que dans la réalité. Une poudre poreuse et non lissée absorbe l'alcool avec une rapidité telle que, pendant l'introduction même de la poudre, les pores se remplissent en grande partie d'alcool, et qu'au lieu d'un poids spécifique excessivement faible, on trouve au contraire un poids spécifique très-élevé. Ce dernier fait résulte des expériences suivantes. De la poudre à canon, pulvérisée en grains fins et arrosée de 8 p. 100 d'eau, avait été transformée en galette sous une pression modérée; la densité de cette galette, déterminée par le procédé de Heeren (*d*), était de 1,32 : déterminée par la méthode habituelle, elle fut trouvée de 1,81. Une autre galette, plus fortement pressée et ayant 1,53 de densité réelle, donna 1,75 par le procédé ordinaire. Ainsi, dans ces deux déterminations, la densité trouvée s'écarte notablement de la densité réelle, mais l'écart est plus grand pour les matières poreuses que pour les matières denses, à tel point que la poudre poreuse accuse un poids spécifique plus élevé que la poudre dense. Donc, plus une poudre est poreuse, plus son poids spécifique relatif, mesuré à l'alcool, se rapprochera du poids spécifique absolu, qui peut être fixé en moyenne à 2.

La détermination de la densité par l'alcool donne lieu à un phénomène spécial, observé par Heeren et par le général Otto. Quand on a versé la poudre, on voit le niveau de l'alcool monter au bout de quelques secondes et son volume augmenter, d'après Heeren, de $\frac{1}{3}$ environ du volume des grains, pour diminuer au bout d'une heure, sans revenir pourtant à sa valeur primitive : pendant que le niveau monte, il se dégage une multitude de bulles, et il se produit, d'après Otto, une élévation de température d'environ $1^{\circ},25$. Suivant Upmann, si l'on opère sur des poudres à gros grains, l'élévation de température varie suivant que la boule du thermomètre est plongée dans la poudre ou n'en touche que la surface : dans ce dernier cas, on observait, au bout de 2 minutes, une élévation de $0^{\circ},7$; dans le premier, le thermomètre montait immédiatement de $1^{\circ},4$, pour redescendre de 1° au bout de 20 minutes. On n'a point encore trouvé d'explication complètement satisfaisante de ce phénomène.

Le dégagement des bulles au moment où l'on verse la matière est tout à fait caractéristique. Ces bulles ne peuvent évidemment provenir que de la poudre. Si elles étaient formées de l'air atmosphérique adhérent à la surface des grains, le niveau de l'alcool s'abaisserait au lieu de monter, et il en serait de même si l'alcool pénétrait dans les grains en chassant l'air qu'ils renferment. Mais on peut se demander si ces bulles ne proviendraient pas de l'air atmosphérique condensé par le charbon de la poudre : l'introduction de l'alcool en chasserait successivement l'air condensé à plusieurs degrés, et il ne resterait dans les pores, au bout d'un certain temps, que de l'air au premier degré de condensation. Cette interprétation est infirmée par ce fait que, d'après les expériences de Heeren, le phénomène en question se reproduit parfaitement avec de la poudre chauffée immédiatement avant l'épreuve et débarrassée de l'air qu'elle renferme sous la cloche d'une pompe pneumatique; comme d'ailleurs la condensation des gaz par le charbon ne se fait que progressivement, la poudre n'a pu absorber une quantité d'air notable dans l'intervalle des deux opérations. — On arriverait à des conclusions analogues, si l'on considérait les bulles comme composées de gaz hydrogène.

Quant à l'accroissement de volume de la liqueur, il semble qu'on ne puisse l'expliquer que par l'élévation de la température résultant du contact de l'alcool avec le charbon et avec le soufre. Si, en effet, on humecte du charbon ou du soufre avec de l'alcool, il se produit, comme l'a montré Pouillet, une élévation de température de $1^{\circ},270$ pour le charbon, et de $0^{\circ},173$ pour le soufre, d'où résulte, pour une poudre contenant les deux corps en proportions égales, une élévation totale de $1^{\circ},443$: ce chiffre concorde bien avec celui qu'avait indiqué Upmann. Mais cette explication n'est pas encore suffisante, car l'alcool, ayant à $12^{\circ},5$ un poids spécifique de $0,808$, ne reçoit, entre 10 et 15° , pour une élévation totale de température de $1^{\circ},25$, qu'un accroissement relatif de volume égal à $0,001313$ du volume occupé à 10° . — On peut encore chercher la cause de cette augmentation de volume dans une absorption de vapeur d'eau par l'alcool.

d) Procédé de Heeren.

Heeren a essayé d'éliminer les causes d'erreur résultant de l'emploi de l'alcool en opérant de la manière suivante.

On fait l'essai dans un flacon bouché à l'émeri, d'une capacité de 33^{cc} environ, portant latéralement un trait de repère; on détermine une fois pour toutes le poids du flacon rempli d'alcool absolu à la température de 21°,25.

La poudre soumise à l'épreuve, placée dans un tube de verre large et court ou dans une petite capsule de porcelaine, est chauffée pendant quelques heures au bain de sable à la température de 50 à 62°; on la met ensuite dans un vase rempli de sable chaud et l'on porte le tout sous le récipient de la pompe à air; puis on pèse rapidement, et l'on verse la poudre dans le flacon, qu'on remplit d'alcool jusqu'à moitié. On porte le flacon sous le récipient de la pompe à air, et l'on fait le vide tant qu'il se dégage des bulles d'air de l'intérieur des grains: l'alcool entre alors en ébullition, en donnant naissance à de grosses bulles de vapeur facilement reconnaissables. Quand l'air contenu dans les grains a été entièrement chassé, on les abandonne à eux-mêmes pendant 1 heure environ, pour laisser l'alcool s'infiltrer dans les pores; puis on remplit le flacon d'alcool jusqu'au bord, et on le suspend pendant 1 heure dans un vase contenant de l'eau à 21°,25. On retire le flacon, on ajoute un peu d'alcool, dans le cas où quelques bulles d'air se seraient encore dégagées, on fait rapidement sécher les parois extérieures et l'on pèse. On décante l'alcool avec précaution, et l'on verse la poudre sur un double de papier à filtre, sur lequel on la retourne à l'aide d'un couteau, jusqu'à ce qu'elle ne soit plus que fortement humide. On la verse alors dans un petit flacon cylindrique, formé d'un large tube de verre, muni d'un fond plat, à bords rodés et hermétiquement fermé par une plaque de verre également rodée. Pour se débarrasser de l'alcool qui mouille la surface des grains, on coupe une bande de papier à filtre pouvant s'introduire facilement dans le flacon, on bouche celui-ci avec le pouce ou mieux avec une plaque de verre, et l'on agite assez longtemps pour sécher la surface extérieure des grains, ce qu'on reconnaît soit à la loupe, soit à ce signe que la poudre n'adhère plus aux parois du verre ni au papier. On pèse enfin la poudre, dont les pores sont complètement imprégnés d'alcool, et l'on a tous les éléments nécessaires pour le calcul des poids spécifiques relatif et absolu.

Soient, en effet :

α le poids du flacon rempli d'alcool,

- β le poids de la poudre séchée,
 γ le poids de la poudre imprégnée d'alcool,
 δ le poids du flacon rempli d'alcool et de poudre imprégnée d'alcool,
 ϵ le poids spécifique de l'alcool,
 x le poids spécifique relatif de la poudre;

on démontre que l'on a la formule :

$$x = \frac{\beta \epsilon}{\alpha + \gamma - \delta}.$$

On en déduit facilement le poids spécifique absolu.

D'après Heeren, une même espèce de poudre a donné les résultats suivants :

NUMÉRO de l'expérience.	POIDS SPÉCIFIQUE des grains, y compris les pores.	POIDS SPÉCIFIQUE de la matière, non compris les pores.
1	1,523	1,969
2	1,526	1,983
3	1,524	1,972
4	1,529	1,969
5	1,534	1,986
Moyenne.	1,527	1,976

On voit que les pores occupent 22,7 p. 100 du volume des grains. La même poudre, essayée à Spandau par un expérimentateur soigneux et habile, a donné, comme moyenne de 5 épreuves successives, un poids spécifique relatif de 1,5592.

La méthode que nous venons d'exposer étant trop longue pour des épreuves courantes, Heeren a proposé un mode d'opérations applicable dans tous les pays où les différentes poudres ont le même dosage, comme, par exemple, en Prusse et en Angleterre. Dans ce cas, le poids spécifique absolu reste constant. On le détermine une fois pour toutes, et le procédé se réduit à saturer d'alcool un poids de poudre connu et à mesurer l'augmentation de poids correspondante, que nous désignerons par ζ . Si l'on suppose connu le

pois spécifique absolu ω de la matière, on aura :

$$x = \frac{\beta\omega}{\beta\epsilon + \omega\zeta}$$

c) Résultats généraux.

Heeren a vérifié l'exactitude de sa méthode par les épreuves suivantes. De la poudre à canon, pulvérisée en grains fins et arrosée de 8 p. 100 d'eau, fut pressée dans une matrice en fer et séchée. Un fragment de la galette fut pesé, chauffé légèrement et enduit d'acide stéarique fondu : la densité, prise dans l'eau par la méthode ordinaire, fut trouvée de 1,470. Un autre fragment fut grené en poudre à canon, épousseté et soumis à l'épreuve de densité par le procédé de Heeren : on obtint ainsi 1,480 et 1,455, soit, en moyenne, 1,467. — Une autre galette, plus fortement pressée et enduite de vernis, accusait dans l'eau une densité de 1,579 : elle donna, par la méthode de saturation, 1,572 et 1,580, soit, en moyenne, 1,576.

Si l'on rapproche ces chiffres de ceux que nous avons précédemment indiqués (d), on reconnaîtra que l'on touche de bien près à la solution rigoureuse du problème qui nous occupe. En prenant les densités des deux galettes dont nous venons de parler par l'ancien procédé (a), on trouve 1,657 et 1,746, au lieu de 1,467 et 1,576.

Des expériences ultérieures ont donné les résultats suivants :

ESPÈCE DE POUDRE.	POIDS SPÉCIFIQUE RELATIF	
	Procédé de saturation. (d)	Procédé de versement. (a)
Poudre à canon, de Waltham-Abbey (28 février 1850).	1,356	1,715
Poudre à canon, de Waltham-Abbey (fabricat. anc.).	1,524	1,617
Poudre à canon, de Bomlitz (Hanovre)	1,401	1,568
Poudre à canon, de Aerzen (Hanovre)	1,470	1,520
Poudre à canon de Champy, poudrerie inconnue . . .	1,440	1,568

Pour mettre en évidence les différents degrés de densité de ces poudres, Heeren a calculé, pour chacune d'elles, le rapport du volume des pores remplis d'air au volume total des grains et au volume de la matière solide. Il a ainsi formé le tableau suivant :

ESPÈCE DE POUDRE.	VOLUME DES PORES	
	Volume total des grains = 100.	Volume de la matière solide = 100.
Poudre à canon, de Waltham-Abbey (28 février 1850).	22,6	29,2
Poudre à canon, de Waltham-Abbey (fabricat. anc.).	24,1	31,8
Poudre à canon, de Bomlitz.	30,3	43,4
Poudre à canon, de Aerzen.	26,9	36,8
Poudre à canon de Champy, poudrerie inconnue. . .	28,3	39,4

On a cherché à substituer à l'alcool l'essence de térébenthine (p. 394) et des huiles grasses fixes, sans pouvoir atteindre la précision du procédé de Heeren. Mais cette précision est encore dépassée par la méthode du général Otto.

F. Densité par la méthode hydrostatique.

Le principe du procédé d'Otto consiste à recouvrir la galette d'un enduit destiné à empêcher le contact immédiat de la galette et de la dissolution employée, et se prêtant, en outre, à une détermination rigoureuse de son poids et de son volume. A la suite d'une série d'essais, le collodion a paru satisfaire à ces deux conditions. Le fragment de galette soumis à l'essai est pesé et enduit de collodion. On détermine le poids spécifique de cet enduit en revêtant d'un enduit semblable une plaque de verre dépoli de poids connu, qu'on fait sécher et qu'on pèse dans l'eau distillée. Si donc on pèse dans l'air atmosphérique la galette avec son enduit, la différence donnera le poids de l'enduit de collodion, et, si on la pèse ensuite dans l'eau distillée, on en déduira le poids spécifique cherché.

Voici le détail des opérations :

Pour revêtir la galette d'un enduit imperméable à l'eau, on la fait sécher avec précaution, on la pèse et on la chauffe, puis on passe 20 couches de collodion additionné d'un peu de vernis à l'huile (10 gouttes de vernis pour 8^{cc} de collodion tel qu'on le trouve dans les pharmacies); ce vernis a pour but d'assurer l'adhérence de l'enduit à la galette, et de prévenir les déchirures qui donneraient passage à l'eau lors de la prise de densité. On passe chacune des couches dès que la précédente est sèche; on ne doit, sous aucun

prétexte, approcher la galette d'une source de chaleur quelconque pour accélérer le séchage, car il se produirait des boursouflures ou des bulles dans l'enduit même, ce qui détruirait toute la précision du procédé. Cette opération terminée, la galette est de nouveau pesée, d'abord dans l'air, puis dans l'eau distillée.

Si l'on désigne par :

- P le poids de la galette non enduite de collodion,
- P' le poids de la galette enduite de collodion,
- Q le poids inconnu de la galette sans enduit et dans l'eau,
- Q' le poids de la galette enduite de collodion et dans l'eau,
- S le poids spécifique de l'enduit de collodion,
- G le poids spécifique cherché de la galette,

on aura :

$$P - Q = P' - Q' - \frac{P' - P}{S},$$

et :

$$G = \frac{P}{P - Q}.$$

Pour déterminer le poids spécifique S de l'enduit, on pèse une plaque de verre dépoli, d'environ 50 à 65^{cc}, d'abord dans l'air, puis dans l'eau; on la sèche avec précaution, et on la revêt, comme précédemment, d'un enduit de collodion additionné de vernis à l'huile; on la pèse de nouveau dans l'air, puis dans l'eau. Si l'on désigne par L, L', W, W' les quantités analogues à P, P', Q, Q', L' - L sera le poids de l'enduit, et L' - L - (W' - W) la perte de poids du collodion quand on le plonge dans l'eau. On aura donc :

$$S = \frac{L' - L}{L' - L - (W' - W)}.$$

Comme preuve de l'exactitude de cette méthode, nous rapporterons les expériences suivantes, exécutées sur un fragment de galette soigneusement choisi et partagé en 12 morceaux :

NUMÉROS des morceaux de galette.	POIDS de la galette sans enduit dans l'air.	POIDS de la galette avec enduit dans l'air.	POIDS de la galette avec enduit dans l'eau.	POIDS de l'enduit.	PERTE de poids de la galette avec enduit plongée dans l'eau.	POIDS spécifique relatif de la galette.
1	13 ^{rs} ,695	13 ^{rs} ,974	5 ^{rs} ,393	0 ^{rs} ,279	8 ^{rs} ,581	1,639 30
2	13 ,056	15 ,374	5 ,939	0 ,318	9 ,435	1,640 72
3	14 ,393	14 ,676	5 ,672	0 ,283	9 ,004	1,640 43
4	14 ,358	14 ,666	5 ,639	0 ,308	9 ,027	1,635 94
5	14 ,167	14 ,571	5 ,590	0 ,404	8 ,981	1,637 32
6	15 ,076	15 ,397	5 ,955	0 ,321	9 ,442	1,642 08

La moyenne des poids spécifiques de la galette est donc de 1,639 30, et l'écart moyen est inférieur à 0,001 78. Le poids spécifique de l'enduit est de 1,23.

Ces expériences, exécutées le 5 novembre 1857, furent répétées avec les mêmes fragments le 2 décembre de la même année. Après la pesée hydrostatique, les morceaux furent séchés avec soin et soumis à l'épreuve de densité par immersion dans l'alcool; puis on enleva avec précaution l'enduit qui les recouvrait, et l'on prit de nouveau la densité à l'alcool. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant, où sont rappelés ceux du 5 novembre précédent :

NUMÉROS des morceaux de galette.	POIDS SPÉCIFIQUE RELATIF			
	PAR LA MÉTHODE HYDROSTATIQUE.		PAR IMMERSION DANS L'ALCOOL.	
	5 novembre 1857.	2 décembre 1857.	Avec enduit.	Sans enduit.
I	II	III	IV	V
1	1,639 30	1,639 23	1,658 62	1,641 8
2	1,640 72	1,641 79	1,624 37	1,694 5
3	1,640 43	1,641 33	1,626 35	1,677 4
4	1,635 94	1,636 70	1,639 80	1,628 4
5	1,637 32	1,638 88	1,633 15	1,722 5
6	1,642 08	1,642 98	1,626 95	1,657 4
Moyennes	1,639 30	1,640 13	1,634 87	1,670 32

On voit que les moyennes des densités prises aux deux époques

par la méthode hydrostatique ne diffèrent que de 0,00085, quantité absolument négligeable. La colonne IV indique des densités un peu faibles, qui peuvent sans doute s'expliquer par l'adhérence de l'alcool aux parois du vase. Quant aux résultats de la colonne V, nous les avons suffisamment justifiés dans le paragraphe précédent (p. 404).

L'exactitude rigoureuse du procédé d'Otto le ferait naturellement choisir pour la détermination de la densité des poudres à gros grains, et en particulier des poudres prismatiques, cylindriques ou parallélépipédiques; mais il exige beaucoup de temps et présente d'assez sérieuses difficultés de manipulation. Les densimètres à mercure, que nous allons décrire, sont en général d'un maniement plus facile et permettent d'opérer avec une grande rapidité. Ils donnent, en outre, une approximation très-suffisante pour les besoins de la pratique et, en tous cas, comparable à celle qui résulte de l'application du procédé de Heeren.

C. Densité au mercure.

Nous décrirons cinq types principaux d'appareils :

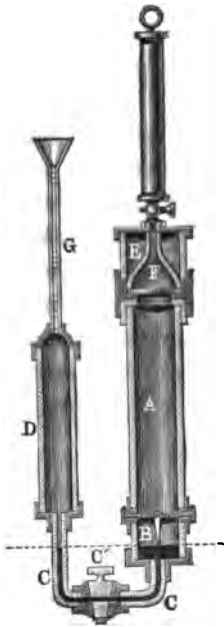
- 1° Le densimètre Marchand, pour les poudres à grains ordinaires ;
- 2° Le densimètre Bothe, pour les poudres à gros grains ;
- 3° Le densimètre Hoffmann, destiné à déterminer la porosité relative de la poudre ;
- 4° Le densimètre Ricq, pour toutes sortes de poudres ;
- 5° Le densimètre Bianchi ou Mallet, avec œuf en verre, pour les poudres à grains ordinaires, ou en fonte, pour les poudres à gros grains.

a) Densimètre Marchand.

Un cylindre A (*fig. 39*), destiné à recevoir la poudre, est fermé à sa partie inférieure par un tamis en fils de fer à mailles très-serrées, capable de retenir les grains de poudre les plus fins. Ce tamis est solidement vissé sur le cylindre et porte en dessous une pointe d'ivoire qui pénètre dans le petit cylindre B, également vissé sur A. Le cylindre B est mis en communication avec le cylindre D, exactement calibré, au moyen du tube C qui est muni d'un robinet en acier C'. A la partie supérieure de D est vissé un tube de verre G, calibré et divisé en dixièmes de centimètre cube qu'on peut lire

facilement à $1/50$ près. A la partie supérieure de A est vissée

Fig. 39.



une garniture à laquelle est fixé le cylindre court E, qui communique avec A par le tube F, large par en bas et très-étroit par en haut, sur lequel se trouve un trait de repère horizontal. Entre le tube F et le cylindre A, on peut visser une plaque mince de bois de buis ou tendre un disque de peau de chamois. Sur le cylindre E est disposée une petite pompe à air.

On verse du mercure dans B par le tube G, jusqu'à ce que la pointe d'ivoire affleure le niveau. On pèse alors une quantité déterminée de mercure, et l'on en verse dans le tube G jusqu'au moment où, par l'action de la pompe à air, le cylindre A se trouve exactement rempli jusqu'au trait de repère du tube F, le niveau du mercure dans le tube C étant d'ailleurs le même que dans la première opération : on en déduit le volume de A et de la partie de B située au-dessus de la pointe d'ivoire. On ferme le

robinet C', et l'on verse par G exactement la même quantité p de mercure en D : D étant plus petit que A, une partie du mercure monte dans G, jusqu'à une hauteur qu'on note exactement. — On dévisse E, on fait sortir le mercure, et l'on verse sur le tamis un poids de poudre suffisant pour remplir presque entièrement le cylindre A. On remonte l'appareil, on verse du mercure par G jusqu'à ce qu'il affleure exactement la pointe d'ivoire, puis on en ajoute la quantité p précédemment mesurée. On manœuvre alors la pompe à air pour faire monter lentement le mercure jusqu'au trait de repère du tube F, et l'on note le niveau du mercure dans le tube G. — On a ainsi, par ces deux lectures, la différence entre le volume de la poudre et celui du poids p de mercure.

Ce procédé n'est pas resté longtemps en usage, parce que l'appareil est trop compliqué et aussi trop fragile, à cause de la longueur du tube G. Pour que la différence de niveau du mercure soit sensible, il faut opérer sur $33''$ de poudre au moins. Il faut, en outre, pour chaque épreuve, amener exactement par deux fois le niveau

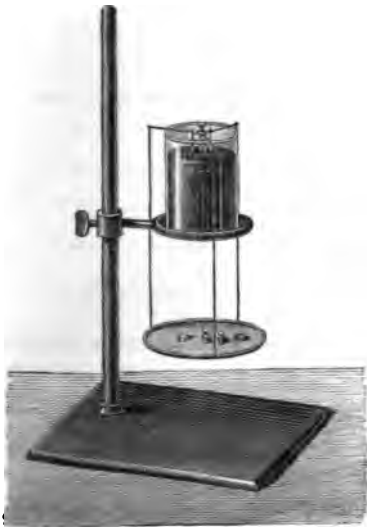
du mercure au contact de la pointe d'ivoire, et mesurer aussi par deux fois une même quantité de mercure dans un vase indépendant de l'appareil. A ces difficultés pratiques vient s'ajouter une cause d'erreur spéciale : le mercure qui s'élève dans le tube A par suite de la raréfaction de l'air est bien loin d'occuper tous les interstices compris entre les grains, ce qui s'explique, d'une part, par la forte cohésion du mercure et, de l'autre, par ce fait que l'air contenu dans les pores subit également l'action de la pompe. Il peut arriver, en effet, que, le mercure se précipitant autour des grains dès le début de la raréfaction, l'air renfermé dans les pores ne commence à se dégager que lorsque les grains sont déjà plongés dans le liquide : cet air, ne pouvant se dégager entièrement à cause de la pression de la colonne qui le surmonte, produit alors un refoulement du mercure tout autour des grains.

b) Densimètre Bothe.

Le capitaine Bothe a construit récemment un appareil destiné à déterminer la densité des poudres à gros grains, et spécialement celle des poudres prismatiques ou cylindriques.

L'appareil (*fig. 40*) se compose essentiellement d'un support, d'un

Fig. 40.



vase de verre à parois épaisses et d'un plateau de balance. L'anneau métallique du support est destiné à recevoir le vase de verre. Ce dernier est rodé sur les bords et doit avoir une épaisseur suffisante pour résister à la pression du mercure qu'on y versera. Le plateau de balance est en acier. Les trois tiges qui le supportent sont reliées, à leur extrémité supérieure, à trois bras horizontaux qui concourent en un point où se trouve une aiguille mobile en acier; chacun d'eux porte également, dans le voisinage de l'aiguille mobile, une

aiguille en acier solidement vissée. Les extrémités de ces trois dernières aiguilles étant dans un

même plan horizontal, celle de l'aiguille mobile doit se trouver à 2^{me} au-dessus de ce plan. Pour réaliser cette disposition le plus simplement possible, on place sur l'anneau du support une plaque de verre destinée à recevoir les extrémités des trois aiguilles fixes; on pose sur la plaque le plateau de balance, on dévisse l'aiguille centrale et l'on introduit en dessous une plaque de verre plus petite, ayant exactement 2^{me} d'épaisseur; puis on visse l'aiguille centrale jusqu'à ce qu'elle touche la seconde plaque. On peut alors procéder à une prise de densité.

On installe l'appareil sur une table horizontale solide, et l'on remplit le vase de mercure. Le mercure employé doit être exempt de poussières et chimiquement pur; s'il en est autrement, on commence par en déterminer le poids spécifique.

A cet effet, on prend un étui en acier pesant 217^g, dont le poids spécifique à 13°,75 est de 7,6552. On note la température de l'enceinte, on place l'étui sur le mercure, et l'on dispose sur l'étui les trois aiguilles fixes du plateau de balance préalablement pesé; puis on charge de poids le plateau, jusqu'à ce que l'aiguille centrale affleure exactement le niveau du mercure. Si l'on désigne par :

- S' le poids de l'étui,
- p le poids spécifique de l'étui,
- V' le volume de l'étui,
- W le poids total du plateau de balance,
- G' la somme des poids placés sur le plateau,
- Q' le poids du mercure déplacé,
- P le poids spécifique du mercure,

il viendra :

$$P = \frac{Q'}{V'};$$

or on a :

$$Q' = S' + W + G', \quad V' = \frac{S'}{p};$$

donc :

$$P = \frac{(S' + W + G') p}{S'}.$$

Le poids spécifique du mercure étant connu, on prend un grain de poudre prismatique ou cylindrique, on le débarrasse du poussier adhérent à la surface au moyen d'un pinceau, on le pèse à l'aide

d'une balance de précision et on le place sur le mercure. On installe le plateau de balance de façon que les trois tiges verticales ne touchent ni le vase ni l'anneau du support, et l'on fait en sorte que le grain de poudre ne frotte pas contre les parois intérieures du vase. On charge alors le plateau de manière que les quatre aiguilles plongent dans le mercure, puis on retire des poids peu à peu, jusqu'à ce que l'aiguille centrale affleure exactement la surface; pour arriver à maintenir horizontaux les bras qui relient l'aiguille centrale aux trois tiges, il suffit de placer convenablement les poids sur le plateau de balance. L'équilibre flottant étant obtenu, on a tous les éléments nécessaires pour le calcul du poids spécifique cherché.

Soient, en effet :

P le poids spécifique du mercure à la température de l'expérience,

S le poids du grain de poudre,

W le poids total du plateau de balance,

G la somme des poids placés sur le plateau,

Q le poids du mercure déplacé,

V le volume du grain de poudre,

Z le poids spécifique cherché du grain de poudre ;

on aura :

$$Z = \frac{S}{V};$$

or on a :

$$V = \frac{Q}{P} = \frac{S + W + G}{P};$$

donc :

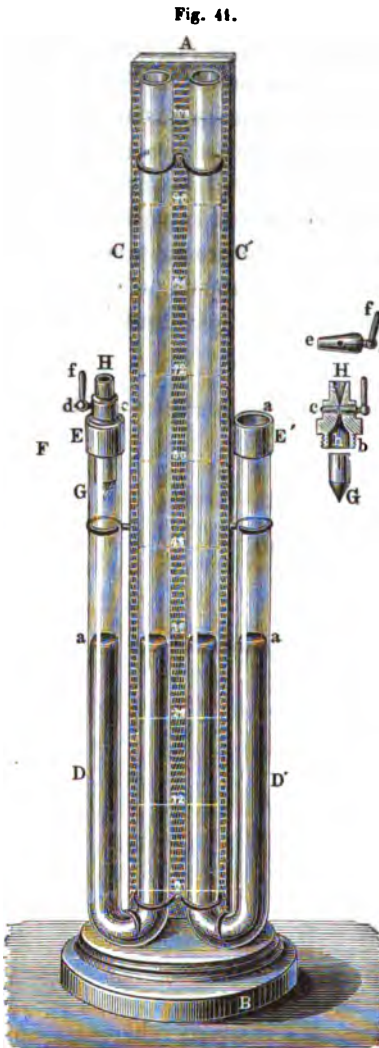
$$Z = \frac{SP}{S + W + G}.$$

c) Densimètre Hoffmann.

Hoffmann a cherché à éviter les causes d'erreur inhérentes aux déterminations directes de la densité en mesurant, par un appareil spécial, la porosité relative de la poudre, dont on peut déduire ensuite le poids spécifique.

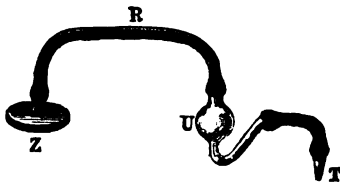
A une plaque métallique A, divisée de bas en haut en lignes de Paris et solidement installée sur un pied B, sont fixées les longues branches C, C' de deux tubes de verre recourbés, ayant environ 0^m,018 de diamètre (fig. 41). Les petites branches D, D' sont munies d'un

anneau en acier E, E', formant écrou pour recevoir les pièces en acier



F, terminées par les vis *b*; ces pièces sont disposées de telle sorte que les cylindres creux en acier G pénètrent à l'intérieur de D, D', tandis que les parties H restent complètement en dehors; la fermeture est d'ailleurs hermétique. L'ouverture dont la partie H est percée de haut en bas se continue à travers la partie renforcée *c*, et rencontre en *h* un tamis métallique extrêmement fin. La partie *c* est, en outre, percée d'un canal horizontal, dans lequel se meut la clef *d* sans donner lieu à aucune fuite d'air. Suivant donc que le trou *e* de la clef sera mis ou non en communication avec l'intérieur de D, D', ce qu'on réalise en tournant la petite manivelle *f*, on permettra ou on empêchera l'accès de l'air dans les deux tubes. Les cylindres G ne sont maintenus que par le frottement de leurs bords supérieurs, qui présentent quatre fentes à angle droit; ils peuvent facilement s'enlever. Dans les tubes de verre recourbés se trouve du mercure à peu près jusqu'en *a, a*.

Fig. 42.



Dans les deux cylindres G, G, dont le fond terminé en pointe porte des trous très-fins ne permettant que le passage du mercure, on verse deux espèces de

poudre différentes n° 1 et n° 2, on les pèse, on visse les deux pièces F, F sur D, D', et l'on fait le vide au-dessus du mercure au moyen d'un tube en caoutchouc R (*fig. 42*), qu'on met en relation avec l'intérieur de D, D' au moyen de la pointe d'acier T introduite dans l'ouverture de H, et avec la platine d'une machine pneumatique au moyen de la plaque Z. Le mercure monte dans D, D', et remplit les interstices des grains que renferment les cylindres G, G. Dès que le mercure se montre dans la petite boule de verre U, on intercepte l'arrivée de l'air extérieur en tournant de 90° la clef *d*, dont le trou était jusque-là dirigé de bas en haut, on enlève le tube de caoutchouc, on porte l'appareil sous la cloche d'une machine pneumatique, et l'on fait le vide au-dessus du mercure qui reste dans les longues branches. L'air renfermé dans les pores des grains de poudre en sort peu à peu, chasse le mercure des cylindres G, G et produit une ascension correspondante du niveau dans les longues branches. La différence entre le niveau actuel du mercure et le niveau initial mesure la pression qui s'exerce à sa surface dans la petite branche et, par suite, la quantité d'air contenue dans les pores. On peut ainsi comparer, dans une seule expérience, la porosité relative de deux sortes de poudres. Si, par exemple, *r* mesure la différence des niveaux du mercure pour la poudre n° 1, dont on a pesé *g* grammes, et *r'* celle qui correspond à la poudre n° 2, dont on a pesé *g'* grammes, le rapport des porosités des deux poudres sera $\frac{rg'}{r'g}$.

Nous avons vu (p. 407) que le mercure ne mouille pas complètement la poudre et ne remplit pas tous les interstices; en outre, quand il se retire, une partie du liquide reste adhérente aux grains. L'appareil d'Hoffmann fournit donc des indications tout à fait incertaines. Au surplus, abstraction faite des causes d'erreur que comporte ce procédé, on n'en déduit qu'un simple rapport de porosité entre deux poudres déterminées : aussi la méthode d'Hoffmann a-t-elle été rapidement abandonnée.

Les seuls appareils actuellement employés en France sont le densimètre Ricq (1875) et le densimètre Bianchi (1847). Ce dernier est aujourd'hui d'un usage général.

d) Densimètre Ricq.

L'appareil du capitaine Ricq est d'un maniement facile et rapide, et le prix en est relativement peu élevé.

Le principe de l'opération est le suivant : on détermine le volume de la poudre en évaluant la différence entre ce volume et un volume-type convenablement choisi ; cette différence, qu'on rend aussi petite que possible, est mesurée au moyen d'un tube gradué permettant de lire le dixième de centimètre cube.

Le volume-type est représenté par 10 billes en verre dont le volume, égal à 215^{cc} environ, est vérifié de temps en temps par le procédé employé pour la mesure des densités à l'eau saturée (p. 395) ou par toute autre méthode analogue. Ces billes sont immergées dans un vase plein de mercure, et l'on observe le niveau dans le tube gradué : on les remplace par un poids connu de poudre, et l'on observe de même le niveau. Si l'on désigne par :

- P, V, D le poids, le volume et la densité de la poudre,
 V_0 le volume type des billes,
 ϵ l'excès positif ou négatif du volume de la poudre sur celui des billes,

on aura :

$$V = V_0 + \epsilon,$$

et :

$$D = \frac{P}{V} = \frac{P}{V_0 + \epsilon}.$$

L'appareil (Pl. VI, fig. 2) consiste essentiellement en un vase en fonte composé de deux cylindres superposés : le cylindre supérieur (diamètre 0^m,14, hauteur 0^m,04) reçoit alternativement les billes et la poudre ; le cylindre inférieur (diamètre 0^m,06, hauteur 0^m,18 environ) contient un piston destiné à faire varier le niveau du mercure dans l'intérieur du vase et mû par l'intermédiaire d'un volant et d'une petite manivelle. Ce piston porte un obturateur système de Bange, que l'on serre modérément sur l'écrou au moyen d'une clef ; il est percé, à la partie inférieure, d'un petit canal fermé par un bouchon fileté et destiné à permettre l'écoulement du mercure au moment du démontage de l'appareil. Le vase porte, à sa partie supérieure, un couvercle assujéti à l'aide de 4 boulons et percé en son centre d'une ouverture, où s'engage un bouchon à vis sur lequel est mastiqué

un tube gradué; c'est par cette ouverture que l'on retire les billes et que l'on introduit la poudre. Enfin un tampon en bois, portant une rondelle en caoutchouc que l'on peut serrer au moyen d'un petit écrou à oreilles, peut glisser dans le tube gradué et être fixé en un point convenable pour permettre de faire le vide dans l'appareil. Toutes les fermetures sont rendues hermétiques au moyen de rondelles en caoutchouc.

Pour faire une épreuve de densité, on commence par descendre à fond le piston; on verse la quantité de mercure nécessaire au moyen d'un entonnoir en verre, on introduit les billes et l'on assujettit le bouchon porte-tube. On remonte le piston jusqu'à la surface d'arrêt: le niveau du mercure doit alors venir affleurer dans le tube vers la division 50^o; sinon, on ajouterait ou l'on enlèverait un peu de mercure à l'aide d'une pipette, jusqu'à ce que ce résultat fût obtenu. On introduit dans le tube le tampon obturateur, on l'amène au contact de la surface libre du mercure, on serre l'écrou à oreilles, et l'on descend le piston jusqu'à ce qu'en remuant légèrement la table on entende les billes s'entre-choquer: les bulles d'air restées dans le vase remplissent tout l'espace devenu libre et n'ont plus qu'une tension très-faible. On remonte le piston; le niveau du mercure étant arrivé vers le milieu du tube, à 8 ou 10^o environ au-dessous de la position primitive, on desserre le tampon obturateur, pour éviter de comprimer outre mesure l'air qui aurait pu rentrer accidentellement, et l'on achève de monter le piston jusqu'à la surface d'arrêt. On lit alors le niveau du mercure; soit n le nombre trouvé. En général, avec les billes et avec les poudres à gros grains, il ne reste plus d'air dans le mercure après cette opération; pour s'en assurer, on fera de nouveau le vide dans le tube en serrant le tampon, et descendant puis remontant le piston: si le niveau ne varie pas de plus de 0^o,2, on admettra la seconde lecture. On descend ensuite le piston jusqu'à ce que le niveau du mercure soit arrivé au-dessous de l'ouverture du cylindre supérieur, qu'on dégage; on sort les billes avec précaution, de manière à ne pas laisser perdre de mercure, et l'on descend le piston à fond. — On verse alors la poudre, et l'on opère pour chasser les bulles d'air comme on a fait avec les billes. On lit le niveau, et l'on s'arrête quand deux lectures consécutives donnent le même résultat à 0^o,1 près; soit n' le nombre trouvé. On a :

$$e = n' - n.$$

Pour les poudres à fins grains, on éprouve une certaine difficulté à chasser les bulles d'air; il convient, dans ce cas, d'opérer sur des quantités de poudre peu considérables, 200^m environ. — Si l'on dispose d'une machine pneumatique, on peut la substituer avec avantage au tampon obturateur. — Pour diminuer autant que possible l'influence des inexactitudes dans la graduation du tube en verre, on opère sur un poids variable de poudre, que l'on détermine, d'après la densité supposée, de manière que la valeur de ϵ soit aussi petite que possible. — Enfin, on vérifie le fonctionnement de l'appareil en répétant plusieurs fois l'opération avec les billes, qu'on enlève et qu'on remet successivement : on doit toujours lire le même nombre sur le tube.

c) Densimètre Bianchi.

Cet appareil se distingue de tous les autres densimètres par une disposition spéciale, d'après laquelle le mercure qui entoure les grains de poudre se trouve soumis à une pression de 2 atmosphères et, par suite, forcé de pénétrer dans les plus petits interstices.

Il existe 2 sortes de densimètres de ce système : les uns ont un œuf en verre et sont destinés aux poudres à grains moyens et à fins grains; les autres, dont l'œuf est en fonte et de plus grand volume, sont réservés pour les poudres à gros grains. Nous décrivons un densimètre de la première catégorie.

Le mode d'opération consiste à peser l'œuf plein de mercure, puis à le peser plein de mercure et d'un poids déterminé de poudre. Connaissant la densité du mercure à la température de l'expérience, on en déduit aisément le poids spécifique cherché.

L'appareil (Pl. VI, fig. 3) se compose essentiellement d'un vase en verre A à deux tubulures garnies de viroles en fonte, sur lesquelles se vissent des chapeaux en fonte B, C, portant des robinets *p*, *r*. Deux diaphragmes, garnis, l'un en peau de chamois pour le bas du vase, l'autre en toile métallique très-fine pour la partie supérieure, se placent à la jonction des viroles et des chapeaux. Au chapeau inférieur se visse un ajutage en fonte à bec effilé *a*, dont l'extrémité descend jusqu'au fond de la cuvette en fonte E destinée à recevoir le mercure. Au chapeau supérieur est fixé un tube barométrique T, maintenu et préservé des fractures par une pièce en fonte surmontant un support S également en fonte qui porte tout l'appareil. Le tube barométrique est muni d'un robinet *q* dans le bas : son extré-

mité supérieure est garnie d'une virole et d'une douille pour recevoir l'une des extrémités d'un tuyau en caoutchouc t à âme métallique, dont l'autre extrémité se fixe sur le nez d'une machine pneumatique du système Bianchi; sur le trajet du tuyau se trouve un flacon en verre destiné à recueillir le mercure qui pourrait s'échapper.

On commence par déterminer la densité du mercure employé pour l'épreuve, au moyen d'un flacon de cristal avec bouchon à l'émeri percé d'un trou. On remplit le flacon successivement de mercure et d'eau distillée, à l'aide d'un entonnoir à bec très-effilé qui descend jusqu'au fond, afin que, le flacon se remplissant de bas en haut, il ne reste pas de bulles d'air adhérentes à la paroi intérieure. On retranche le poids du vase de chacune des pesées, et le rapport ainsi obtenu, multiplié par la densité de l'eau à la température τ de l'expérience, donne la densité D_τ du mercure à cette température. La densité à 0° étant alors :

$$D_0 = D_\tau \left(1 + \frac{\tau}{5550} \right),$$

la densité du mercure à une température quelconque τ' sera :

$$D_{\tau'} = D_0 \frac{5550}{5550 + \tau'}.$$

Pour procéder à une prise de densité, on fait 3 pesées de 100^{gr} de la poudre soumise à l'épreuve; si cette poudre était humide, on la ferait sécher vers 60°, et on la pèserait après refroidissement. — On monte l'appareil comme l'indique la figure, et l'on établit la communication avec la machine pneumatique. On ferme le robinet inférieur r , on ouvre p et q , et l'on fait le vide jusqu'à ce que le mercure de l'éprouvette reste stationnaire. On ouvre r , et on le referme dès que le mercure apparaît dans le bas du vase A. On fait de nouveau le vide, on ouvre r , et on laisse monter le mercure jusqu'à une hauteur voisine de la hauteur barométrique. On ferme le robinet r , et l'on rend l'air dans le haut du tube, en tournant à cet effet l'éprouvette de la machine pneumatique, pour soumettre le mercure renfermé dans le tube et dans le vase à une pression de 2 atmosphères; puis on ferme les robinets p et q . — On dévisse le bec effilé α , ainsi que l'œuf plein de mercure avec ses deux chapeaux, en ayant soin de ne pas poser les mains sur le verre, et l'on pèse l'œuf sur un chevalet en fer placé sur l'un des plateaux d'une ba-

lance, après avoir brossé et essuyé toutes les parties extérieures. On fait écouler le mercure par les robinets p , q , on dévisse les chapeaux, on enlève les diaphragmes et l'on essuie toutes les parties du vase; on ouvre enfin r pour faire écouler le mercure resté dans le tube. — On remet en place le diaphragme et le chapeau inférieurs, on introduit dans l'œuf l'une des pesées de 100^{es} de poudre, et l'on monte complètement l'appareil. On fait le vide; quand le mercure a cessé de monter, on ferme r et l'on rend l'air à la partie supérieure du tube. On fait de nouveau le vide, on ouvre puis on referme r , on rend l'air une seconde fois, et l'on procède à la pesée comme dans la première opération. On fait écouler le mercure, on dévisse les chapeaux, on retire la poudre, on essuie toutes les parties du vase, et l'on vide le tube barométrique.

Si l'on désigne par :

a le poids de poudre sur lequel on a opéré,

D la densité du mercure à la température moyenne de la séance d'épreuve,

P le poids de l'œuf plein de mercure, qui est la moyenne de 3 déterminations faites au commencement, au milieu et à la fin de chaque séance d'épreuve, en ayant soin de prendre note des températures correspondantes du mercure,

P' le poids de l'œuf plein de poudre et de mercure, qui est la moyenne de 3 déterminations pour une même poudre,

d le poids spécifique cherché de la poudre,

on aura :

$$d = \frac{aD}{P - P' + a}.$$

Le principe sur lequel repose la méthode de Bianchi et qui consiste à forcer le mercure à pénétrer dans les interstices des grains, d'abord par aspiration, puis par compression, avait été en partie indiqué par Maguin dès 1838. Un vase, auquel étaient adaptés deux longs tubes de verre s'élevant verticalement, était pesé plein de mercure; on le vidait, on y plaçait la poudre, et l'on achevait de le remplir avec du mercure, qui devait s'élever dans les tubes à la même hauteur que dans la première opération; puis on pesait de nouveau. En opérant sous différentes pressions avec un appareil qui contenait 800^{es} de poudre et pesait 20^{es} quand il était plein de mercure, on a obtenu, à la poudrerie de Metz, les résultats suivants :

ESPÈCE DE POWDRE.	DENSITÉS OBTENUES en opérant sous les pressions suivantes, exprimées en hauteurs de mercure		
	0 ^m ,50.	0 ^m ,70.	1 ^m ,00.
Grains de mousquet (densité de la galette = 1,483).	1,464	1,477	1,479
Poudre des pilons lissée, battage de 24 ^h	1,615	1,619	1,622
Poudre des meules, charbon noir.	1,687	1,692	1,692
Poudre des meules, charbon roux, lissée.	1,772	1,792	1,796
Poudre superfine d'Allemagne.	1,588	1,594	1,595

En prenant ainsi la densité sous des pressions croissantes, on peut calculer l'erreur qui résulte de la présence d'une certaine quantité d'air entre les grains. D'après Maguin, les densités obtenues pour les poudres de mine et à canon (1,421 et 1,510) ne sont susceptibles que de légères corrections; mais celles des poudres à mousquet, de chasse fine et de poudre royale, qu'on trouve de 1,540, 1,664 et 1,776, deviennent respectivement 1,567, 1,819 et 1,891, quand elles sont corrigées.

III. GÉNÉRALITÉS.

a) Comparaison des densités gravimétrique et réelle.

Le tableau suivant indique les densités gravimétrique et réelle de poudres d'origine et de fabrication différentes; les densités gravimétriques ont été prises par le procédé allemand, et les densités réelles par la méthode de l'immersion rapide dans l'alcool.

DÉSIGNATION DE LA POUDRE.		DENSITÉS	
		gravimétrique.	réelle.
Poudres à gros grains	hollandaise ordinaire.	0,912	1,87
	autrichienne.	0,975	1,72
Poudres à canon. . .	du Bouchet (anguleuse).	0,856	1,56
	d'Ettingen.	0,856	1,56
	de Hounslow (anguleuse).	0,863	1,63
	de Danemark.	0,871	1,72
	de Berne (n° 6).	0,884	1,67
	de Neisse (poudre ordinaire).	0,909	1,77
	de Berlin (nouvelle fabrication).	0,909	1,63
	de Neisse (nouvelle fabrication).	0,909	1,67
	de Russie (poudre ordinaire).	0,914	1,56
	de Danemark (poudre ronde).	0,963	1,72
Poudres à fusil. . . .	de Danemark (anguleuse).	0,863	1,77
	de Hounslow.	0,884	1,72
	de Berlin (nouvelle fabrication).	0,909	1,63
	de Berne (n° 4).	0,919	1,67
	de Munich (anguleuse).	0,939	1,82
Poudres de chasse. . .	du Bouchet.	0,898	1,87
	de Berlin (ancienne fabrication).	0,939	1,77

On voit qu'il n'y a pas de relation entre la densité gravimétrique et le poids spécifique d'une poudre : des poudres ayant même poids spécifique ont, en général, des densités gravimétriques différentes. Ces deux éléments caractéristiques sont donc distincts.

Le poids spécifique peut donner une idée de la qualité des matières premières, de la valeur de la trituration et du mode de galetage. La densité gravimétrique dépend, en outre, de la grosseur et de la forme des grains, de la nature et de la durée du lissage, enfin de la proportion de grains fins ou de poussier. Elle agit principalement sur la vitesse d'inflammation de la matière, tandis que le poids spécifique exerce une influence sensible sur la vitesse de combustion du grain et sur la bonne conservation de la poudre.

b) Action de l'humidité.

Une poudre exposée à l'air et à l'humidité absorbe de la vapeur

d'eau, se gonfle et perd de la densité, et cela d'autant plus, d'après Piobert, que la matière primitive était elle-même plus dense. En voici deux exemples assez concluants.

1° Poudre des pilons, peu dense et, par suite, peu altérée par l'humidité :

Densité de la poudre après la fabrication, séchée au soleil.	1,510
— après 4 mois de séjour dans un vase ouvert, séchée.	1,465
— après 15 jours d'exposition à l'air humide (absorption de 14,7 p. 100 d'eau), séchée.	1,510
— après 1 mois d'exposition à l'air humide (absorption de 25,5 p. 100 d'eau).	diminuée de 1/9.

2° Poudre des meules, assez dense et, par suite, détériorée par l'action de l'humidité :

Densité de la poudre après la fabrication, séchée au soleil.	1,730
— après 1 an de séjour en magasin, séchée au soleil.	1,700
— après 4 mois de séjour dans un vase ouvert, séchée.	1,635
— après 15 jours d'exposition à l'air humide (absorption de 18,8 p. 100 d'eau), augmentation de volume de 1/5.	1,435

Ainsi, les poudres très-denses ne paraissent pas susceptibles de conserver longtemps leur densité, à moins d'être placées, comme les poudres de chasse, dans des vases hermétiquement clos. On peut, en effet, remarquer que, plus un grain de poudre sera poreux, plus il sera susceptible d'absorber une quantité déterminée d'humidité sans que l'eau introduite en altère la constitution et force le salpêtre à s'affleurir. Si les pores n'ont pas un volume suffisant, le grain se gonfle sans pouvoir revenir à sa forme primitive à la suite d'un séchage : il y a donc diminution de densité et désorganisation de la matière. D'un autre côté, une trop faible densité donne des grains très-friables qui se brisent par les chocs, en produisant des quantités de poussier souvent considérables. Une densité trop forte ou trop faible est donc incompatible avec la bonne conservation des poudres.

c) Influence des procédés de fabrication.

En général, la densité de la matière obtenue par un procédé de fabrication déterminé dépend de l'énergie de la trituration et du galetage, ainsi que de la quantité d'eau que possèdent les compositions pendant le cours de l'opération et au déchargement. Une forte trituration, faite sur des matières humides, un galetage lent et

sous pression élevée augmentent le rapprochement des parties constituantes et, par suite, la densité de la poudre, tandis qu'une portion d'eau notable au déchargement augmente la porosité et diminue le poids spécifique.

Le procédé des pilons ne peut jamais donner que de faibles densités. La matière sortant des mortiers pour être grenée en contient, en effet, de 8 à 9 p. 100 d'eau; sa densité réelle ne peut que rarement dépasser 1,600 et tombe quelquefois au-dessous de 1,500. Les poudres des pilons ne peuvent donc être défavorables au service que par défaut de densité des grains.

Dans la fabrication des poudres par les meules, les matières contiennent que 2 à 3,5 p. 100 d'eau au déchargement, et l'on peut obtenir des densités relatives très-élevées, surtout par une trituration prolongée (p. 227). Le procédé des meules donne donc, en général, de fortes densités aux poudres, et c'est plutôt par excès que par défaut de densité que les produits de cette fabrication peuvent ne pas convenir au service de guerre, tandis que ce procédé peut être éminemment propre à donner les qualités que l'on recherche dans les poudres de chasse.

Dans la fabrication des poudres par les tonnes et presses, la quantité d'humidité peut varier de 3 à 11 p. 100 : la composition peut être comprimée plus ou moins et donner des grains de toutes densités, depuis les plus faibles jusqu'aux plus fortes. Dans des essais faits avec une tonne ordinaire, Lefebvre a obtenu, après une trituration de 16^h, des gâteaux d'une densité de 2,042, presque égale à celle du salpêtre en neige ou fondu.

Dans la fabrication de la poudre ronde par le procédé de Chambrin on peut arriver à former des grains d'une assez grande densité (1,830 environ).

§ V.

HUMIDITÉ ET HYGROMÉTRICITÉ.

I. GÉNÉRALITÉS.

a) Influence sur les propriétés physiques.

La poudre possède la propriété d'absorber l'humidité dans des proportions variables et sous certaines influences que nous indi-

plus loin (p. 423). Dès que l'eau pénètre dans le grain, elle fait ir le salpêtre et altère l'intimité du mélange; si la proportion absorbée augmente, le grain enfle, devient moins dense, et ment se déforme et tombe en bouillie.

et que la surface du grain ne présente pas de petites aspérités hâtres, qui sont des cristaux de salpêtre effleuri, la matière pas désorganisée, et l'on peut lui rendre ses propriétés balistiques en la faisant sécher lentement, avant qu'elle soit arrivée à ce d'altération; seulement la densité et la dureté du grain se trouvent un peu diminuées.

le salpêtre s'est effleuri, l'uniformité du mélange des composants, et l'oc est détruite, et la matière ne peut reprendre par le séchage une tridensité, ni sa force balistique: la poudre est alors avariée, et reste plus, pour l'utiliser, qu'à la rebattre comme matière pre ou à en extraire le salpêtre par un lessivage spécial (p. 412).

b) Influence sur les propriétés balistiques.

humidité du grain a pour effet de diminuer les portées et les sses des projectiles, ainsi que les pressions exercées par les gaz a poudre dans l'âme des bouches à feu.

ous avons vu (p. 419) qu'une poudre paraît se détériorer d'autant s rapidement par l'action de l'humidité qu'elle a une densité s forte: les propriétés balistiques devront donc être d'autant plus sées que la matière sera plus dense. Ainsi, d'après Piobert, une 42. p. dre dense des meules exposée pendant 11 jours, puis pendant jours à l'air humide, perd de 38 à 42 p. 100 de sa vitesse dans premier cas, et de 75 à 78 p. 100 dans le second, la perte après séchage étant encore de $\frac{1}{8}$ et de $\frac{1}{4}$, tandis que les poudres s tonnes et des pilons, de densité ordinaire, ne perdent dans les s mêmes circonstances que 16 et 23 p. 100 de leur vitesse et recouent leur force balistique par un séchage ultérieur.

Il a été démontré par des expériences récentes qu'on peut augmenter la force d'une poudre en lui donnant de l'humidité, puis en la soumettant à un nouveau séchage. Des essais au fusil-pendule, sécutés à Washington, avaient déjà prouvé que les différences de vitesse ainsi obtenues entre la poudre primitive et la poudre manipulée étaient d'autant plus faibles que les grains étaient plus poreux, ce qui concorde avec les exemples cités par Piobert. — Des expériences postérieures, faites à la poudrerie de Spandau, ont

sous pression élevée augmentent le rapprochement des particules constituantes et, par suite, la densité de la poudre, tandis qu'une proportion d'eau notable au déchargement augmente la porosité et diminue le poids spécifique.

Le procédé des pilons ne peut jamais donner que de faibles densités. La matière sortant des mortiers pour être grenée en guerre contient, en effet, de 8 à 9 p. 100 d'eau; sa densité réelle ne peut que rarement dépasser 1,600 et tombe quelquefois au-dessous de 1,500. Les poudres des pilons ne peuvent donc être défavorables au service que par défaut de densité des grains.

Dans la fabrication des poudres par les meules, les matières n'ont que 2 à 3,5 p. 100 d'eau au déchargement, et l'on peut obtenir des densités relatives très-élevées, surtout par une trituration prolongée (p. 227). Le procédé des meules donne donc, en général, de très-fortes densités aux poudres, et c'est plutôt par excès que par défaut de densité que les produits de cette fabrication peuvent ne pas convenir au service de guerre, tandis que ce procédé peut être éminemment propre à donner les qualités que l'on recherche dans les poudres de chasse.

Dans la fabrication des poudres par les tonnes et presses, la quantité d'humidité peut varier de 3 à 11 p. 100 : la composition peut être comprimée plus ou moins et donner des grains de toutes densités, depuis les plus faibles jusqu'aux plus fortes. Dans des essais faits avec une tonne ordinaire, Lefebvre a obtenu, après une trituration de 16^h, des gâteaux d'une densité de 2,042, presque égale à celle du salpêtre en neige ou fondu.

Dans la fabrication de la poudre ronde par le procédé de Champy, on peut arriver à former des grains d'une assez grande densité (1,850 environ).

§ V.

HUMIDITÉ ET HYGROMÉTRICITÉ.

I. GÉNÉRALITÉS.

a) Influence sur les propriétés physiques.

La poudre possède la propriété d'absorber l'humidité dans des proportions variables et sous certaines influences que nous indiqu-

rons plus loin (p. 423). Dès que l'eau pénètre dans le grain, elle fait effleurir le salpêtre et altère l'intimité du mélange; si la proportion d'eau absorbée augmente, le grain enflé, devient moins dense, et finalement se déforme et tombe en bouillie.

Tant que la surface du grain ne présente pas de petites aspérités blanchâtres, qui sont des cristaux de salpêtre effleuris, la matière n'est pas désorganisée, et l'on peut lui rendre ses propriétés balistiques en la faisant sécher lentement, avant qu'elle soit arrivée à ce point d'altération; seulement la densité et la dureté du grain se trouvent un peu diminuées.

Si le salpêtre s'est effleuris, l'uniformité du mélange des composants est détruite, et la matière ne peut reprendre par le séchage ni sa densité, ni sa force halistique: la poudre est alors avariée, et il ne reste plus, pour l'utiliser, qu'à la rebattre comme matière première ou à en extraire le salpêtre par un lessivage spécial (p. 412).

b) Influence sur les propriétés balistiques.

L'humidité du grain a pour effet de diminuer les portées et les vitesses des projectiles, ainsi que les pressions exercées par les gaz de la poudre dans l'âme des bouches à feu.

Nous avons vu (p. 419) qu'une poudre paraît se détériorer d'autant plus rapidement par l'action de l'humidité qu'elle a une densité plus forte: les propriétés balistiques devront donc être d'autant plus altérées que la matière sera plus dense. Ainsi, d'après Piobert, une poudre dense des meules exposée pendant 41 jours, puis pendant 20 jours à l'air humide, perd de 38 à 42 p. 100 de sa vitesse dans le premier cas, et de 75 à 78 p. 100 dans le second, la perte après séchage étant encore de $\frac{1}{8}$ et de $\frac{1}{4}$, tandis que les poudres des tonnes et des pilons, de densité ordinaire, ne perdent dans les mêmes circonstances que 16 et 23 p. 100 de leur vitesse et recouvrent leur force balistique par un séchage ultérieur.

Il a été démontré par des expériences récentes qu'on peut augmenter la force d'une poudre en lui donnant de l'humidité, puis en la soumettant à un nouveau séchage. Des essais au fusil-pendule, exécutés à Washington, avaient déjà prouvé que les différences de vitesse ainsi obtenues entre la poudre primitive et la poudre manipulée étaient d'autant plus faibles que les grains étaient plus poreux, ce qui concorde avec les exemples cités par Piobert. — Des expériences postérieures, faites à la poudrerie de Spandau, ont

sous pression élevée augmentent le rapprochement des particules constituantes et, par suite, la densité de la poudre, tandis qu'une proportion d'eau notable au déchargement augmente la porosité et diminue le poids spécifique.

Le procédé des pilons ne peut jamais donner que de faibles densités. La matière sortant des mortiers pour être grenée en guerre contient, en effet, de 8 à 9 p. 100 d'eau; sa densité réelle ne peut que rarement dépasser 1,600 et tombe quelquefois au-dessous de 1,500. Les poudres des pilons ne peuvent donc être défavorables au service que par défaut de densité des grains.

Dans la fabrication des poudres par les meules, les matières n'ont que 2 à 3,5 p. 100 d'eau au déchargement, et l'on peut obtenir des densités relatives très-élevées, surtout par une trituration prolongée (p. 227). Le procédé des meules donne donc, en général, de très-fortes densités aux poudres, et c'est plutôt par excès que par défaut de densité que les produits de cette fabrication peuvent ne pas convenir au service de guerre, tandis que ce procédé peut être éminemment propre à donner les qualités que l'on recherche dans les poudres de chasse.

Dans la fabrication des poudres par les tonnes et presses, la quantité d'humidité peut varier de 3 à 11 p. 100 : la composition peut être comprimée plus ou moins et donner des grains de toutes densités, depuis les plus faibles jusqu'aux plus fortes. Dans des essais faits avec une tonne ordinaire, Lefebvre a obtenu, après une trituration de 16", des gâteaux d'une densité de 2,042, presque égale à celle du salpêtre en neige ou fondu.

Dans la fabrication de la poudre ronde par le procédé de Champy, on peut arriver à former des grains d'une assez grande densité (1,850 environ).

§ V.

HUMIDITÉ ET HYGROMÉTRICITÉ.

I. GÉNÉRALITÉS.

a) Influence sur les propriétés physiques.

La poudre possède la propriété d'absorber l'humidité dans des proportions variables et sous certaines influences que nous indique-

rons plus loin (p. 423). Dès que l'eau pénètre dans le grain, elle fait effleurir le salpêtre et altère l'intimité du mélange; si la proportion d'eau absorbée augmente, le grain enfle, devient moins dense, et finalement se déforme et tombe en bouillie.

Tant que la surface du grain ne présente pas de petites aspérités blanchâtres, qui sont des cristaux de salpêtre effleuri, la matière n'est pas désorganisée, et l'on peut lui rendre ses propriétés balistiques en la faisant sécher lentement, avant qu'elle soit arrivée à ce point d'altération; seulement la densité et la dureté du grain se trouvent un peu diminuées.

Si le salpêtre s'est effleuri, l'uniformité du mélange des composants est détruite, et la matière ne peut reprendre par le séchage ni sa densité, ni sa force balistique: la poudre est alors avariée, et il ne reste plus, pour l'utiliser, qu'à la rebattre comme matière première ou à en extraire le salpêtre par un lessivage spécial (p. 112).

b) Influence sur les propriétés balistiques.

L'humidité du grain a pour effet de diminuer les portées et les vitesses des projectiles, ainsi que les pressions exercées par les gaz de la poudre dans l'âme des bouches à feu.

Nous avons vu (p. 419) qu'une poudre paraît se détériorer d'autant plus rapidement par l'action de l'humidité qu'elle a une densité plus forte: les propriétés balistiques devront donc être d'autant plus altérées que la matière sera plus dense. Ainsi, d'après Piobert, une poudre dense des meules exposée pendant 41 jours, puis pendant 20 jours à l'air humide, perd de 38 à 42 p. 100 de sa vitesse dans le premier cas, et de 75 à 78 p. 100 dans le second, la perte après séchage étant encore de $\frac{1}{8}$ et de $\frac{1}{4}$, tandis que les poudres des tonnes et des pilons, de densité ordinaire, ne perdent dans les mêmes circonstances que 16 et 23 p. 100 de leur vitesse et recourent leur force balistique par un séchage ultérieur.

Il a été démontré par des expériences récentes qu'on peut augmenter la force d'une poudre en lui donnant de l'humidité, puis en la soumettant à un nouveau séchage. Des essais au fusil-pendule, exécutés à Washington, avaient déjà prouvé que les différences de vitesse ainsi obtenues entre la poudre primitive et la poudre manipulée étaient d'autant plus faibles que les grains étaient plus poreux, ce qui concorde avec les exemples cités par Piobert. — Des expériences postérieures, faites à la poudrerie de Spandau, ont

II. ÉPREUVES.

a) Épreuve d'humidité.

L'épreuve d'humidité a pour but de déterminer la proportion d'eau contenue dans les grains et de vérifier par là, soit les propriétés balistiques de la poudre, si elle sort directement des ateliers de fabrication, soit son état de conservation, si elle a séjourné en magasin.

En France, on opère sur 10^g de poudre étendus en couche mince au fond d'une capsule plate en clinquant, et l'on fait sécher pendant 24^h, à la température de 60° environ, dans une étuve à air munie d'un thermo-régulateur Schœsing. Après avoir pesé, on replace dans l'étuve, et l'on repèse, toutes les 2 ou 3 heures, jusqu'à ce que deux pesées consécutives accusent la même perte.—Pour les épreuves comparatives faites dans le courant même de la fabrication, on se contente de sécher pendant 2 ou 3^h à la température de 90°, puis de repeser d'heure en heure jusqu'à ce que le poids reste constant.

En Prusse, on fait sécher 41^g,5 de poudre au bain-marie, l'eau du bain étant maintenue en ébullition pendant 30^{min} au moyen d'une lampe à alcool, et l'on pèse.

Dans d'autres pays, on place la poudre dans un vase au-dessus d'une solution concentrée d'acide sulfurique, et l'on soumet le tout à l'action de la machine pneumatique ou d'une pompe à air.

b) Épreuve d'hygrométrie.

L'épreuve d'hygrométrie a pour but de déterminer la rapidité avec laquelle la poudre absorbe l'humidité, et la quantité d'eau qu'elle peut absorber avant de s'avarier, c'est-à-dire la faculté que possède la matière de se conserver en bon état.

En France, on opère, d'après une Instruction de 1835, sur 100^g de poudre qu'on étend en couche de 0^m,002 d'épaisseur au fond d'un plateau à rebords; ce plateau est installé sur des briques à 0^m,027 au-dessus d'un baquet plein d'eau, dont la surface libre est double de celle du plateau; le tout est surmonté d'un couvercle en planches de chêne garni de peau de mouton et chargé de poids. Le baquet est déposé dans un lieu frais, sans courant d'air. Au bout de 24^h, on pèse l'échantillon et l'on tient note de l'augmentation de poids; on répète cette

opération au bout de 2, 4, 6, 8, etc. jours, jusqu'à ce que la poudre soit complètement détériorée, et l'on écrit chaque fois les résultats des pesées et les différentes circonstances de détérioration des grains que l'on a pu observer.

En Allemagne, on place la poudre soit dans une cave humide, soit dans un baquet contenant de l'eau et hermétiquement fermé; on l'y laisse séjourner plus ou moins longtemps, suivant la température de l'enceinte, et l'on compare l'augmentation de poids de l'échantillon à celle d'une poudre normale soumise simultanément à la même épreuve.

En Suède, d'après une ordonnance de 1831, l'échantillon de poudre traité comme il vient d'être dit ne doit absorber au maximum que 0,50 p. 100 d'humidité de plus que la poudre normale.

Ce procédé ne comporte aucune précision. On s'en est assuré en opérant simultanément sur 5 échantillons de 100^g de poudre normale, placés dans le même baquet et pesés à différents intervalles; on a ainsi obtenu les résultats suivants :

DATE de la pesée.	TEMPÉRATURE de l'enceinte.	HUMIDITÉ ABSORBÉE P. 100 DE MATIÈRE.	
		Moyenne.	Écart maximum.
27 mai.	10°,9	2,40	0,56
14 juin.	16 ,6	6,70	3,19
18 juillet.	21 ,4	5,11	1,11
1 ^{er} août.	18 ,1	6,99	1,53
26 août.	21 ,9	3,72	1,04
7 octobre.	13 ,6	6,43	1,18
17 octobre.	10 ,2	6,93	1,04
31 octobre.	7 ,5	6,63	0,76

On s'explique facilement ces anomalies en remarquant que, si la température s'abaisse, la vapeur se précipite en partie et mouille la poudre; si elle s'élève, au contraire, l'humidité condensée se re-vaporise, au moins en partie, de sorte que les indications obtenues par cette méthode ne peuvent présenter aucune régularité.

Il semblerait plus logique de comparer un échantillon de poudre humide, facilement reconnaissable à sa couleur noirâtre, à un second échantillon de poudre moins humide, en les faisant sécher à

l'étuve ou au bain-marie, comme pour l'épreuve d'humidité (p. 424) : de la perte de poids éprouvée par chaque échantillon on pourrait déduire la quantité d'humidité évaporée et, par suite, l'hygrométrie relative de la matière.

§ VI.

CRASSEMENT.

L'inconvénient que présente la poudre d'encrasser les armes dans lesquelles on la tire, paraît tenir surtout au dosage, à l'intimité du mélange des composants et à diverses circonstances de la fabrication, dont l'influence n'a pas été jusqu'ici nettement déterminée.

On doit à A. D. Vergnaud une série d'expériences (1836-1837) destinées à mesurer le crassement de diverses poudres de chasse, dont la déflagration s'effectuait à l'air libre dans de petites capsules en cuivre rouge excessivement mince : on versait au fond de la capsule 4^{rs} de poudre, que l'on enflammait à l'aide d'une broche de fer rougie au feu, et l'on pesait le résidu après la combustion successive de 5^{rs} de matière, jusqu'à concurrence de 20^{rs} par essai. D'après ces expériences, l'abaissement de la proportion du soufre diminue le crassement ; une trituration plus parfaite produit le même résultat ; enfin, les poudres fabriquées pendant l'hiver paraissent encrasser plus que celles de la fabrication d'été. La meilleure poudre royale d'Esquerdes (densité de 1,820 à 1,900) donnait un résidu variant de 1^{rs},32 à 1^{rs},55, tandis que celui de la meilleure poudre de chasse de Dartford (densité 1,704) était de 1^{rs},85, et celui de la poudre royale du Bouchet (densité 1,815) de 1^{rs},98 ; toutes ces poudres étaient fabriquées par le procédé des meules lourdes.

On mesure aujourd'hui le résidu produit, au bout de 5 coups consécutifs, par les diverses poudres de chasse tirées dans le fusil-pendule à la charge de 5^{rs}. Dans ces conditions, le crassement varie de 1^{rs},40 à 2^{rs},40 pour la chasse fine, de 1^{rs},55 à 2^{rs},40 pour la superfine, et de 1^{rs},75 à 2^{rs},80 pour l'extrafine.

CHAPITRE II.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DE LA POUDRE. ANALYSE QUANTITATIVE.

Nous nous occuperons, dans ce chapitre, de la composition chimique de la poudre et des principaux modes d'analyse qui ont été proposés pour en doser les divers éléments.

On pourrait également comprendre dans la classe des propriétés chimiques tout ce qui se rapporte à l'inflammation et à la combustion de la poudre : nous préférons renvoyer au chapitre suivant l'examen complet de ces questions, qui se trouveront ainsi rattachées aux propriétés mécaniques proprement dites, auxquelles elles sont intimement liées.

Avant de procéder à l'analyse quantitative de la poudre, dont la composition qualitative est supposée connue, il faut commencer par la débarrasser de son humidité. Cela fait, on pourra doser chacun des trois éléments sur une portion séparée de matière, ou, au contraire, doser les trois corps sur une seule et même portion.

§ I.

DÉTERMINATION DE L'HUMIDITÉ.

I. GÉNÉRALITÉS.

On lit dans la plupart des ouvrages techniques relatifs à la poudre que, dans une analyse chimique de cette matière, le premier des

éléments à doser est l'humidité. C'est là une erreur de fait : l'eau absorbée mécaniquement par la poudre n'en est pas un élément constitutif, puisque la proportion de cette eau dépend essentiellement des conditions atmosphériques auxquelles la poudre se sera trouvée soumise avant l'essai. La détermination de l'humidité se rattacherait donc plutôt aux propriétés purement physiques, et cela d'autant mieux que la poudre perfectionnée est, en général, séchée aussi complètement que possible.

Au surplus, si l'on considérait cette détermination comme faisant partie de l'analyse chimique, les résultats de celle-ci apparaîtraient sous un point de vue tout différent. Ainsi, lorsqu'on dit qu'une poudre se compose de 75 parties de salpêtre pour 10 de soufre et 15 de charbon, cela ne signifie pas seulement que ces trois corps sont entre eux dans les rapports de 75 à 10 et à 15, mais encore que la somme des trois nombres donne le poids total 100 de matière. Si l'on fait entrer l'humidité en ligne de compte, la question ne se présente plus de même, et il peut arriver notamment, surtout si l'on opère sur de petites quantités de poudre et pour un taux assez fort d'humidité, que l'on trouve une proportion de salpêtre trop faible de 4 p. 100.

Il faut donc toujours opérer sur de la poudre préalablement séchée.

II. PROCÉDÉS DE DOSAGE.

Pour effectuer cette dessiccation et déterminer le taux p. 100 d'humidité, on peut introduire un poids connu de poudre soit sous le récipient de la machine pneumatique, soit dans un siccateur au-dessus d'un vase contenant de l'acide sulfurique. On peut aussi faire traverser la poudre par un courant d'air sec, froid ou chaud ; nous insisterons sur ce dernier mode d'opérer.

a) Par un courant d'air sec et froid (Linck).

On prend un tube de verre *a* (*fig.* 43), ayant 0^m,009 de diamètre intérieur et 0^m,14 de longueur, étiré sur un tiers de sa longueur en une pointe de 0^m,002 de diamètre ; au point de raccordement et sur une étendue de 0^m,015, se trouve un bouchon d'asbeste calciné, pouvant jouer librement à l'intérieur du tube.

Le tube, préalablement séché, est pesé et rempli de poudre pulvérisée (2 à 3^m) ; puis on y fait passer, pendant 10^m environ, un courant

d'air parfaitement sec à la température ordinaire, jusqu'à ce que deux pesées consécutives n'accusent plus aucune perte de poids.

b) Par un courant d'air sec et chaud (Werther).

On place la poudre dans un tube de verre pesé, ayant environ 0^m,026 de diamètre sur 0^m,078 de longueur, aux extrémités duquel ont été soufflés deux fins tubes de verre. L'appareil étant plongé dans un bain-marie, on met l'une des extrémités en relation avec un tube à chlorure de calcium, l'autre avec une machine pneumatique ou un aspirateur, et l'on porte l'eau à l'ébullition. On manœuvre alors la machine pneumatique ou l'aspirateur de manière à faire passer un courant d'air sec à travers le tube, jusqu'au moment où l'on n'aperçoit plus de dépôt liquide dans la partie reliée à l'appareil d'aspiration. On enlève alors le tube, on le fait sécher avec soin, on le ferme avec deux bouchons de liège préalablement pesés, et on laisse refroidir; on enlève un instant l'un des bouchons, pour que l'air pénètre dans le tube, on le replace aussitôt et l'on pèse l'appareil. On répète l'opération jusqu'à ce qu'on ne constate plus aucune différence de poids.

Il résulte de l'ensemble de ces dispositions que la poudre, une fois débarrassée de son humidité, ne peut plus absorber de nouvelles quantités de vapeur d'eau : le procédé est donc excellent, à part la difficulté d'introduction de la poudre dans le tube. Toutefois, il faut observer que la température de 100° nécessaire pour porter l'eau du bain à l'ébullition produit une vaporisation partielle du soufre, inconvénient que l'on peut éviter en ne chauffant qu'à la température de 60° : il serait donc préférable, à ce point de vue, d'introduire le tube dans une petite étuve à air chauffée à 60°.

§ II.

DÉTERMINATION ISOLÉE DES ÉLÉMENTS.

I. DOSAGE DU SALPÊTRE.

a) Procédé du lessivage.

Le procédé usuel consiste à placer sur un filtre humide un poids connu de poudre (de 2 à 5^g), et à lessiver complètement le

salpêtre en y versant à plusieurs reprises de petites quantités d'eau bouillante. On reçoit les premières parties de la dissolution dans une petite capsule de platine tarée, et les eaux de lavage dans un verre à précipité. On évapore avec précaution le liquide de la capsule, en y ajoutant de temps en temps des eaux de lavage, et l'on chauffe le salpêtre obtenu jusqu'à 280°.

Werther reçoit la lessive de salpêtre et les eaux de lavage dans une grande capsule de platine ; il évapore à sec et introduit le résidu, au moyen d'une spatule, dans une petite capsule de platine tarée qu'il ferme par un couvercle, place dans la grande capsule et chauffe jusqu'à 280°.

Dans cette méthode, il est à peu près impossible d'éviter le passage de particules fines de charbon à travers le filtre, à cause de l'emploi de l'eau bouillante qui agrandit les pores du papier, et le salpêtre obtenu présente une coloration brune plus ou moins prononcée. Aussi, dans ce cas, ne serait-il pas prudent de le faire fondre : à la température de 330°, il se produirait, en effet, une décomposition de petites quantités de nitrate, et le salpêtre redissous dans l'eau posséderait une réaction légèrement alcaline.

b) Procédé de Marchand.

Marchand cherchait à déterminer la teneur de la poudre en potasse, en la traitant dans un creuset de platine par un excès d'acide sulfurique, la température étant maintenue au-dessous de 200°. Au bout de quelques heures, tout le nitrate était décomposé : on évaporait à sec et l'on calcinait, pour transformer en sel neutre le sulfate acide de potasse ; 100 parties de sulfate de potasse correspondent à 116 de salpêtre.

Ce procédé n'est pas à recommander, car la matière entre presque inévitablement en déflagration, quand même tout le salpêtre paraîtrait décomposé.

c) Dosage volumétrique de l'azote.

La méthode qui consiste à doser volumétriquement l'azote contenu dans la poudre présente des garanties beaucoup plus sérieuses. On procède identiquement comme pour le dosage de l'azote dans les combinaisons organiques (*).

(*) Fresenius, *Analyse quantitative*, p. 597 sqq. et 624.

d) Dosage de l'acide azotique.

On peut aussi doser directement l'acide azotique par différents procédés, et spécialement par la méthode Schlösing, qui paraît donner les meilleurs résultats (*).

e) Procédé de Becker.

Pour déterminer rapidement la teneur en salpêtre, Becker a proposé une méthode fondée sur la détermination du poids spécifique de la dissolution nitrée. On dissout 400^{cc} de poudre dans 500^{cc} d'eau distillée bouillante, dont la densité a été préalablement déterminée; on fait refroidir exactement jusqu'à 14° R. et l'on remplace l'eau évaporée. La dissolution est filtrée, et l'on y plonge un aréomètre construit de telle sorte que chaque division corresponde à un taux de 0,5 p. 100 de salpêtre: il suffit alors, pour avoir le taux final, de prendre la moitié du chiffre indiqué par l'aréomètre.

Divers essais de ce procédé, exécutés par Marchand, n'ont pas donné de bons résultats, à cause de l'influence prépondérante de la température et aussi parce que les variations du poids spécifique de la dissolution, correspondant même à une différence de 2 p. 100 dans le taux de salpêtre, sont si faibles qu'il est impossible de les déterminer avec quelque précision.

f) Procédé d'Uchatins.

Ce procédé repose sur le même principe. On introduit dans un flacon 20^{cc} de poudre et environ 50^{cc} de limaille de plomb, on ajoute 200^{cc} d'eau de source au moyen d'une pipette jaugée, on ferme avec un bouchon de liège et l'on agite pendant 8 minutes. On filtre, et l'on porte 172^{cc} de la solution filtrée, placée dans un verre à précipité, à la température normale correspondant à l'eau employée. On y plonge alors un flotteur en verre, construit de façon à affleurer exactement la surface pour un taux de 75 p. 100 de salpêtre contenu dans la poudre, tandis qu'il suffit d'étendre la dissolution de 4 à 5 gouttes d'eau pour le faire tomber au fond. Suivant donc que le taux sera inférieur ou supérieur à 75 p. 100, on ajoutera, au moyen d'une pipette graduée, quelques gouttes d'une liqueur d'épreuve plus ou moins dense, jusqu'à ce qu'on obtienne l'affleurement exact du flotteur. —

(*) Fresenius, *loc. cit.*, p. 438 sqq.

Il faut, à chaque opération, déterminer la température normale à laquelle le flotteur et une dissolution de 15^{gr} de salpêtre dans 200^{cc} de l'eau employée auront le même poids spécifique.

On prépare la liqueur d'épreuve la plus concentrée en dissolvant 20^{gr} de salpêtre dans 200^{cc} d'eau ; une division de la pipette, contenant 7^{cc},017 de la liqueur, doit renfermer 0^{gr},160 de salpêtre pur et 6^{cc},857 d'une dissolution semblable à celle qu'on obtiendrait en traitant 20^{gr} d'une poudre normale à 75 p. 100 de salpêtre par 200^{cc} d'eau. Chaque division de la pipette que l'on ajoute montre que la poudre soumise à l'épreuve contient 1 p. 100 de salpêtre en moins que la poudre normale. — La liqueur la moins concentrée se prépare en dissolvant 10^{gr},184 de salpêtre dans 200^{cc} d'eau. Chaque division ajoutée indique un excès de 1 p. 100 sur le taux normal de 75 p. 100.

g) Procédé suédois.

En Suède, d'après une ordonnance de 1831, on arrose 15^{gr} de poudre avec 625^{cc} d'eau distillée ; on arrose de même 3 échantillons de salpêtre pur, dont les poids sont respectivement de 70, 75 et 80 p. 100 du poids de la poudre, avec des quantités d'eau égales ; puis on détermine les surcharges nécessaires pour immerger dans ces dissolutions une boule de verre creuse jusqu'à un trait de repère marqué sur la tige mince qui la surmonte. Les différences des poids ajoutés pour les 3 dissolutions nitrées indiquent la surcharge correspondant à 1 p. 100 de salpêtre, et l'on peut déduire de ceux que l'on ajoute à la dissolution soumise à l'épreuve le taux cherché du salpêtre.

Le gouvernement suédois recevant en partie la poudre de l'industrie privée, on détermine en même temps le taux de sel marin. A cet effet, on traite par l'azotate d'argent la dissolution filtrée obtenue avec 50^{gr} de poudre : le chlorure d'argent précipité est séché et pesé. Le poids obtenu, multiplié par 410, donne la quantité de sel marin contenue dans 50^{gr} de poudre : le produit ne doit pas dépasser 15^{gr}, ce qui correspond à $\frac{1}{10000}$ d'impuretés dans le salpêtre employé.

II. DOSAGE DU SOUFRE.

On peut doser directement le soufre libre, mais il est préférable de le transformer préalablement en acide sulfurique et de doser le sulfate produit.

A. A l'état de soufre libre.

a) Procédé de Berzélius.

Après avoir enlevé le salpêtre par dissolution, on fait sécher le mélange de soufre et de charbon sur le filtre, on le pèse et on l'introduit dans l'une des deux boules d'un tube à boules. On y fait passer un courant d'hydrogène sec, en chauffant jusqu'à ce que tout le soufre ait distillé dans la seconde boule. Après refoiissement dans une atmosphère d'hydrogène, on sépare les deux boules par un trait de lime, on les pèse séparément avec leur contenu, on les en débarasse, on repèse, et l'on en déduit les proportions relatives des deux substances. Comme le courant d'hydrogène emporte toujours un peu de soufre, Wöhler a proposé de remplacer la seconde boule vide par un long tube rempli d'un poids connu de tournure de cuivre, qu'on chauffe fortement et qui fixe le soufre volatilisé.

Un des inconvénients de cette méthode, commun à toutes celles où l'on pèse le mélange de soufre et de charbon après avoir lessivé le salpêtre, résulte de l'extrême difficulté que l'on éprouve à déterminer exactement le poids des substances introduites dans le tube à boules : à un état pareil de division, le charbon est, en effet, très-hygroscopique et condense toujours des quantités d'eau sensibles. Pour échapper à cette cause d'erreur, Marchand place le mélange dans un creuset de platine muni d'un couvercle fermant bien, et il laisse séjourner le creuset dans le vide au-dessus d'un vase contenant de l'acide sulfurique, jusqu'à ce que plusieurs pesées consécutives n'accusent plus de perte de poids. Le mélange une fois séché, il en introduit le plus possible dans un tube à boules pesé, puis il pèse ce qui reste sur le filtre après dessiccation dans le vide. De cette manière, on élimine à peu près complètement l'influence de l'air atmosphérique, mais on néglige une circonstance spéciale qui peut fausser absolument les résultats : quand on lessive le salpêtre, le charbon grimpe après le filtre, tandis que le soufre, en vertu de sa forte densité, tombe au fond et remplit la pointe du filtre ; si donc on ne fait pas un mélange intime avant l'introduction dans le tube, ce qui pourrait produire une perte de charbon à l'état de poussière, on opérera sur une matière ayant une composition différente de celle du résidu primitif.

Une autre cause d'erreur du procédé de Berzélius consiste en ce

que le soufre ne peut être complètement séparé du charbon, comme l'a démontré Proust. Ce chimiste suppose, sans raisons suffisantes, qu'il se forme un hyposulfite particulier ; peut-être, comme le croit Marchand, le soufre se combine-t-il avec le potassium contenu dans les cendres du charbon. Il est infiniment plus probable que le soufre s'unit aux particules métalliques que renferme la poudre, surtout quand les matières premières ont été triturées dans des tonnes avec des gobilles de bronze, qui, nous l'avons vu, s'usent avec une assez grande rapidité.

b) Procédé du sulfure de carbone.

Le sulfure de carbone dissout le soufre et laisse intacts le salpêtre et le charbon. On verse la poudre pulvérisée sur un filtre amorcé à l'alcool et placé dans un petit entonnoir à bords rodés avec plaque également rodée, on ajoute du sulfure de carbone, on bouche l'extrémité inférieure de l'entonnoir avec un bouchon de liège, on place le couvercle et on laisse digérer pendant 2^h ; on débouche alors l'entonnoir pour laisser écouler le liquide chargé de soufre, on ajoute du sulfure, on laisse digérer, on débouche de nouveau, et l'on recommence l'opération jusqu'à ce que quelques gouttes de la liqueur, évaporées sur une lame de platine, ne laissent plus de résidu. On dose le soufre recueilli comme il sera dit dans la description du procédé de Linck (p. 441).

Cette méthode, autrefois la seule employée en France, est aujourd'hui à peu près abandonnée pour les raisons suivantes : le sulfure de carbone est un réactif coûteux ; de plus, il grimpe contre les parois de l'entonnoir et tend à passer par dessus les bords. Enfin, l'épuisement complet de la matière est très-difficile, parce que la poudre renferme toujours, en petite quantité, une variété de soufre insoluble dans le réactif (p. 419).

B. A l'état de sulfate.

a) Procédé de Hermbstädt.

Un des plus anciens procédés de transformation du soufre en acide sulfurique est dû à Hermbstädt. Il consiste à mélanger la poudre pulvérisée avec son poids de salpêtre pur, à faire fondre un poids double de salpêtre dans un creuset de platine et à y jeter par

petites portions le mélange de salpêtre et de poudre. La déflagration terminée, le résidu est repris par l'eau et neutralisé par l'acide nitrique : on précipite alors l'acide sulfurique par le nitrate de baryte. Le poids du sulfate de baryte obtenu est proportionnel au poids de soufre contenu dans la poudre.

Il est difficile, dans cette méthode, d'éviter des pertes de matière résultant des projections que la poudre provoque en tombant sur le salpêtre fondu.

b) Procédé de Gay-Lussac.

Gay-Lussac mélange 5^{gr} de poudre avec le même poids de carbonate de potasse pur ; il y ajoute 5^{gr} de salpêtre et 20^{gr} de sel marin exempts de sulfates. Le tout ayant été broyé dans un mortier, il le chauffe d'une manière progressive dans un creuset de platine jusqu'à ce que la masse soit devenue blanche. Il la reprend par l'eau, acidifie avec de l'acide chlorhydrique et précipite l'acide sulfurique par le chlorure de baryum, ou traite la liqueur acidifiée par une solution titrée de chlorure de baryum, jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de trouble ; on sait que 152,63 parties de chlorure de baryum cristallisé correspondent à 20 parties de soufre.

Cette méthode est une des meilleures : si l'on a soin d'opérer un mélange intime de toutes les substances et de ne pas trop forcer le feu, on est sûr de retrouver dans le résidu à très-peu près tout le soufre de la poudre.

c) Procédé de Löwig.

Si l'on veut combiner à proportion l'acide sulfurique formé avec le baryum, on broie 1 partie de poudre avec 12 parties d'un mélange contenant 1 partie d'azotate de baryte pour 3 de carbonate, et l'on introduit le tout dans un tube à analyse, où l'on ajoute une colonne de 0^m,08 à 0^m,09 du mélange des sels de baryte. On chauffe le tube dans un four à combustion ; la masse suinte, sans fondre, de sorte qu'on peut facilement la recueillir après refroidissement. On la fait bouillir avec de l'acide chlorhydrique étendu, et l'on recueille sur un filtre le sulfate de baryte formé.

d) Procédé de Millon.

D'après Millon, on introduit dans un ballon 3^{gr} de poudre séchée, avec 33^{gr} d'acide nitrique pur concentré et 6^{gr} de chlorate de potasse

pur. On chauffe le ballon, et, quand les gaz ont cessé de se dégager, on ajoute une pincée de chlorate de potasse, opération qu'on renouvelle jusqu'à ce que la liqueur soit devenue jaunâtre et parfaitement limpide; on a soin de remplacer le liquide évaporé par un peu d'acide nitrique. Le contenu du ballon est ensuite versé dans un vase à précipité préalablement chauffé, et on lave le ballon à l'eau chaude jusqu'à ce que les dernières eaux de lavage ne donnent plus de trouble par le chlorure de baryum. On traite alors par le chlorure de baryum et l'on procède comme d'habitude.

Ure remplace à tort l'acide nitrique par l'acide chlorhydrique: les gaz se dégagent tumultueusement et la masse se boursoufle, ce qui oblige à employer de très-grands ballons; en outre, l'oxydation est beaucoup plus lente.

Le procédé de Millon a l'inconvénient de ne donner qu'une oxydation assez lente du soufre: celui-ci commence, en effet, par fondre et se trouve projeté par petits grumeaux à la surface de la liqueur, en n'offrant ainsi que peu de points de contact au chlorate de potasse. Un inconvénient plus sérieux encore résulte de ce qu'à côté du sulfate de baryte le filtre retient du nitrate de baryte et du chlorate de potasse, très-difficiles à enlever par des lavages. Dans ce cas, il faut sécher le précipité, brûler le filtre et calciner, ce qui transforme le chlorate de potasse en chlorure de potassium, faire digérer avec de l'acide chlorhydrique, laver avec soin sur un petit filtre, et calciner de nouveau après avoir brûlé le filtre.

e) Procédé de Bottée et Riffault.

Le principe est le même. Après avoir enlevé le salpêtre par un lessivage, on fait sécher avec précaution à un feu doux le mélange de soufre et de charbon qui reste sur le filtre pesé, on le repèse encore chaud, on l'introduit dans un ballon à l'aide d'un couteau d'ivoire et on l'arrose avec une solution de potasse à 5° B. On fait bouillir pendant quelques minutes, on filtre la liqueur encore bouillante, on lave le ballon avec un volume de la solution potassique double de celui qu'on a employé, et on lave à l'eau chaude le résidu restant sur le filtre. Dans la dissolution étendue de soufre et de potasse on fait passer un courant de chlore gazeux, qui transforme le soufre en acide sulfurique, et ce dernier est précipité par le chlorure de baryum.

Cette méthode est peu employée. Le sulfure de potassium formé

se décompose rapidement au contact de l'air, et l'on perd un peu de soufre à l'état d'hydrogène sulfuré. En outre, le charbon roux est en partie soluble dans la potasse, et l'on dose ainsi le soufre par excès. Enfin, la pesée du mélange encore chaud n'offre aucune garantie de précision.

f) Procédé de Rivot.

Ce procédé, qui offre la plus grande analogie avec le précédent, en évite les principales causes d'erreur. On fait bouillir pendant 1/2 heure dans un ballon le mélange de charbon, de soufre et de potasse en excès, puis on fait passer dans la liqueur un courant rapide de chlore : l'oxygène naissant se porte sur le soufre et sur le charbon, qu'il oxyde. Dès que la liqueur est décolorée, on arrête l'ébullition, on acidifie avec l'acide chlorhydrique, on étend de 0,5 d'eau et l'on traite par le chlorure de baryum.

L'inconvénient de cette méthode est de donner des écumes et des bouillonnements, qui obligent à opérer dans d'assez grands ballons.

g) Procédé de Cloez et Guignet.

L'oxydant est ici du permanganate de potasse. On fait bouillir dans un petit ballon 1^{er} de poudre séchée avec une solution concentrée de permanganate de potasse, en ajoutant de temps à autre quelques pincées de ce sel, jusqu'à ce que la liqueur ait pris une teinte violette permanente. Pour chasser le peroxyde de manganèse qui se trouve en suspension, on ajoute de l'acide chlorhydrique concentré, et l'on fait bouillir jusqu'à dissolution complète du peroxyde et expulsion du chlore. On étend alors la liqueur et l'on traite par le chlorure de baryum.

Cette méthode donne des résultats satisfaisants.

III. DOSAGE DU CHARBON.

On peut doser le charbon soit à l'état de carbone libre, soit à l'état d'acide carbonique.

A. A l'état de carbone libre.

Si l'on dose le charbon à l'état libre par l'un des procédés suivants, il faudra toujours essayer, d'après l'une des méthodes de

l'article précédent, si le résidu ne renferme pas de soufre, et, dans le cas où l'on en trouverait, doser cet élément sur une portion de résidu. Le charbon une fois obtenu, on pourra en reconnaître la nature soit en le traitant par une lessive de potasse, qui dissout partiellement le charbon roux (p. 163), soit en en soumettant une portion à l'analyse organique élémentaire (p. 440).

a) Procédé de Beaumé.

Cette méthode, la première qui ait été proposée pour le dosage du charbon dans la poudre (1780), est un peu grossière. Elle consiste à placer la poudre sur un filtre séché et pesé, à enlever le salpêtre par dissolution, puis à sécher et peser le résidu sur le filtre : le soufre est alors enlevé par une simple combustion de la masse, et l'on détermine le poids du charbon restant, qu'on diminue de $1/42$ à cause du soufre qu'il peut encore retenir.

b) Par une lessive de potasse.

Dès 1821, on connaissait le procédé qui consiste à faire bouillir le résidu de soufre et de charbon avec une lessive de potasse, qui doit dissoudre le soufre, et à filtrer et laver jusqu'à ce que l'acétate de plomb ne trouble plus les eaux de lavage : le charbon est alors séché et pesé.

Nous avons vu (p. 163) qu'une partie du charbon roux se dissout dans la lessive de potasse en lui donnant une coloration brune; en outre, la potasse est difficile à séparer du charbon, qui retient ainsi de petites quantités de soufre. A ce dernier point de vue, on n'obtient pas de meilleurs résultats en remplaçant la lessive de potasse par des sulfures de sodium, de potassium ou d'ammonium.

c) Par le sulfure de carbone.

Nous avons vu également (p. 434) que le sulfure de carbone laisse toujours un peu de soufre dans le résidu. On s'expose à des erreurs plus graves encore si, comme l'avait d'abord proposé Marchand, on fait les derniers lavages à l'alcool absolu : d'après les observations de Werther, si l'on opère sur du charbon au rendement de 28 p. 100, l'alcool chaud possède la propriété de s'assimiler en partie les éléments de ce corps; on aurait alors un dosage par défaut.

d) Procédés de Bolley et d'Ure.

Bolley a essayé de remplacer le sulfure de carbone par du sulfite de soude qui, en présence du soufre, se transforme en hyposulfite. On fait bouillir pendant 1 ou 2 heures le résidu de soufre et de charbon séché et pesé avec 20 à 24 parties de sulfite de soude, en remplaçant à proportion l'eau évaporée; puis on filtre, on lave on sèche et l'on pèse. — Le charbon retient toujours des quantités notables de sel, qu'il est impossible de lui enlever par des lavages.

L'essence de térébenthine, proposée par Ure, reste encore plus adhérente au charbon.

e) Procédé de Bromeis.

La méthode de Bromeis donne de meilleurs résultats. On assujettit, par un bouchon de liège fermant bien, un petit entonnoir dans le col d'un petit ballon, on place sur le filtre le mélange de soufre et de charbon parfaitement séché, on l'arrose de photogène chauffé jusqu'à 120 ou 140°, et l'on recouvre l'entonnoir d'une plaque de verre: le soufre fond aussitôt et se dissout dans l'huile. Au bout de 5 minutes, on dégage légèrement le bouchon, et la liqueur tombe dans le ballon. On lave à plusieurs reprises le filtre avec du photogène, on le comprime entre deux feuilles de papier gris et on le sèche à 100° au bain-marie; on lui enlève ainsi, au bout de 1/2 heure, toute odeur de photogène. On pèse ensuite le résidu de charbon, qui se trouve complètement débarrassé du soufre.

f) Procédé de Fresenius.

La méthode recommandée par Fresenius est la suivante: on fait digérer à plusieurs reprises un poids connu de poudre avec du sulfhydrate d'ammoniaque, jusqu'à ce que tout le soufre soit dissous; on rassemble le résidu sur un filtre séché à 100° et taré, on le lave d'abord avec de l'eau contenant un peu de sulfhydrate d'ammoniaque, puis avec de l'eau pure; on sèche à 100° et l'on pèse.

Nous avons vu (p. 438) que le charbon retient toujours un peu de réactif.

B. A l'état d'acide carbonique.**a) Procédé direct.**

Lorsque la poudre a été fabriquée avec du charbon noir fortement calciné, il suffit de doser le carbone qu'elle contient, et l'on peut faire cette détermination directement sur la poudre même au moyen de l'appareil dont on se sert ordinairement pour le dosage des carbonates (*). Il suffit de placer la poudre dans le ballon avec de l'acide sulfurique étendu et un peu de chlorate ou plutôt de bichromate de potasse.

b) Analyse organique élémentaire.

Si la poudre contient du charbon roux dont on veut déterminer la composition, il faut procéder à une véritable analyse organique élémentaire.

On prend 3^{gr} de poudre, qu'on épuise par le sulfure de carbone ou le sulfhydrate d'ammoniaque, puis par l'eau bouillante. On sèche le résidu à 100° et on le pèse; pour chasser toute l'eau hygrométrique, on le sèche de nouveau à 190°, d'après Weltzien, et, s'il éprouvait par là une nouvelle perte, on pourrait la calculer pour 100 de poudre, afin de la retrancher du poids total de charbon et de l'ajouter à l'humidité, dans le cas où l'on aurait à faire ce dernier dosage (p. 428). On introduit la majeure partie du résidu préalablement pesée dans une nacelle de platine, et on la soumet au procédé d'analyse des matières organiques sulfurées (**). On détermine ainsi le carbone, l'hydrogène, l'azote et les cendres. L'oxygène est dosé par différence, mais on en retranche le poids du soufre retenu par le charbon, poids que l'on détermine sur le restant de l'échantillon (0^{gr},5 environ).

Si l'on se sert de l'oxyde de cuivre comme source d'oxygène, il ne faut pas oublier de placer entre le tube à chlorure de calcium et le tube à potasse un tube contenant du peroxyde de plomb, destiné à retenir l'acide sulfureux.

Weltzien fait précéder l'oxyde de cuivre d'une colonne de tour-

(*) Fresenius, *loc. cit.*, p. 378-380.

(**) Fresenius, *loc. cit.*, p. 613-619.

nure de cuivre ayant 0^m,1 de longueur. D'après ce chimiste, si l'on prend pour l'analyse de la poudre séchée à 100°, on dose toujours l'acide carbonique par défaut, parce qu'il se forme du carbonate de potasse qui reste dans le tube à combustion; aussi est-il préférable d'opérer sur du charbon débarrassé du salpêtre et du soufre le plus complètement possible, de le sécher et de le brûler avec du chromate de plomb, en faisant passer un courant d'oxygène vers la fin de l'opération.

On peut déterminer très-simplement la teneur du charbon en cendres, en en calcinant environ 1^g dans un creuset de platine, jusqu'à ce que deux pesées consécutives n'accusent plus de différence de poids.

§ III.

DÉTERMINATION SIMULTANÉE DES ÉLÉMENTS.

PROCÉDÉ DE LINCK.

Au moyen du bouchon *b* (fig. 43), on fixe le tube *a*, qui a servi au dosage de l'humidité (p. 428), dans le goulot d'un petit ballon *c* d'environ 24^{cc} de capacité; on verse sur la poudre du sulfure de carbone parfaitement rectifié, qui ne tarde pas à couler limpide dans le ballon *c*. Quand, en répétant ce lavage, le ballon est rempli à peu près au tiers, on le chauffe dans de l'eau à 70 ou 80°, pour distiller le sulfure de carbone qu'on reçoit dans le récipient sec *d*; ce liquide distillé sert à de nouveaux lavages. Après avoir ainsi répété six fois ce lavage avec 8^{cc} de sulfure de carbone chaque fois, tout le soufre extractible a été enlevé à la poudre. On chauffe avec précaution, presque jusqu'à fusion, celui qui se trouve dans le petit ballon, on chasse par un courant d'air sec la vapeur de sulfure de carbone, et l'on pèse le ballon après refroidissement.

Pour voir si la poudre contient encore du soufre, on réunit le tube *a* à un aspirateur, et l'on y fait passer un courant d'air sec chauffé à 100°, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de perte de poids. La différence que l'on trouve entre le poids actuel et le poids primitif de la poudre simplement séchée donne le poids du soufre enlevé, plus la petite quantité d'eau que la poudre séchée à 100° perd de

plus qu'à la température ordinaire. On obtient cette dernière en retranchant de cette différence le poids du soufre obtenu directement, et l'on ajoute le résultat à l'humidité déjà trouvée (p. 429).

Fig. 43.



Pour doser la petite quantité de soufre qui reste dans la poudre, on en retire une faible portion (0^r,5 à 0^r,7) du tube, que l'on pèse de nouveau, ce qui fait connaître à la fois le poids de la partie sur laquelle on va opérer et celui de la partie qui reste dans le tube. On oxyde la première avec de l'eau régale, on évapore avec de l'acide chlorhydrique, on dose l'acide sulfurique en le précipitant avec le chlorure de baryum, et, après avoir calculé la quantité de soufre correspondante, on la rapporte au poids total. La petite proportion qu'on obtient ainsi (environ 0,11 p. 100, suivant Linck) est ajoutée à ce qu'on a trouvé directement.

Dans la poudre épuisée par le sulfure de carbone et restant dans le tube, on dose le salpêtre. Pour cela, on fixe le tube *a* (fig. 44).

enveloppé du vase *d*, sur le récipient tubulé d'une machine pneumatique *b*, en ayant soin que le tube en caoutchouc *e* ferme hermétiquement. On verse dans *a* de l'eau froide, et, en donnant très-

Fig. 44.



lentement un coup de piston, on fait couler goutte à goutte le liquide dans le ballon *c*. Pour empêcher le salpêtre de cristalliser à la pointe du tube *a*, on renouvelle cette opération avec de l'eau de plus en plus chaude, jusqu'à ce qu'on la prenne à la température la plus élevée qu'on pourra, et l'on aura soin que le vase *d* soit rempli d'eau aussi chaude que celle qu'on versera dans le tube. De cette façon, 18 à 24^o d'eau suffisent pour dissoudre tout le salpêtre de 2^r de poudre, et l'on évite ainsi d'enlever au charbon, en employant une plus grande quantité d'eau, une proportion notable de matières organiques.

On évapore la dissolution de salpêtre dans un creuset de platine, on sèche le résidu à 120^o, on le pèse, et l'on calcule le résultat pour le poids total de poudre.

Pour rendre le tampon d'asbeste moins compacte, on le tire un

peu avec un fil de platine; puis on sèche le résidu de charbon à 100° dans un courant d'air sec. Si le poids du charbon est un peu plus élevé que la différence entre le poids du mélange de salpêtre et de charbon et celui du salpêtre trouvé directement, c'est parce que le charbon pur retient plus fortement l'eau que quand il est mélangé avec de l'azotate de potasse. Cette petite différence (0",001 à 0",0015) doit être considérée comme de l'eau adhérente au charbon, et il faudra la retrancher de l'eau qu'on trouvera, si l'on fait l'analyse élémentaire du charbon.

Pour brûler le charbon, on le mélange dans le tube avec un peu de chromate de plomb, on coupe la pointe, on mélange le tampon d'asbeste avec la masse, de façon qu'un courant d'air puisse facilement circuler; on introduit le tout dans un tube à combustion convenablement disposé et renfermant de la tournure de cuivre oxydée, puis on achève la combustion comme à l'ordinaire dans un courant d'oxygène (*). On calcule ensuite sur la masse totale le carbone, l'oxygène et l'hydrogène, ainsi que la petite quantité de cendres.

(*) Fresenius, *loc. cit.*, p. 384-388.

CHAPITRE III.

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA POUDRE.

Nous décrirons d'abord, dans ce chapitre, les phénomènes généraux de l'inflammation et de la combustion de la poudre. Nous étudierons ensuite ce qui se rapporte à la pression intérieure développée par les gaz, à la force et au potentiel de la poudre. Enfin, nous donnerons les formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes à feu, déduites des principes généraux de la thermo-dynamique.

§ I.

INFLAMMATION.

I. CONDITIONS DE L'INFLAMMATION.

L'inflammation de la poudre peut se produire soit par le choc, soit par une élévation de température, soit par le contact de corps enflammés ou de corps en ignition. Dans tous les cas, l'état physique de la matière exerce, comme nous le verrons (p. 449), une influence considérable sur la rapidité du phénomène.

a) Par le choc.

Les expériences d'Aubert, de Lingke et de Lampadius ont établi que l'inflammation de la poudre se produit par le choc de fer sur fer, de fer sur laiton, de laiton sur laiton, moins facilement par le

choc de fer sur cuivre ou de cuivre sur cuivre. D'après des expériences anglaises, la poudre s'enflamme encore par le choc de bronze sur cuivre, de fer sur marbre, de quartz sur quartz, de plomb sur plomb et de plomb sur bois (par exemple, en envoyant une balle de plomb sur un pendule en bois recouvert de poudre). L'explosion se produit très-rarement par le choc de cuivre sur bois, et jamais par le choc de bois sur bois. L'interposition d'une simple feuille de papier ou d'un gravier entre les deux corps soumis au choc suffit pour favoriser l'inflammation.

Des expériences exécutées au Bouchet, en 1852, au sujet des dangers d'explosion que présentent les usines à meules, ont donné les résultats suivants. En faisant tourner une meule en fonte sur une piste en fonte à la vitesse de 20 tours par minute et en interposant soit de la poudre, soit des morceaux de galette dure, avec des morceaux de fer ou de cuivre ou avec des tasseaux en sapin, on n'a jamais produit d'explosion ; mais la poudre s'enflammait immédiatement par l'interposition d'un peu de matière siliceuse suffisamment fine, d'un morceau de verre à vitre, de cristal ou de brique ; les plâtras ne donnaient rien. Enfin, une meule en bronze, roulant sur une piste en bois, n'a produit qu'au bout de 5 000 tours l'explosion d'une petite quantité de poudre mélangée de 20 p. 100 de matière siliceuse.

b) Par une élévation de température.

Des expériences récentes de Horsley ont fixé la température d'inflammation de la poudre à $315^{\circ} \frac{5}{9}$. Pour faire cette détermination, Horsley place la poudre dans une petite capsule sur un bain d'huile où plonge un thermomètre.

Leygue et Champion ont proposé une autre méthode (1871), fondée sur la loi de répartition de la chaleur le long d'une barre métallique dont on chauffe l'une des extrémités. La barre était en cuivre et avait $0^{\text{m}},025$ de diamètre sur $0^{\text{m}},60$ de longueur : à des intervalles égaux étaient pratiquées de petites cavités, remplies d'huile ou d'un alliage Darcet, dans lesquelles plongeait un thermomètre destiné à indiquer la température intérieure de la barre ; ces cavités se succédaient tous les décimètres à partir de l'extrémité froide de la barre. Dès que la température des thermomètres était devenue constante, on plaçait sur la barre les substances soumises à l'épreuve, et on les rapprochait peu à peu de la source de chaleur, jusqu'à la division

où elles éprouvaient la modification voulue (décomposition ou inflammation). Un écran, interposé entre l'appareil et la source de chaleur, éliminait l'influence de la chaleur rayonnante sur la température de la barre. — Par cette méthode, Leygue et Champion ont enflammé la poudre de chasse à 288°, et la poudre à canon à 295°. D'après ces auteurs, si l'on élève progressivement la température de la poudre au-dessus du point d'ébullition de l'eau, les grains se collent les uns aux autres par suite de la fusion du soufre, et celui-ci commence à entrer en vapeurs. Si l'on élève encore la température, la vaporisation du soufre se poursuit très-rapidement, et, si l'on a soin de ne pas monter jusqu'à la température d'ébullition de ce corps, on peut ainsi chasser tout le soufre sans produire l'explosion de la poudre.

Violette a également déterminé les températures d'inflammation des diverses poudres, en opérant successivement sur des matières en grains anguleux et sur des matières pulvérisées : à cet effet, il projetait la poudre à la surface d'un bain d'étain, dans lequel plongeait la boule d'un thermomètre. Il a ainsi obtenu les résultats suivants :

ESPÈCE DE POUDRE.	TEMPÉRATURE D'INFLAMMATION.	
	Poudre en grains anguleux.	Poudre pulvérisée.
Mine.....	270°	265°
Coarce.....	276	266
Chasse fine.....	280	268
Chasse extrafine.....	320	270

Violette attribue à l'influence du dosage la divergence des températures d'inflammation des poudres en grains anguleux : dans cette hypothèse, on s'expliquerait difficilement que cette influence devint à peu près nulle pour les matières pulvérisées, et que la poudre de chasse extrafine, faite à 9 p. 100 de soufre et avec du charbon très-roux, fût notablement moins inflammable que la poudre de chasse fine, dont le charbon était noir et qui contenait 10 p. 100 de soufre. Il paraît plus naturel d'admettre que les poudres les moins inflammables sont celles dont la trituration est la plus parfaite : l'enveloppe de salpêtre, qui s'est graduellement déposée sur les

particules de soufre et de charbon, les garantit d'autant mieux de l'inflammation que la trituration a été plus prolongée, et, s'il ne survenait ni éclatement ni fusion de cette enveloppe, la déflagration ne se produirait pas avant 400°, température de décomposition du salpêtre par le charbon (p. 164). Pour les poudres mal triturées, au contraire, et surtout pour les poudres détériorées par la pulvérisation, les températures observées se rapprochent de 250°, température d'inflammation du soufre à l'air libre (p. 119).

c) Par le contact de corps enflammés.

Les corps enflammés ne produisent l'explosion de la poudre que s'ils sont portés à une haute température.

Une flamme gazeuse peut rester au contact de la poudre pendant quelques secondes sans en provoquer la déflagration. Du coton-poudre, enflammé au-dessus d'une couche de poudre en grains lissés, la laisse intacte, à cause de l'excessive rapidité de sa combustion. De l'amadou n'enflamme la poudre que par le contact prolongé du charbon incandescent.

d) Par le contact de corps en ignition.

Le mode d'inflammation le plus pratique de la poudre consiste à la mettre au contact de corps en ignition. Nous insisterons particulièrement, à ce sujet, sur l'emploi de l'électricité.

L'étincelle de la machine électrique ne peut provoquer l'inflammation de la poudre que si la décharge est retardée par l'interposition d'un corps mauvais conducteur, ce qu'on réalise, dans les essais de laboratoire, en plaçant dans le circuit une simple ficelle mouillée; on a, depuis peu, fabriqué des cartouches spéciales, destinées à produire rapidement et sûrement l'explosion des charges de poudre par ce procédé. On attache, dans les opérations militaires, une assez grande importance à ce mode d'inflammation, parce que la machine électrique est d'un transport et d'un manie-ment plus faciles que les appareils à électricité galvanique. Toutefois, au point de vue de la sûreté des opérations, la batterie de Volta semble préférable à la machine électrique, car, d'après des expériences exécutées à Chatham, celle-ci ne peut fonctionner que dans une atmosphère chaude et sèche, tandis que la batterie se conserve parfaitement par les temps de pluie et de neige. Les premiers essais

d'application de l'électricité galvanique à l'inflammation de la poudre furent faits en 1838, à Philadelphie, par le docteur Hare.

Le contact d'un fil fin de platine ou de fer, rougi par le passage du courant, suffit également pour provoquer l'inflammation. Mais, s'il s'agit de produire simultanément en plusieurs points l'explosion de mines différentes, comme il est arrivé, par exemple, pour la roche du Round-Down, dite *roche de Shakespeare*, où l'on fit sauter en un coup 1 000 000 de tonnes de roche carbonatée par l'explosion de 9000^r de poudre, on ne peut se servir que de forts courants d'induction, tels que ceux de la bobine de Rhumkorff.

II. VITESSE D'INFLAMMATION.

La vitesse d'inflammation d'une charge de poudre dépend essentiellement de la pression exercée à l'intérieur de la charge : de nombreuses expériences ont montré que l'inflammation ne se propage pas dans le vide. Nous insisterons sur ce point à propos de la vitesse de combustion (p. 457).

a) A l'air libre.

Piobert a étudié l'influence de divers éléments sur la vitesse d'inflammation de la poudre à l'air libre, au moyen de demi-cylindres creux en fer, ayant 20^{mm}, 14^{mm} et 10^{mm} de diamètre, qu'il a successivement remplis, pour chaque échantillon, de 120^r, 60^r, 30^r et 15^r de poudre par mètre courant de longueur.

Il est ainsi arrivé aux conclusions suivantes :

1° La poudre en poussier brûle beaucoup plus lentement que la poudre en grains.

2° La vitesse d'inflammation des traînées de grains de différentes grosseurs est, à très-peu près, en raison inverse des racines quatrièmes des diamètres de ces grains, pour toutes les espèces de poudre, et varie, pour les anciennes poudres de guerre, de 1^m,48 à 3^m,40 par seconde.

3° La rapidité d'inflammation est moins grande pour les poudres à charbon roux que pour les poudres à charbon noir, pour les poudres lissées et denses que pour les poudres non lissées et légères.

4° Le dosage et la durée de la trituration paraissent sans influence appréciable.

5° Les poudres conservées pendant plus d'un siècle semblent n'avoir rien perdu de leur inflammabilité.

b) Dans des tubes résistants.

Piobert a également étudié la vitesse d'inflammation de la poudre dans des tubes fermés par une de leurs extrémités. Il se servait d'un canon placé verticalement, dont la longueur d'âme était de 0^m,433 et le calibre de 0^m,019 : la poudre y était versée lentement et légèrement tassée, puis on mettait le feu à la bouche du canon.

Divers essais exécutés sur les poudres de guerre et de chasse des pilons ont donné les résultats suivants :

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	POUDRES DE GUERRE				POUDRE de chasse supérieure.
	à canon.	à mousquet.	grains fins.		
Diamètre des grains en millimètres.	2,5 à 1,4	1,4 à 1,0	1,4 à 0,6	0,6 à 0,4	0,5 à 0,3
Nombre de grains au gramme. . .	259	1696	2466	3166	30000
Densité gravimétrique.	0,861	0,817	0,835	0,804	0,914
Densité gravimétr. dans le canon.	0,890	0,875	0,875	0,852	1,030
Durée de la combustion.	0 ^m ,3	0 ^m ,5	0 ^m ,5	0 ^m ,9	1 ^m ,5
Vitesse d'inflammation.	1 ^m ,517	0 ^m ,910	0 ^m ,910	0 ^m ,503	0 ^m ,303

La grosseur des grains paraît donc faciliter l'inflammation de la poudre dans les tubes fermés. Piobert a, en outre, constaté que les poudres des meules à charbon roux, et surtout celles dont les grains étaient généralement plats, ont un désavantage marqué au point de vue de la vitesse d'inflammation.

Pour ce qui se rapporte aux moyens d'empêcher l'inflammation de la poudre par l'interposition de poussier ou d'autres substances pulvérisées, nous renvoyons à ce que nous en avons dit plus haut (p. 327).

III. PROCÉDÉS D'INFLAMMATION.

Nous avons vu (p. 448) qu'on se sert le plus souvent, pour enflammer la poudre, soit de l'étincelle électrique, soit d'un fil de platine

ou de fer porté au rouge par le passage du courant; ce dernier procédé tend à devenir d'un usage général. Souvent aussi l'effet calorifique est produit par le passage de l'électricité à travers un mélange chimique rendu conducteur par l'addition d'un sel de cuivre. De là les différents types de fusées électriques, qui seront décrits dans la troisième partie de ce traité.

Pour les ouvrages considérables, et notamment pour les sautages à effectuer sous l'eau, qui exigeaient autrefois l'emploi du potassium, on a fabriqué des cartouches spéciales en caoutchouc vulcanisé, renfermant du fulminate de mercure : les extrémités du fil qui y plongent sont écartées de 0^m,002. La petite cartouche qui contient le fulminate est ouverte sur un côté, remplie de bonne poudre et entourée d'une cartouche plus grande en caoutchouc vulcanisé, également remplie de poudre. Le courant électrique est transmis à l'ensemble du système par deux gros fils, reliés à des fils plus fins qui aboutissent aux différentes cartouches à travers les puits et les galeries de la mine.

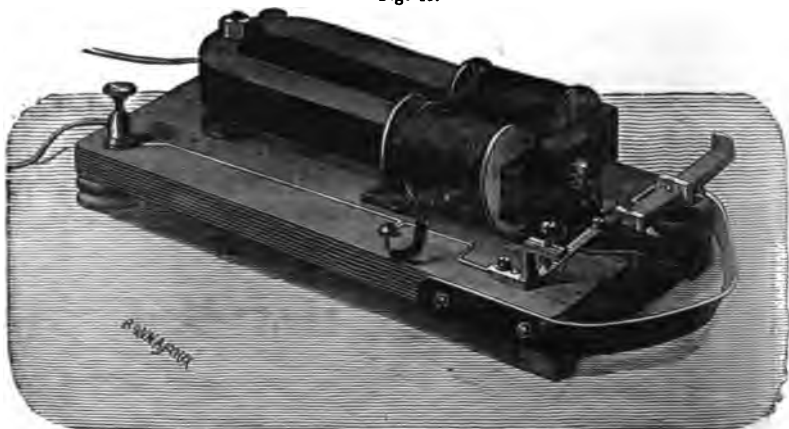
Pour les travaux de moindre importance, on se sert aussi, concurremment avec les procédés électriques, de mèches Bickford qui brûlent avec une vitesse déterminée (1 ou 5^m par minute). Certains types de mèches Bickford, enveloppées de gutta-percha, peuvent sans inconvénient être placés dans des flaques d'eau.

Quant aux sources d'électricité, nous avons cité la bobine d'induction de Rhumkorff, qui est l'une des plus puissantes : pour la plupart des ouvrages militaires, on a intérêt à se servir d'appareils moins puissants et plus portatifs. Nous décrirons, à ce sujet, l'exploseur magnéto-électrique de Bréguet (*fig. 45*).

Cet appareil, dit *coup de poing*, se compose d'un fort aimant, sur les deux branches duquel sont fixées deux bobines d'induction; une armature, toujours au contact des pôles de l'aimant, est portée par une pièce de laiton qui pivote autour d'un axe horizontal. Cette pièce présente un manche et un bouton ou tampon, sur lequel on frappe du poing pour produire l'arrachement de l'armature; un ressort ramène celle-ci au contact des pôles. L'arrachement de l'armature a pour effet de rapprocher les pôles des extrémités de l'aimant et de produire un courant d'induction dans le fil enroulé sur les bobines. **Mais il y a avantage à ne se servir que de l'extra-courant produit dans le circuit, au moment de sa rupture, par l'induction du courant induit qui le traversait; cet extra-courant est de même sens**

que le courant qui l'a produit, mais sa tension est beaucoup plus considérable. A cet effet, on a disposé sur le manche de l'armature un ressort, qui appuie sur l'extrémité d'une vis pendant une partie

Fig. 45.



du déplacement de l'armature et ne s'en détache que vers la fin du mouvement; au ressort et à la vis aboutissent les deux extrémités du fil des bobines. Tant que le contact de ces deux pièces dure, le circuit est fermé sur lui-même; dès qu'il est rompu, le courant d'induction et surtout l'extra-courant qui se produit dans le petit circuit sont envoyés sur la ligne. Un verrou peut se glisser sous le manche de l'armature quand l'appareil n'est pas en expérience. — Un exploseur destiné à faire partir 5 amorces à la fois ne pèse que 7^l.5: les amorces offrant une résistance minimum de 8000 kilomètres de fil de fer de 4^m, chacune d'elles peut faire explosion dans un circuit de 32 000 kilomètres. On est ainsi arrivé à faire sauter des amorces de Paris à Rouen et même de Paris à Bordeaux (585 kilomètres).

A l'égard du tir des cartouches dans le fusil d'infanterie, on s'est souvent demandé s'il était préférable d'enflammer la charge en dessus, c'est-à-dire immédiatement en arrière du projectile, ou en dessous. Ce dernier mode d'inflammation, qui était autrefois généralement adopté, fut abandonné, en Prusse, au moment de la création des fusils à aiguille : l'aiguille était poussée par un ressort, à travers la poudre, dans l'amorce qui se trouvait entre la balle et la charge. La poudre est ainsi brûlée sur toute sa longueur de l'avant à l'arrière, tandis que, par une disposition inverse, une

partie notable de la charge pourrait être projetée hors de l'arme avant d'avoir été enflammée. Malgré cet avantage incontestable, on est revenu, pour les fusils prussiens du nouveau modèle, à l'ancien mode d'inflammation de la charge en dessous, qui est également le seul usité en France.

§ II.

COMBUSTION.

I. CIRCONSTANCES DE LA COMBUSTION.

L'inflammation de la poudre en détermine la combustion, quelquefois accompagnée d'explosion.

Si l'on enflamme sur du papier blanc de la poudre en grains peu denses et dont les composants ont été intimement mélangés, telle, par exemple, que les anciennes poudres de guerre, une vive déflagration se produit, et il s'élève une sorte d'épaisse fumée qui répand une odeur caractéristique de soufre et d'hydrogène sulfuré. Il ne doit pas rester de résidu sur le papier. Si l'on remarque des taches noires, c'est que la poudre contenait un excès de charbon ou du charbon mal trituré. Si les taches sont jaunes, la conclusion s'appliquera au soufre. Si l'on retrouve des grains non brûlés, cela peut indiquer soit un mélange imparfait des matières, soit l'impureté du salpêtre. Le papier ne doit pas non plus présenter de trous : la poudre serait alors ou trop humide ou de mauvaise qualité.

La combustion de la poudre en vase clos s'effectue sans aucun bruit; elle donne lieu à une production de gaz et à un dépôt de produits solides, qu'on peut recueillir en ouvrant le vase.

L'explosion proprement dite ou la détonation de la poudre se produit toutes les fois que la combustion s'effectue dans un récipient dont l'une des parties au moins ne présente pas une résistance suffisante à l'expansion des gaz qui en résultent.

II. VITESSE DE COMBUSTION.

La poudre brûle avec une vitesse qui dépend essentiellement de la pression sous laquelle s'effectue la combustion. Nous examinerons

d'abord l'influence de divers éléments sur la vitesse de combustion à l'air libre ou sous pression constante, puis nous étudierons la loi de combustion de la poudre sous pression variable.

A. Sous pression constante.

On doit à Piobert une série d'expériences sur la combustion de la poudre à l'air libre. La matière était réduite en prismes de longueur connue placés verticalement, dont les faces latérales étaient enduites de suif ou de saindoux. Ces précautions assuraient la régularité de la combustion, dont on observait la durée à l'aide d'un chronomètre à pointage de Bréguet, donnant le dixième de seconde: comme on mesurait des durées de 10 à 20 secondes, l'approximation obtenue était de $1/100$ à $2/100$.

Les vitesses ainsi observées ont varié de 8 à 17^m par seconde, avec une valeur moyenne de 10 à 13^m : celles des poudres de chasse étaient de 8 à 9^m et celles des poudres de guerre de 10 à 13^m. Aujourd'hui, la vitesse de combustion des poudres à gros grains de Wetteren est de 10 à 13^m par seconde, et celle des poudres de Sévran varie de 12 à 15^m.

Piobert a d'abord établi les trois propositions suivantes :

1° *Pour une galette déterminée, la combustion est uniforme.* La durée de la combustion d'un prisme est, en effet, proportionnelle à sa longueur.

2° *La durée de la combustion d'un prisme est indépendante de sa section.* De là résulte l'uniformité de la combustion pour un grain à surface courbe.

3° *Toutes choses égales d'ailleurs, la vitesse de combustion est en raison inverse de la densité.* Le produit de la vitesse de combustion v par la densité réelle δ est ainsi une constante caractéristique C de la poudre, définie par la relation :

$$v\delta = C.$$

Les constantes C mesurent ainsi les vitesses de combustion de différentes poudres ramenées à une même densité. Les densités des galettes employées étaient comprises entre 1,400 et 1,800; dans ces limites, il semble que la vitesse varie encore plus rapidement que ne l'indique la loi précédente.

Piobert a ensuite exécuté un grand nombre d'essais sur des

poudres de dosages différents, dans lesquels il faisait varier à la fois la nature du charbon, le procédé de fabrication, la durée de trituration des matières et le mode de séchage. Le tableau ci-après donne les valeurs de la constante C ainsi obtenues pour les divers échantillons :

ESPÈCE de poudre.	PROCÉDÉ de fabrication.	DURÉE de la trituration.	MODE de séchage.	VALEURS de la constante C.	
Poudres de guerre (salpêtre 75, soufre 12,5, charbon noir 12,5).	Pilons.	24 ^h	Soleil.	0,1947	
			Étuve.	0,1870	
	Meules. Meules et presses.	41 ^h	Soleil.	0,1965	} 0,1911
			Étuve.	0,1864	
		4 ^h	»	0,2159	0,2159
Poudres au dosage anglais (salpêtre 75, soufre 10, charbon roux 15).	Meules et presses.	4 ^h	»	0,2038	0,2038
		3 ^h 1/2	»	0,1860	
	Tonnes et presses.	6 ^h	»	0,1826	} 0,1821
		8 ^h	»	0,1778	
		Meules et presses.	4 ^h	»	0,2003
Poudres de chasse (salpêtre 78, soufre 10, charbon roux 12).	Pilons.	20 ^h (superfine)	Soleil.	0,1365	
			Étuve.	0,1150	
	12 ^h (fine)	Soleil.	0,1250	} 0,1225	
		Étuve.	0,1137		

De l'ensemble de ces expériences et de quelques autres essais également dus à Piobert, on peut tirer les conclusions suivantes :

Dosage. — Le surdosage en salpêtre ralentit la combustion de la poudre. Les impuretés du salpêtre jouent le même rôle, à cause de l'humidité qu'elles retiennent. Le surdosage en charbon et, dans de certaines limites, le surdosage en soufre augmentent la vitesse de combustion.

Nature du charbon. — L'influence de la nature du charbon est incertaine. Si le charbon roux donne à la poudre des propriétés brisantes, cela tient surtout à l'augmentation de la force; Piobert cite même des chiffres qui semblent indiquer que le charbon roux ralentit la vitesse de combustion.

Humidité. — L'humidité de la poudre constitue, avec sa densité, l'élément fondamental au point de vue de la vitesse de combustion.

La constante caractéristique diminue quand l'humidité augmente, comme le montre le tableau suivant :

ESPÈCE DE POUDRE.	PROCÉDÉ de fabrication.	DURÉE de la trituration.	PROPORTION d'humidité p. 100.	CONSTANTE C.
Poudres de guerre. . . .	Pilons.	11 ^h	0,75	0,184
			1,50	0,168
			2,50	0,145

Le séchage au soleil augmente notablement la vitesse de combustion.

Procédé de fabrication. — La vitesse paraît d'autant plus grande que la trituration est plus énergique. Sous ce rapport, les divers procédés peuvent se ranger dans l'ordre suivant : meules, pilons, presses.

Durée de la trituration. — Cet élément n'a qu'une faible influence sur la vitesse de combustion.

B. Sous pression variable.

La combustion de la poudre sous pression variable se trouve réalisée dans les bouches à feu, par suite de la résistance que les parois de l'âme et du projectile présentent à l'expansion des gaz produits. Pour une poudre donnée, on peut augmenter de deux manières la pression moyenne développée par les gaz : par un accroissement du poids du projectile ou du poids de la charge. Par le premier procédé, en effet, on augmente la résistance opposée à la tension intérieure; par le second, on accroît la quantité de gaz dégagée, en même temps qu'on diminue la perte relative de chaleur due au refroidissement par les parois.

La marche de la combustion à l'intérieur d'un grain de poudre constitue un phénomène purement mécanique, en vertu duquel les gaz produits tendent à pénétrer par endosmose dans la partie non comburée. Si l'on désigne par v_0 et par v les vitesses de combustion sous la pression atmosphérique p_0 et sous la pression p , on peut écrire :

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^\alpha.$$

L'expérience montre que l'exposant α est positif et plus petit que l'unité, et qu'il est sensiblement égal à 0,66 pour les pressions inférieures à 1 atmosphère. Pour les pressions supérieures, et en particulier pour celles qui se trouvent développées à l'intérieur des bouches à feu, on est conduit à admettre $\alpha = 0,5$.

a) Combustion dans le vide.

Papacino d'Antoni remarquait, dès 1765, que la poudre s'enflammait d'autant plus difficilement que l'air était plus raréfié; que, si on la chauffait dans le vide, elle commençait par fondre; et qu'enfin elle ne prenait feu que si l'on portait sa température jusqu'au point de décomposition du salpêtre (p. 448).

En 1817, Munke observa que la poudre, placée dans la chambre d'un tube barométrique, ne faisait pas explosion quand on la chauffait brusquement.

Bientôt, Hearder constata également que la poudre, placée dans le vide au contact d'un fil de platine porté au rouge par le courant d'une batterie électrique, ne s'enflammait pas : on voyait seulement une partie du soufre fondre et se volatiliser. Dès qu'on laissait arriver un peu d'air, l'explosion se produisait instantanément.

Bianchi est arrivé à des résultats un peu différents. Un petit panier en fils de platine rempli de poudre était placé sous le récipient d'une pompe à air, où l'on faisait le vide : le panier ayant été porté au rouge par le courant électrique, la poudre se mit à brûler lentement et sans explosion. Bianchi estime à 2000° au moins la température réalisée dans son expérience. Il a également observé que, dans les mêmes conditions, la décomposition du coton-poudre s'effectue lentement et sans production de lumière. La déflagration se produit immédiatement quand on rétablit la pression, fût-ce au moyen d'un gaz inerte, tel que l'azote ou l'acide carbonique.

Ces expériences furent répétées à Hanovre par Heeren. Les observations de Bianchi se trouvèrent confirmées, lorsque le fil de platine fut maintenu incandescent sous la poudre pendant un certain temps; mais, si le fil était seulement plongé dans la poudre et ne restait que peu de temps en ignition, les grains situés aux environs du fil se mettaient à fondre et à se coller les uns aux autres sans brûler; si l'on prolongeait le passage du courant, les grains qui se trouvaient immédiatement au contact du fil brûlaient lentement, sans que le reste de la masse fût atteint. Heeren

expliquait ce phénomène en supposant que les premiers gaz produits, se dilatant dans l'atmosphère ambiante avec une grande rapidité, à cause de son extrême raréfaction, éprouvaient un abaissement de température qui les rendait incapables de porter les particules de poudre voisines jusqu'à leur point d'inflammation.

Abel fit des observations analogues. Il trouva que, si l'on soumettait de petites quantités de poudre à une pression de 15 à 51^m et qu'on les remuât avec un fil de platine incandescent, les grains qui touchaient le fil entraient en fusion, dégageaient des vapeurs sulfureuses et produisaient finalement une déflagration qui projetait la partie de la poudre non enflammée. Sous une pression de 76^m, on obtenait, au bout de quelques secondes, une déflagration générale; le même effet se produisait quand on remplaçait l'air atmosphérique par de l'azote ou de l'oxygène.

b) Combustion sous les pressions faibles.

En 1855, Mitchell a entrepris, dans les Indes, une série d'expériences destinées à démontrer l'influence de faibles différences de pression sur la vitesse de combustion de la poudre. En opérant, à différentes altitudes, sur des fusées de longueur constante, il est arrivé aux résultats ci-après :

ALTITUDE.	DURÉE DE COMBUSTION
0 ^m	14 ^m ,25
914	15 ,78
1981	17 ,10
2225	18 ,12

En 1861, Frankland fit brûler, à Woolwich, des fusées de 152^m de longueur dans des vases fermés, à l'intérieur desquels s'exerçait une pression artificielle qu'il maintenait constante en retirant de l'air pendant la combustion même de la poudre. Il a ainsi obtenu les durées suivantes :

PRESSION.	DURÉE DE COMBUSTION.
722 ^{mm}	30 ^{sec} ,30
653	34 ,75
499	41 ,50
405	45 ,50

Des expériences entreprises par Dufour dans les Alpes, à différentes hauteurs, n'ont pas donné de résultats satisfaisants, par suite de l'emploi de fusées non homogènes.

On doit à de Saint-Robert les données les plus précises sur la vitesse de combustion de la poudre sous les pressions inférieures à une atmosphère. De Saint-Robert a employé des mèches fusantes d'une grande homogénéité, obtenues en passant à la filière des tubes en plomb remplis de poudre, ayant 17^{mm} de diamètre intérieur et 25^{mm} de diamètre extérieur, de manière à augmenter leur longueur dans le rapport de 1 à 25, les diamètres se trouvant réduits respectivement à 2^{mm},8 et à 4^{mm},8; la poudre ainsi enfermée en masse compacte avait une densité de 1,583. En faisant brûler ces fusées dans les Alpes à des altitudes différentes et observant les durées de combustion correspondantes, de Saint-Robert a pu former des tables très-exactes, permettant de déduire les altitudes de la combustion de ses fusées avec une erreur maximum de 50^{mm}. Nous donnerons un extrait des résultats obtenus :

PRESSION.	DURÉE DE COMBUSTION.
740 ^{mm} ,0	35 ^{sec} ,0
726 ,0	35 ,1
724 ,3	35 ,2
694 ,1	36 ,1
618 ,7	38 ,8
610 ,4	39 ,0
559 ,4	41 ,5
529 ,4	44 ,0

La formule qui représente le mieux l'ensemble de ces résultats est,

comme nous l'avons annoncé (p. 457) :

$$v = A p^{\frac{2}{3}},$$

A désignant une constante.

c) Combustion sous les pressions élevées.

Si la vitesse de combustion de la poudre diminue quand la pression s'abaisse au-dessous de 1 atmosphère, elle augmente, au contraire, avec une grande rapidité dès qu'on atteint les pressions considérables le plus souvent réalisées dans le tir des bouches à feu. Dans ces circonstances, l'influence des pressions sur la combustion de la poudre est rendue manifeste par l'examen des conditions mêmes du tir.

Si l'on admet, en effet, que la charge d'une arme est complètement brûlée à la sortie du projectile, on peut conclure du temps que le projectile met à parcourir l'arme la valeur moyenne de la vitesse de combustion nécessaire pour produire la déflagration complète de la charge. Castan estime, par exemple, qu'une poudre, dont la vitesse de combustion est de 10^m par seconde à l'air libre, doit brûler avec une vitesse moyenne de 320^m sous la pression variable développée dans les canons de gros calibre de la marine. Si l'on conservait la vitesse de 10^m, il n'y aurait eu que 5 ou 6^l de poudre brûlée, c'est-à-dire, pour le canon de 24 centimètres, 1/5 de la charge environ.

En considérant la vitesse moyenne v_m correspondant à la combustion complète de la charge, et la pression moyenne p_m exercée dans l'arme, c'est-à-dire la pression constante nécessaire pour produire la vitesse du projectile observée à la sortie de la bouche à feu, on peut admettre que l'on a à très-peu près la relation (p. 457) :

$$v_m = A p_m^{\frac{1}{2}},$$

A désignant une constante.

III. PRODUITS DE LA COMBUSTION.

La combustion de la poudre sous la pression atmosphérique ou sous les pressions élevées donne lieu à la production de gaz et de résidus solides, dont les proportions relatives et la composition chimique ont successivement fait l'objet d'un grand nombre de recherches.

A. Combustion sous la pression atmosphérique.

a) Anciennes analyses.

Dès le commencement du XVIII^e siècle furent exécutées des expériences destinées à déterminer la quantité de *vapeur* produite par l'explosion de la poudre. C'est ainsi que Hawksbee (1702) trouva que 1^{re} de poudre dégage 232^{re} de gaz ramenés à la température de 0° et à la pression de 760^{mm}; ce volume était de 244^{re} d'après Robins (1743), de 264^{re} d'après Saluces (1761), et de 400^{re} d'après Brianchon.

Quant à la composition de cette vapeur, l'état de la science chimique ne permit de faire à ce sujet que des conjectures. Newton (1705), par exemple, imagina que l'acide sulfurique formé par la combustion du soufre chassait l'esprit nitrique du salpêtre pour le brûler; conception que l'on retrouve encore, avec une légère modification, chez Majow (1774), lequel pensait que le phlogistique s'unissait à l'acide nitrique. Ingenhous (1782) paraît s'être fait une idée plus nette du phénomène, lorsqu'il dit que l'action de la poudre est due à la combinaison du charbon avec l'oxygène.

b) Analyses de Gay-Lussac (1823) et de Chevreul (1825).

Il était réservé à Gay-Lussac de fixer d'une manière à peu près exacte la composition des produits de la combustion de la poudre. Gay-Lussac fit tomber la poudre grain par grain dans un tube de verre chauffé jusqu'au rouge, auquel était adapté un dispositif destiné à recueillir les gaz. Il obtint ainsi, par la combustion de 1^{re} de poudre de chasse pesant 900^{gr} :

Acide carbonique.....	238 ^l ,00
Oxyde de carbone.	22 ,50
Azote.	189 ,00
<hr/>	
Total des produits gazeux.	449 ^l ,50

Mais il y a lieu de penser, comme l'a fait remarquer Piobert, que tous ces nombres ont été doublés par suite d'une erreur de calcul. Ce qui rend cette supposition extrêmement vraisemblable, c'est que Gay-Lussac estime lui-même, dans une autre partie de ses ouvrages, que la combustion de 1^{re} de poudre donne naissance à 250^l de gaz.

D'après les analyses de Gay-Lussac et de Chevreul, la composition

centésimale des produits gazeux serait la suivante :

	ANALYSE DE	
	Gay-Lussac.	Chevreul.
Acide carbonique.	53	43,4
Azote.	42	37,5
Oxyde de carbone.	5	"
Bioxyde d'azote.	"	8,1
Carbures d'hydrogène.	"	0,6
Gaz particulier, composé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène.	"	8,3
	100	99,9

Quant au résidu solide, dont on n'avait alors aucune idée, Gay-Lussac et Chevreul y trouvèrent du sulfate et du carbonate de potasse, avec du monosulfure de potassium accompagné de polysulfures.

A ces analyses se rattachent celles de A. Vogel, qui ne méritent que peu de confiance; elles semblent avoir indiqué qu'il ne se forme pas d'oxyde de carbone par la combustion de la poudre sous la pression atmosphérique.

c) **Analyses de Bunsen et Schischkoff (1857).**

On doit à Bunsen et Schischkoff une série d'expériences relatives aux produits de la combustion de la poudre, qui ont servi de type pour toutes les recherches ultérieures sur ce sujet.

Ces chimistes ont opéré sur de la poudre de chasse qui présentait la composition suivante :

Salpêtre.		78,99	
Soufre.		2,84	
Charbon.	}	Carbone.	7,69
		Hydrogène.	0,41
		Oxygène.	3,07
		Cendres.	traces
		100,00	

Pour effectuer la combustion de la poudre, Bunsen et Schischkoff se servaient d'une ampoule de verre dont l'une des extrémités était recourbée à angle droit; à cette partie de l'appareil était adapté un tube de verre vertical, ayant environ 1^m de longueur et 0^m,0025 de diamètre, qui portait à son extrémité supérieure un appendice en laiton percé en son milieu d'une petite ouverture circulaire. L'autre partie de l'ampoule, qui était droite, venait aboutir dans

un large tube de verre ayant 1^m,50 à 2^m de longueur et 0^m,025 de diamètre, qui servait d'allonge et à travers lequel un tube mince, dit *tube d'aspiration*, pénétrait jusqu'au voisinage de l'ampoule. Ce tube d'aspiration était relié à des tubes de verre plus larges et effilés à leurs deux extrémités, dont le dernier communiquait avec un aspirateur. — Pour faire l'expérience, on chauffait l'ampoule à l'aide d'une lampe à gaz, et l'on passait sur le tube de 1^m un tuyau en caoutchouc contenant 15 à 20^{gr} de poudre de chasse : en élevant ce tuyau, on faisait tomber les grains à travers l'ouverture circulaire de l'appendice dans l'ampoule chaude, où ils se comburaient. Le résidu solide restait presque complètement dans l'ampoule, la fumée de la poudre se déposait dans l'allonge et les produits gazeux étaient aspirés dans les tubes larges, qu'on fermait d'abord au moyen de vis de pression et dont les extrémités étaient ensuite fondues au chalumeau.

Première série d'expériences. — Un premier essai avait pour but de déterminer la composition centésimale du résidu solide et celle du résidu pulvérulent qui constituait la fumée de la poudre.

Le résidu solide, contenu dans l'ampoule, avait la composition centésimale suivante :

Sulfate de potasse.	56,62
Carbonate de potasse.	27,02
Hyposulfite de potasse.	7,57
Salpêtre.	5,19
Hydrate de potasse.	4,26
Sulfure de potassium.	1,06
Charbon.	0,97
Sulfocyanure de potassium.	0,86
Soufre.	traces
	<hr/>
	100,55

La fumée de la poudre, contenue dans l'allonge, présentait la composition ci-après :

Sulfate de potasse.	65,29
Carbonate de potasse.	23,48
Hyposulfite de potasse.	4,90
Salpêtre.	2,48
Charbon.	1,86
Hydrate de potasse.	1,33
Sulfocyanure de potassium.	0,55
Sesquicarbonat d'ammoniaque.	0,11
	<hr/>
	100,00

Le procédé d'analyse était le suivant.

Pour doser le charbon non brûlé, on dissolvait 7^{gr} de la substance dans de l'eau chaude, et l'on rassemblait le charbon sur un filtre taré. — La dissolution filtrée était mélangée à de l'oxyde de cuivre, qu'on laissait digérer pendant 2 jours; au bout de ce temps, l'oxyde contenant du sulfure de cuivre était dissous dans l'acide nitrique fumant, et l'on précipitait l'acide sulfurique formé par le chlorure de baryum. — L'hyposulfite de potasse était dosé au moyen d'une solution titrée d'iode. — L'acide sulfurique du sulfate de potasse était précipité par le chlorure de baryum. — Pour doser le carbonate de potasse et la potasse hydratée, on traitait la liqueur par le chlorure de manganèse : le précipité était séché, introduit dans l'appareil de dosage de l'acide carbonique et repris par l'acide sulfurique étendu. Le protoxyde de manganèse resté en dissolution dans l'appareil à acide carbonique était précipité par le carbonate de soude; puis on calculait la proportion de l'hydrate de potasse, en tenant compte de ce fait que, dans la détermination du sulfure de potassium, le potassium s'était transformé en potasse hydratée. — Le sulfocyanure de potassium était dosé en traitant la liqueur par une solution de sesquichlorure de fer et par une liqueur titrée de sulfocyanure de potassium, et en observant le changement de coloration. — On transformait l'acide nitrique en ammoniaque en le traitant par une lame de zinc en présence de l'acide sulfurique, et l'on en déduisait la proportion de salpêtre. — Enfin, pour la détermination du sesquicarbonate d'ammoniaque, la solution de 12^{gr} de la matière, étendue dans 1 litre d'eau, était distillée jusqu'à réduction des trois quarts de son volume et recueillie dans l'acide chlorhydrique étendu, distillée de nouveau en présence d'un excès de carbonate de soude, puis redistillée et recueillie dans l'acide chlorhydrique étendu. L'ammoniaque était alors dosée par le bichlorure de platine.

Seconde série d'expériences. — Dans un second essai, Bunsen et Schischkoff se sont proposé de déterminer les proportions relatives de la partie solide et de la partie gazeuse des produits de la combustion, et la composition centésimale de chacune d'elles.

La décomposition de 1^{gr} de poudre donne, d'après ces analyses :

Résidu solide.	0 ^{gr} ,6806
Gaz.	0 ^{gr} ,3138 = 193 ^{cc} ,1
	<hr/>
	0 ^{gr} ,9944

L'ensemble du résidu solide et de la fumée de la poudre présentait la composition suivante :

Sulfate de potasse.	62,10
Carbonate de potasse.	48,58
Sulfure de potassium.	3,13
Hyposulfite de potasse.	4,80
Sesquicarbonate d'ammoniaque.	4,20
Charbon.	1,07
Salpêtre.	5,47
Sulfocyanure de potassium.	0,45
Soufre.	0,20
	<hr/>
	100,00

Les gaz avaient, en volumes, la composition suivante :

Acide carbonique.	52,67
Azote.	41,12
Oxyde de carbone.	3,88
Hydrogène.	1,21
Hydrogène sulfuré.	0,60
Oxygène.	0,52
	<hr/>
	100,00

L'analyse du mélange gazeux se faisait de la manière suivante. On déterminait, dans le tube d'absorption, l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré au moyen d'une solution de potasse, et l'oxygène par le pyrogallate de potasse. On faisait ensuite passer le résidu gazeux dans l'eudiomètre, on le faisait détoner avec de l'oxygène en excès et un volume déterminé du mélange détonant d'oxygène et d'hydrogène, et l'on brûlait l'oxygène restant avec de l'hydrogène en excès.

On remarquera, dans les produits gazeux, la présence de 0,52 p. 100 d'oxygène libre. Bunsen explique ce phénomène en admettant que le résidu salpêtré, subsistant après la combustion du charbon et du soufre et constituant la fumée de la poudre, doit dégager encore de petites quantités d'oxygène pendant le refroidissement.

En résumé, d'après ces dernières analyses de Bunsen et Schischkoff, la composition des produits de la combustion de la poudre sous la pression atmosphérique peut être représentée de la manière suivante :

Poudre 1 ^{re}	{	Salpêtre.	0,7899	résidu } 0 ^{gr} ,6806	{	KO.SO ³	0 ^{gr} ,4227			
		Soufre.	0,0984			KO.CO ²	0,1264			
		Charbon {	C. 0,0769			résidu } 0 ^{gr} ,3138	{	KO.S ² O ³	0,0327	
			H. 0,0041					AzH ⁴ O.CO ²	0,0286	
			O. 0,0307					KS.	0,0313	
			1,0000					C.	0,0073	
									KC ² AzS.	0,0030
									S.	0,0014
									CO ²	0 ^{gr} ,2012 = 101 ^{gr} ,71
									Az.	0,0098 = 79 ^{gr} ,40
					CO.	0,0094 = 7 ^{gr} ,48				
					H.	0,0002 = 2 ^{gr} ,54				
					HS.	0,0018 = 1 ^{gr} ,30				
					O.	0,0014 = 1 ^{gr} ,30				
				0 ^{gr} ,9944	0 ^{gr} ,9944	185 ^{gr} ,13				

d) Analyses de Linck (1858).

Linck a opéré sur de la poudre à mousquet wurtembergeoise, qui présentait la composition ci-après :

Salpêtre.	74,70	
Soufre.	12,43	
Charbon {	Carbone.	9,05
	Hydrogène.	0,41
	Oxygène.	2,78
Eau.	0,60	
	99,99	

Linck a obtenu, par la combustion de 1^{re} de poudre :

Résidu solide.	0 ^{gr} ,6415
Gaz.	0 ^{gr} ,3381 = 218 ^{cc} ,35
	0 ^{gr} ,9996

Le résidu solide présentait la composition suivante :

Sulfate de potasse.	45,08
Carbonate de potasse.	23,96
Bisulfure de potassium.	14,94
Hyposulfite de potasse.	5,83
Sesquicarbonate d'ammoniaque.	3,18
Charbon.	2,65
Salpêtre.	1,67
Sulfocyanure de potassium.	1,81
Soufre.	0,48
	100,00

Les gaz avaient, en volumes, la composition suivante :

Acide carbonique.	52,14
Azote.	34,68
Oxyde de carbone.	4,33
Hydrogène.	1,68
Hydrogène sulfuré.	7,18
Oxygène.	0,04
	100,00

Les procédés d'analyse étaient ceux de Bunsen (p. 464 et 465).

B. Combustion sous les pressions élevées.

Quel que fût l'intérêt des analyses qui précèdent, il était impossible d'en tirer aucune conclusion se rapportant au tir dans les bouches à feu, parce que la combustion de la poudre s'effectuait sous la pression ordinaire. Les expériences que nous allons décrire ont eu pour but de déterminer la composition des produits obtenus sous des pressions comparables à celles qui se trouvent réalisées à l'intérieur des armes.

a) Analyse de Károlyi (1863).

Les expériences de Károlyi ont porté à la fois sur de la poudre canon et sur de la poudre à fusil.

La composition de ces poudres était la suivante :

	Poudre à canon.	Poudre à fusil.
Salpêtre.	73,78	77,15
Soufre.	12,80	8,63
Charbon. {	Carbone.	10,88
	Hydrogène.	0,38
	Oxygène.	1,82
	Cendres.	0,31
	100,00	100,00

L'appareil employé par Károlyi consistait en une bombe de 60 livres, à l'intérieur de laquelle on avait fait le vide, et dans laquelle était vissé un cylindre en fonte rempli de la poudre à essayer et portant à une extrémité un dispositif permettant de produire l'inflammation par le passage d'un courant électrique. La résistance et la capacité du cylindre étaient calculées de telle sorte, qu'après l'explosion le gaz possédât encore dans la bombe un excès de pres-

sion de $1/2$ atmosphère, afin qu'on pût le transvaser dans le tube mesureur.

Les procédés d'analyse étaient ceux de Bunsen (p. 464 et 465).

Poudre à canon. — Károlyi a opéré sur $36^{\text{r}},8366$ de poudre à canon, qui lui ont donné $25^{\text{r}},49$ de résidu solide et $11^{\text{r}},34$ de gaz, soit, pour 1^{r} de poudre brûlée :

Résidu solide.	$0^{\text{r}},692$
Gaz.	$0^{\text{r}},307 = 206^{\text{cc}},91$
	<hr/>
	$0^{\text{r}},999$

Le résidu solide présentait la composition centésimale suivante :

Sulfate de potasse.	53,39
Carbonate de potasse.	28,01
Soufre.	6,79
Hyposulfite de potasse.	4,08
Sesquicarbonat d'ammoniaque.	3,88
Charbon.	3,69
Sulfure de potassium.	0,16
	<hr/>
	100,00

Les gaz avaient, en volumes, la composition suivante :

Acide carbonique.	42,74
Azote.	37,58
Oxyde de carbone.	10,19
Hydrogène.	5,93
Gaz des marais.	2,70
Hydrogène sulfuré.	0,86
	<hr/>
	100,00

Poudre à fusil. — En opérant sur $34^{\text{r}},153$ de poudre à fusil, Károlyi a obtenu $22^{\text{r}},247$ de résidu solide et $11^{\text{r}},906$ de produits gazeux, soit, pour 1^{r} de poudre brûlée :

Résidu solide.	$0^{\text{r}},681$
Gaz.	$0^{\text{r}},348 = 226^{\text{cc}}$
	<hr/>
	$0^{\text{r}},999$

Le résidu solide présentait la composition suivante :

Sulfate de potasse.	55,53
Carbonate de potasse.	31,90
Sesquicarbonat d'ammoniaque.	4,08
Charbon.	3,99
Hyposulfite de potasse.	2,72
Soufre.	1,78
	<hr/>
	100,00

Les gaz avaient, en volumes, la composition suivante :

Acide carbonique.	48,90
Azote.	35,33
Oxyde de carbone.	5,18
Hydrogène.	6,90
Gaz des marais.	3,02
Hydrogène sulfuré.	0,67
	100,00

Károlyi conclut de l'ensemble de ses expériences que le mode de combustion de la matière a peu d'influence sur la composition et la proportion relative des produits obtenus, mais que ces deux éléments varient, au contraire, d'une manière notable avec le dosage de la poudre.

b) Analyses de Vignotti et de Craig (1861).

Des conclusions inverses ont été formulées par plusieurs expérimentateurs, principalement par Vignotti et par Craig.

Vignotti a cherché à établir qu'il y a variation en sens contraire pour la température de combustion, d'une part, et la composition des produits, d'autre part. Cette assertion repose sur trois expériences faites avec des poudres de même dosage (75 de salpêtre, 12,5 de soufre, 12,5 de charbon), mais préparées respectivement avec des charbons aux rendements de 22, 32 et 39 p. 100.

Vignotti faisait brûler 20^{gr} de chaque poudre dans un appareil analogue à celui de Károlyi, avec cette seule différence que la matière déflagrait dans un petit mortier où l'on avait fait le vide. Il obtint ainsi les résultats suivants, rapportés à 1^{gr} de poudre :

PRODUITS DE LA COMBUSTION.	POUDRE N° 1.	POUDRE N° 2.	POUDRE N° 3.
Produits gazeux.	243 ^{cc} ,9600	231 ^{cc} ,6200	237 ^{cc} ,1400
Acide carbonique.	119 ,3300	136 ,7650	145 ,0000
Résidu solide.	1 ^{gr} ,1475	0 ^{gr} ,6500	0 ^{gr} ,5604
Charbon libre.	0 ,8340	0 ,5430	0 ,4019
Soufre libre.	0 ,2135	0 ,1070	0 ,1585
Soufre contenu dans KO.SO ³ . . .	1 ,1160	1 ,8360	2 ,1700
Charbon contenu dans KO.CO ² . .	0 ,1868	0 ,3765	0 ,4430

Des essais au fusil-pendule ont montré que la poudre n° 1 donnait

plus de vitesse que la poudre n° 3; mais le tir dans le canon de 24 livres à la charge du tiers assignait le premier rang au n° 3, le second au n° 1 et le dernier au n° 2.

Vignotti explique ces résultats de la manière suivante. La supériorité de la poudre n° 1 dans le tir au fusil-pendule, c'est-à-dire à faible charge, est due à la grande quantité de gaz dégagée; dans le tir au canon de 24 livres, au contraire, la poudre n° 3 a l'avantage, parce que la faiblesse du dégagement gazeux est plus que compensée par l'élévation de température des produits. Dans le cas des petites charges, la perte de tension due à la faible quantité de gaz dégagés n'est pas balancée, pour cette dernière poudre, par l'accroissement de la température de combustion; mais il n'en est pas de même dans le cas des fortes charges, le refroidissement par les parois ayant une influence relative moins considérable. Les quantités d'acide carbonique dégagées confirment ces hypothèses, et l'on peut dire que, plus la formation d'acide carbonique ou de carbonate de potasse a été prépondérante dans les produits de la combustion, plus la température de ces produits a été élevée.

A peu près vers la même époque, Craig faisait remarquer que les produits de la combustion sont entièrement différents, suivant la pression sous laquelle on réalise l'explosion: aux pressions faibles, on aurait surtout du sulfate de potasse, lequel serait en grande partie réduit, aux pressions élevées, à l'état de sulfure de potassium.

Cette théorie, qui est d'accord avec les résultats de Vignotti, se trouve confirmée par les expériences plus récentes de Federow.

c) *Analyses de Federow (1868).*

Le mode d'expérience de Federow consistait soit à faire partir un pistolet adapté à l'extrémité d'un tube en verre long de 4 pieds, soit à tirer un canon en cuivre de 9 livres à la charge de 3 livres russes.

La composition de la poudre employée était la suivante :

Salpêtre.	74,175
Soufre.	9,890
Charbon.	14,835
Eau.	1,100
	<hr/>
	100,000

Quant au charbon, il était formé de :

Carbone.	72,5
Hydrogène.	2,9
Oxygène.	22,3
Cendres.	2,3
	100,0

Le résidu était repris par l'eau et filtré ; puis on faisait digérer la liqueur pendant plusieurs jours avec du carbonate de cadmium : on calculait la quantité de sulfure de potassium d'après le sulfure de cadmium formé ; ce procédé conduit à des résultats beaucoup plus précis que l'emploi de l'oxyde de cuivre, proposé par Bunsen (p. 464). L'hyposulfite de potasse était précipité par le nitrate d'argent ; on dosait le sulfo-cyanure de potassium par la méthode de Bunsen ; le carbonate de potasse était précipité par le chlorure de manganèse et déduit du poids de l'oxyde formé (Mn²O³). On dosait le salpêtre par différence.

Les résultats ci-après représentent la moyenne de plusieurs analyses suffisamment concordantes.

La composition du résidu, rapportée à 100 parties de matière séchée, était la suivante :

PRODUITS de la combustion.	TIR AU PISTOLET.				TIR AU CANON.	
	Charge de 0 ^{sr} ,75.		Charge de 1 ^{sr} ,50.		Charge de 3 livres.	
KO . SO ³	48,25	47,61	40,83	43,28	15,00	15,15
KO . CO ²	23,44	24,13	30,96	31,90	37,00	36,20
KO . S ² O ³	16,53	17,03	19,32	17,74	8,28	7,44
KS.	0,97	0,54	2,49	1,67	38,18	39,35
KO . AzO ²	5,81	5,66	2,79	1,73	"	"
KC ² AzS.	0,54	0,54	0,56	0,56	0,33	0,33
S.	0,38	4,49	3,06	0,22	0,09	0,09
C.	4,08			2,90	"	1,02
Sable, CuO.	"	"	"	"	0,82	0,22
AzH ³ O . CO ²	traces	traces	traces	traces	"	"

Il résulte de l'ensemble de ce tableau qu'une augmentation de la charge et, par suite, de la pression produite pendant la combustion entraîne une décomposition plus complète de la poudre : la proportion du sulfure de potassium et du carbonate de potasse augmente, tandis que celle du sulfate et de l'hyposulfite diminue.

d) Analyses de Poleck (1865).

Les expériences de Poleck, exécutées à Neisse (août-septembre 1865), ont eu pour but de déterminer la composition des gaz dégagés à l'intérieur des mines.

La mine spécialement disposée à cet effet contenait un long tube en fer forgé qui traversait le cuvelage; ce tube était en communication avec un aspirateur, qui permettait de recueillir les gaz. Les tubes d'épreuve étaient, à chaque expérience, fermés au chalumeau, et leur contenu était analysé par la méthode de Bunsen (p. 465).

La poudre employée était au dosage suivant :

Salpêtre.	72,00
Soufre.	11,88
Charbon.	16,12
	100,00

Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau ci-après :

COMPOSITION des produits gazeux recueillis.	IMMÉ- DIATEMENT après l'explosion.	1 D'HEURE après.	8 HEURES après.	8 HEURES $\frac{1}{2}$ après.
Produits gazeux de la combustion.	76	39,27	18,18	21,38
Air atmosphérique.	23,28	60,73	81,82	78,62
Total.	100,00	100,00	100,00	100,00
Acide carbonique.	4,49	3,45	2,28	2,22
Oxyde de carbone.	2,98	3,39	3,26	2,72
Gaz des marais.	"	0,20	0,15	"
Hydrogène.	"	1,09	0,58	0,88
Protoxyde d'azote.	"	"	"	0,58
Oxygène.	4,88	12,73	17,15	16,48
Azote.	87,65 (*)	79,14	76,58	77,12
	<small>y compris l'hydrogène</small>			
Total.	100,00	100,00	100,00	100,00

(*) La partie endométrique de cette analyse avait été manquée.

Il peut sembler étonnant, au premier coup d'œil jeté sur ce ta-

bleau, que l'acide carbonique y figure en si faible quantité: ce résultat anormal provient de ce que les matériaux du cuvelage absorbent de préférence cet acide. Pour étudier l'influence de ces matériaux sur la composition des produits, une fois que la mine fut déblayée, c'est-à-dire au bout de six jours, on les fit bouillir dans de l'eau distillée et l'on recueillit les gaz dans des récipients privés d'air. On obtint ainsi, en moyenne :

Acide carbonique.	73,32
Hydrogène.	1,11
Protoxyde d'azote.	0,81
Azote.	24,76
	<hr/>
	100,00

On conçoit donc que les gaz recueillis à différents instants présentent des compositions différentes. Mais rien n'explique pourquoi la proportion d'oxyde de carbone est plus forte au bout d'un certain temps qu'immédiatement après l'explosion : on ne trouve pas trace de ce corps dans les matériaux du cuvelage, et l'hypothèse d'une réduction ultérieure de l'acide carbonique est tout à fait invraisemblable. Quant au gaz des marais, il doit provenir des substances organiques des matériaux soumis à une température élevée; on peut encore admettre un autre mode de formation de ce corps, si, comme Poleck le suppose, les matériaux renferment de l'hydrogène sulfuré et du sulfure de carbone. Poleck soutient, il est vrai, qu'ils ne contenaient pas trace de sulfures alcalins ; mais il serait possible que ces sulfures eussent été oxydés, pendant les six jours d'intervalle, par le contact de l'air atmosphérique.

Quel que soit le soin avec lequel ces expériences ont été exécutées, on ne saurait affirmer qu'elles donnent des indications précises sur les proportions relatives des produits de la combustion de la poudre de mine, à cause de l'absorption considérable de l'acide carbonique par les matériaux du cuvelage. Tout ce qu'on peut en conclure, c'est la composition qualitative de la partie gazeuse de ces produits, les résidus solides étant d'ailleurs complètement laissés de côté.

c) Analyses de Noble et Abel (1874).

Les recherches les plus récentes et les plus complètes sur la combustion de la poudre sont dues à Noble et Abel. Ces auteurs se sont

proposé d'analyser les produits de la combustion de la poudre, brûlée dans des circonstances semblables à celles qui se trouvent réalisées quand elle fait explosion dans les canons ou dans les mines, et d'étudier l'influence de ses qualités physiques ou chimiques et de la pression développée au moment du tir sur la nature et les proportions des corps qui en résultent.

Les appareils d'explosion consistaient en deux vases cylindriques en acier doux, d'une contenance de 1' et de 0,5 environ, percés de trois orifices : l'orifice principal était fermé par le tampon d'inflammation, muni d'un dispositif permettant de provoquer la déflagration par le passage du courant électrique ; le second orifice, fermé par un obturateur à vis qu'on prolongeait au moyen d'un tube en caoutchouc, servait à donner issue aux gaz de la combustion ; le troisième était muni d'un crusher ou appareil destiné à la mesure des pressions intérieures. On mesurait le volume des gaz permanents à l'aide d'un gazomètre spécial. Les produits gazeux étaient recueillis, de 5 à 15 minutes après l'explosion, dans des tubes que l'on fermait au chalumeau. Enfin les produits solides, réunis au fond du cylindre en une masse dure et compacte, étaient arrachés au moyen de ciseaux en acier et transvasés dans des flacons secs, que l'on bouchait aussi rapidement que possible.

La méthode employée pour l'analyse des produits gazeux était celle de Bunsen (p. 465), sauf pour l'hydrogène sulfuré. On absorbait, sur une portion du gaz, l'hydrogène sulfuré et l'acide carbonique par la potasse, et l'on dosait l'acide carbonique sur une autre portion débarrassée de l'hydrogène sulfuré au moyen du sulfate de cuivre. — Le résidu solide était pulvérisé dans un moulin fermé rempli d'azote pur et sec, puis lavé à l'eau bouillie. La partie insoluble, composée d'acier, de verre, de traces de charbon et de soufre, était oxydée dans un ballon par un mélange de bichromate et de chlorate de potasse, et l'on dosait le soufre à l'état de sulfate ; quand le charbon était en quantité notable, on le dosait par simple combustion. La partie soluble était traitée, à très-peu près, par les procédés de Bunsen (p. 464). L'eau, provenant en partie d'une condensation ultérieure, était le plus souvent dosée par différence.

Noble et Abel ont opéré sur 4 poudres anglaises, les poudres pebble, RLG, RFG, FG, fabriquées à la poudrerie de Waltham-Abbey et dont le dosage se rapprochait sensiblement de celui de la poudre employée par Federow (p. 470), et sur une poudre pebble sphéri-

que, de provenance espagnole, remarquable par son surdosage en soufre.

La composition de ces différentes poudres résulte du tableau suivant :

ÉLÉMENTS.	POUDRE PEBBLE W.-A.	POUDRE RLG W.-A.	POUDRE RFG W.-A.	POUDRE FG W.-A.	POUDRE PEBBLE espagnole.
Salpêtre.	74,67	74,95	73,04	73,55	75,30
Soufre.	10,07	10,27	9,93	10,02	12,42
Charbon	Carbone. 12,12	10,86	10,67	11,36	8,63
	Hydrogène. 0,42				
	Oxygène. 1,45				
	Cendres. 0,23				
	14,22	13,52	14,09	14,39	11,34
Sulfate de potasse. . .	0,09	0,15	0,14	0,36	0,27
Chlorure de potass. . .	"	"	"	"	0,02
Eau.	0,96	1,11	0,80	1,48	0,63

Noble et Abel ont exécuté avec ces diverses poudres une série de 29 déterminations, en faisant varier de 0,1 à 0,9 le rapport D du volume de la poudre à la capacité du cylindre d'explosion.

Les proportions relatives des produits solides et gazeux et le volume des gaz permanents ont varié dans les limites indiquées par le tableau suivant :

PRODUITS de la combustion.	PROPORTION EN POIDS.						VOLUME DES GAZ PERMANENTS rapporté à 0° et à 0 ^m ,760.							
	MAXIMUM de produits gazeux			MAXIMUM de produits solides			Moyenne P. 100.	MAXIMUM			MINIMUM			Moyen P. 100.
	p. 100.	Poudre.	D.	p. 100.	Poudre.	D.		p. 1 ^{er}	Poudre.	D.	p. 1 ^{er}	Poudre.	D.	
Produits solides.	55,17	Pebble	0,5	62,19	Pebble	0,7	57,50	"	"	"	"	"	"	"
Produits gazeux.	44,83	W.-A.		38,71	Pebble espagn.		42,50	285 ^{cc}	Pebble W.-A.	0,2	232 ^{cc}	Pebble espagn.	0,7	267 ^{cc}
	100,00			100,00			100,00							

Quant à la composition centésimale des produits, nous donnons ci-après un extrait des résultats, d'ailleurs très-variables, obtenus par Noble et Abel, en indiquant les proportions extrêmes et la proportion moyenne de chacun des produits analysés dans la suite de ces expériences :

PRODUITS de la combustion.		PROPORTION EN POIDS.						Moyenne p. 100.
		MAXIMUM			MINIMUM			
		p. 100.	Poudre.	D.	p. 100.	Poudre.	D.	
Produits solides	KO.CO ² ..	38,48	RLG	0,8	21,73	Peb. esp.	0,7	31,30
	KO.SO ² ..	29,62	Pebble espag.	0,7	2,69	RLG	0,5	10,00
	KO.S ² O ² ..	20,23	FG	0,8	1,77	RLG	0,8	8,90
	KS.	10,55	Pebble W.-A.	0,5	0,00	FG	"	3,97
	KCyS.	0,33	Pebble W.-A.	0,9	0,00	FG	"	0,10
	KO.AzO ² ..	0,58	Pebble espag.	0,7	0,00	FG	0,1	0,10
	AzH ² O.CO ² .	1,86	FG	0,6	0,01	RLG	0,7	0,10
	C.	0,72	RLG	0,1	0,00	"	"	0,03
S.	6,91	RLG	0,8	0,05	FG	0,8	3,00	
Total.							57,50	
Produits gazeux	CO ²	27,70	Pebble W.-A.	0,5	24,40	Peb. esp.	0,7	26,40
	CO.	5,75	Pebble W.-A.	0,2	1,34	Peb. esp.	0,7	4,00
	Az.	12,02	RLG	0,2	10,22	RLG	0,5	10,96
	HS.	1,84	Pebble W.-A.	0,2	0,17	FG	0,9	1,00
	H.	0,10	FG	0,2	0,03	Peb. esp.	0,7	0,06
	C ² H ²	0,16	RLG	0,5	0,00	"	"	0,06
	O.	0,22	RLG	0,2	0,00	"	"	0,02
Total.							42,50	

Il résulte de ce tableau que Noble et Abel ont trouvé sensiblement plus de carbonate de potasse, de sulfure de potassium, d'hyposulfite de potasse, d'oxyde de carbone et d'hydrogène sulfuré, et beaucoup moins de sulfate de potasse que les expérimentateurs précédents; les quantités de sulfure de potassium et d'hyposulfite de potasse sont toujours en rapport inverse. La proportion de l'acide carbonique croît et celle de l'oxyde de carbone décroît lorsque la pression augmente; mais les pressions sont, en général, indépendantes de la composition des produits. Le dosage de la poudre paraît exercer une influence, non sur la nature, mais sur les proportions relatives des divers produits: la poudre espagnole, par exemple, donne plus d'oxyde de carbone et de sulfate de potasse, et moins de carbonate de potasse, de sulfure de potassium et d'hyposulfite de potasse que les poudres anglaises.

IV. CHALEUR DE COMBUSTION.

Si l'on désigne par T_0 la température absolue (*) des produits de la combustion au moment de la pression maximum, la *chaleur absolue de combustion* Q sera la quantité de chaleur que dégagerait l'unité de poids de la substance en passant, sous volume constant, de la température T_0 au zéro absolu.

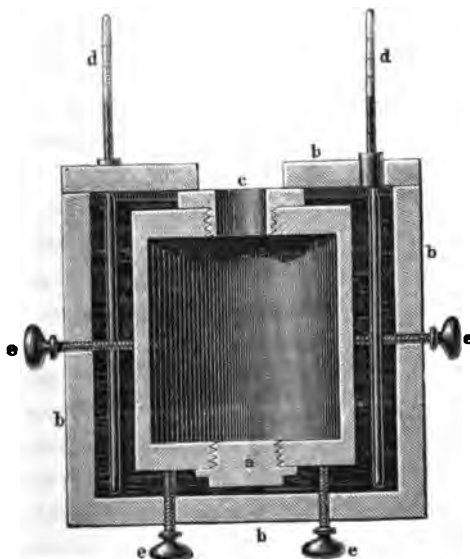
La chaleur de combustion peut se déterminer soit par une simple expérience calorimétrique, soit par le calcul.

a) Détermination expérimentale.

Le principe de cette détermination consiste à faire détoner un poids donné de poudre dans un vase suffisamment résistant, et à évaluer la quantité de chaleur dégagée par les procédés ordinaires de la calorimétrie.

Parmi les appareils construits à cet effet, nous citerons le calorimètre de Melsens (fig. 46). Dans une caisse en bois b , remplie de

Fig. 46.



(*) On appelle *température absolue* la température comptée à partir du zéro absolu (273° C. au-dessous de zéro).

mercure, est disposé un mortier muni d'une culasse a et d'une lumière c , et contenant une charge déterminée de poudre; 4 vis e permettent d'assujettir le mortier au milieu de la caisse, et 2 thermomètres d , gradués en dixièmes de degré, servent à évaluer la température du mercure avant et après l'explosion. Pour faire une expérience, on note la température du mercure, on enlève les thermomètres, on fait partir la charge, on bouche l'ouverture c du vase, on replace les thermomètres et l'on observe la nouvelle température du mercure. — Cet appareil ne donne pas la chaleur de combustion de la poudre telle qu'elle résulte de la définition, puisqu'on laisse échapper la plus grande partie des gaz produits après l'inflammation de la charge. Il y manque, en outre, un agitateur destiné à répartir également la chaleur dans la masse du mercure.

On doit à Roux et Sarrau une série d'expériences calorimétriques exécutées au Dépôt central des poudres et salpêtres, à Paris, sur les différentes poudres en usage et sur plusieurs autres corps explosifs. L'appareil employé était une bombe cylindrique en fonte, ayant une épaisseur de 0^m,006 et une capacité intérieure de 270 à 280^l; la charge était de 8^g de poudre, et de 4 à 5^g des autres substances; un bouchon en bronze, hermétiquement vissé avec interposition d'une couronne de chanvre, portait un dispositif permettant d'enflammer la charge électriquement. La bombe était introduite dans un vase en cuivre rouge, ayant 0^m,14 de diamètre sur 0^m,16 de hauteur et contenant 1^l,830 d'eau. On notait la température à l'aide de 2 thermomètres gradués en dixièmes de degré, chaque division ayant 0^m,001 de longueur, de sorte qu'on pouvait facilement évaluer le 1/100 de degré; un agitateur servait à répartir uniformément la chaleur dégagée. La durée moyenne d'une expérience était de 1^m,5, et l'on obtenait la quantité de chaleur dégagée à 1/200 près de sa valeur, soit à 4 calories près environ.

Si l'on désigne par q la chaleur dégagée par les produits de la combustion, quand ils passent de leur température maximum à la température absolue θ de l'expérience, et par c leur chaleur spécifique sous volume constant (p. 483), la chaleur absolue de combustion Q sera donnée par la formule

$$Q = q + c\theta,$$

dans laquelle l'incertitude sur la valeur de c a peu d'importance, à cause de la petitesse du second terme par rapport au premier. On

prendait $c = 0,444$ pour toutes les poudres, et les conditions de l'expérience donnaient $\theta = 273^{\circ} + 17^{\circ}$.

Roux et Sarrau sont ainsi arrivés aux résultats suivants, rapportés à 1^e de matière et relatifs aux deux ordres d'explosion (p. 494) :

SUBSTANCE EXPLOSIVE.	CHALEUR DE COMBUSTION.		
	Mesurée g.		Corrigée Q.
	2 ^e ordre.	1 ^{er} ordre.	2 ^e ordre.
	calories	calories	calories
Poudre de chasse fine.	807	»	849
Poudre de guerre à canon.	753	»	795
Poudre à fusil, dite B.	731	732	773
Poudre de commerce extérieur.	694	»	736
Poudre de mine ordinaire.	570	»	612
Chlorure d'azote (*).	316	»	339
Nitroglycérine (**).	1720	1777	1784
Coton-poudre.	1056	1060	1123
Acide picrique.	828	868	852
Picrate de potasse.	787	852	840
Mélange de { picrate de potasse. . . 55	916	»	964
{ salpêtre. 45			
Mélange de { picrate de potasse. . . 30	1180	»	1224
{ salpêtre. 50			
Fulminate de mercure.	»	752	»

(*) Cette détermination est due à Sainte-Claire Deville et Hautesfeuille.
(**) On a multiplié par 4/3 les résultats obtenus pour la dynamite à 75 p. 100.

On voit que le surdosage en salpêtre augmente la quantité de chaleur dégagée, tandis que le surdosage en soufre ou en charbon la diminue. La conclusion serait inverse si l'on considérait le poids des gaz permanents produits, que l'on peut également déterminer dans les expériences précédentes : il suffit, en effet, une fois les lectures achevées, de peser immédiatement la bombe, et de la repeser après en avoir laissé échapper les gaz.

Bunsen et Schischkoff ont effectué, en même temps que leurs analyses des produits de la combustion (p. 462), une détermination de la quantité de chaleur dégagée par la déflagration de 1^e de

poudre. Ils ont ainsi trouvé, en laissant la température s'abaisser jusqu'à 20° :

$$q = 619^{\text{cal}},5.$$

Noble et Abel (p. 473) ont également fait cette détermination dans cinq conditions différentes et sont arrivés à des valeurs sensiblement égales, dont la moyenne était :

$$q = 702^{\text{cal}},34.$$

Mais il est très-probable, comme Berthelot l'a fait remarquer, que la faiblesse de ces dernières valeurs est uniquement due à des erreurs d'expérience, qui semblent avoir amené une perte notable de chaleur dans les essais calorimétriques.

b) Détermination théorique.

Cette détermination repose sur les principes de thermo-chimie récemment établis par Berthelot, qui peuvent s'énoncer comme il suit :

I. *La chaleur dégagée par une modification quelconque d'un système de corps simples ou composés, opérée sous volume constant ou sous pression constante (sans aucun effet mécanique extérieur), ne dépend que de l'état initial et de l'état final du système; elle est complètement indépendante de la série des transformations intermédiaires (Théorème de Helmholtz).*

II. *Quand une transformation peut être obtenue par une série de transformations successives, la chaleur qu'elle dégage est la somme algébrique des chaleurs dégagées par chacune des transformations intermédiaires.*

III. *La chaleur dégagée dans une réaction est égale à la chaleur absorbée dans la réaction inverse.*

IV. *La chaleur dégagée pour passer d'un système composé à un second système composé est égale à la différence des chaleurs de formation des composés de l'état final et des composés de l'état initial.*

V. *Tout changement chimique, accompli sans l'intervention d'une énergie étrangère, tend vers la formation du corps ou du système de corps qui dégage le maximum de chaleur (Principe du maximum de chaleur).*

Pour calculer la quantité de chaleur dégagée par la combustion de la poudre ou d'une substance explosive quelconque, il suffira donc de connaître, en vertu de la proposition IV :

1° La composition chimique de la substance et celle des produits de la combustion ;

2° Les quantités de chaleur absorbées ou dégagées par la formation de chacun des composés de l'état final et de l'état initial.

Berthelot a admis, pour la chaleur de formation des principaux composés azotiques et des corps qui résultent de leur combustion, les valeurs suivantes, rapportées à 1 équivalent de matière et résultant des déterminations scientifiques les plus récentes et de ses propres expériences :

SUBSTANCE.	FORMULE.	CHALEUR DE FORMATION pour 1 équivalent exprimé en grammes.	SUBSTANCE.	FORMULE.	CHALEUR DE FORMATION pour 1 équivalent exprimé en grammes.
Éther azotique. . .	$C^4H^4(AzO^6H)$. . .	+ 31 ^{ca} ,0	Sulfate de potasse. . .	SO^4K .	+ 175 ^{ca} ,4
Nitroglycérine. . .	$C^8H^2(AzO^6H)^3$. . .	+ 25 ,0	Carbonate de potasse. . .	CO^3K .	+ 140 ,4
Coton-poudre. . . .	$C^{24}H^{10}O^{10}(AzO^6H)^8$.	+ 502 ,0	Sulfure de potassium. . .	KS .	+ 51 ,1
Acide picrique. . . .	$C^{12}H^3(AzO^4)^3O^3$. . .	- 14 ,0	Hyposulfite de potasse. . .	S^2O^3K .	+ 137 ,4
Picrate de potasse. . .	$C^{12}H^3K(AzO^4)^3O^3$. . .	+ 31 ,0	Acide carbonique. . .	CO^2 .	+ 48 ,5
Acide azotique. . . .	AzO^6H	+ 19 ,9	Oxyde de carbone. . .	CO .	+ 14 ,0
Azotate de potasse. . .	AzO^6K	+ 97 ,3	Eau.	HO .	+ 34 ,5

En partant de ces données et admettant que la combustion s'effectue au moyen de l'oxygène libre, d'après les formules théoriques dont nous indiquerons plus loin les principales (p. 486), Berthelot a calculé les valeurs suivantes des quantités de chaleur dégagées par les diverses substances explosives et rapportées à 1^g de matière :

Éther azotique.	$q = 3357^{ca}$
Acide picrique.	2919
Picrate de potasse.	2473
Nitroglycérine (combustion complète).	1786
Coton-poudre.	1572
Poudre avec excès de salpêtre (84, 8, 8).	1019
Poudre de chasse (Bunsen et Schischkoff, p. 462).	981
Poudre de guerre wurtembergeoise (Linck, p. 466).	940
Poudres de guerre anglaises (Noble et Abel, p. 475).	778
Poudre de mine (65, 20, 15).	764

V. TEMPÉRATURE DE COMBUSTION.

On appelle *température absolue de combustion* la température T que prendraient les produits de la combustion, si la chaleur absolue de combustion Q (p. 477) était totalement employée à les échauffer sous volume constant à partir du zéro absolu. Cette température est toujours supérieure à la température T_0 correspondant au maximum de pression, puisque la chaleur de combustion Q comprend non-seulement les quantités de chaleur qui modifient la température des produits, mais encore celles que dégagent les changements d'état physiques ou chimiques.

On aura donc une limite supérieure de T_0 en posant :

$$T_0 = T.$$

La température T_0 ne pouvant être mesurée directement, on la calculera par la relation connue :

$$T_0 = \frac{Q}{c},$$

qui serait rigoureuse si l'on avait exactement $T_0 = T$ et si, en outre, la chaleur spécifique sous volume constant c des produits de la combustion restait constante dans toute l'étendue des transformations que ces produits éprouvent en passant du zéro absolu à T . Or, il paraît démontré que la chaleur spécifique s'accroît dans toute transformation amenant les produits d'un état de combinaison déterminé à un état moins simple, et notamment lors du passage de l'état gazeux à l'état liquide et de l'état liquide à l'état solide. On aura donc une limite supérieure de T en prenant pour c la valeur correspondant à la gazéification totale des produits, et, au contraire, une limite inférieure en prenant la valeur relative aux produits de l'état final.

Des considérations de chimie moléculaire ont conduit Sarrau à former le tableau suivant des limites inférieures de la chaleur spécifique des diverses poudres et de quelques autres substances :

SUBSTANCE.	CHALEUR SPÉCIFIQUE théorique minimum.	SUBSTANCE.	CHALEUR SPÉCIFIQUE théorique minimum.
Soufre.	0,0763	Coton-poudre.	0,2314
Charbon.	0,2036	Picrate de potasse.	0,1830
Salpêtre.	0,1431	Poudre de chasse (78, 10, 12).	0,1432
Nitrate de soude.	0,1724	Poudre à canon (75, 12,5, 12,5).	0,1437
Chlorate de potasse.	0,1197	Poudre B (74, 10,5, 15,5).	0,1468
Chlorure d'azote.	0,0811	Poudre de comm. extér. (72, 13, 15).	0,1448
Nitroglycérine.	0,2197	Poudre de mine ordinaire (62, 20, 18).	0,1420

On remarquera que les chaleurs spécifiques calculées sont sensiblement égales pour les différentes poudres, résultat qui doit se retrouver dans la réalité, quelles que soient d'ailleurs les valeurs absolues de c . — Quant à la limite supérieure de la chaleur spécifique des produits de la combustion de la poudre, elle a été déterminée par un calcul de moyennes composées, appliqué aux analyses de Bunsen et Schischkoff (p. 466) et à celles de Noble et Abel (p. 476); on a ainsi trouvé 0,1857 et 0,18494. On peut donc admettre :

$$c = 0,185.$$

En prenant les valeurs de Q déterminées par l'expérience (p. 479) et en leur associant successivement les valeurs maxima et minima de la chaleur spécifique, on obtient, d'après Sarrau, les limites suivantes de la température absolue de combustion, pour les diverses substances explosives :

SUBSTANCE EXPLOSIVE.	TEMPÉRATURE ABSOLUE DE COMBUSTION (°).	
	Limite supérieure.	Limite inférieure.
Poudre de chasse fine.	5870°	4654°
Poudre à canon.	5500	4360
Poudre B.	5350	4231
Poudre de commerce extérieur.	5090	4042
Poudre de mine ordinaire.	4240	3371
Chlorure d'azote.	4280	»
Nitroglycérine.	8120	»
Coton-poudre.	4830	»
Picrate de potasse.	4590	»
Mélange de { picrate de potasse. . . . 55 { salpêtre. 45	5810	»
Mélange de { picrate de potasse. . . . 50 { salpêtre. 50	8090	»

(**) On obtiendra la température de combustion rapportée à l'échelle centigrade en retranchant 273 des chiffres indiqués par le tableau.
(**) On ne connaît pas, pour ces substances explosives, la chaleur spécifique des produits de la combustion.

Par des considérations analogues et en partant de la chaleur dégagée par la combustion du charbon et de la chaleur spécifique des produits de l'état final, Prechtl est arrivé, pour la température de combustion de la poudre de guerre, à la valeur certainement trop grande de 8984°.

Bunsen et Schischkoff ont trouvé, pour la chaleur spécifique des produits de la combustion de la poudre de chasse à l'air libre et sous pression; les valeurs 0,207 et 0,1857, d'où ils ont déduit, en adoptant la valeur $q = 619^{\text{cal}},5$ de la chaleur de combustion déterminée par eux (p. 480) :

$$t_0 = 2993^\circ \quad \text{et} \quad t_0 = 3340^\circ.$$

Ces divers résultats ont été récemment contestés par Noble et Abel. Si l'on calcule la température absolue de combustion au moyen de la chaleur de combustion $q = 702^{\text{cal}},34$ qu'ils ont déterminée (p. 480) et de la chaleur spécifique $c = 0,18494$ des produits

de l'état final correspondant à la moyenne de leurs expériences, on trouve :

$$T_0 = 3798^{\circ},$$

valeur comparable à celles que nous avons obtenues, surtout si l'on considère que la valeur de q doit être trop faible. Mais, si l'on applique la formule :

$$T_0 = 273 \frac{f}{p_0 w_0},$$

que nous établirons plus loin (p. 497) et dans laquelle f représente la force de la poudre, p_0 la pression atmosphérique normale et w_0 le volume à 0° et sous $0^{\text{m}},760$ des gaz permanents qui résultent de la combustion de 1^{g} de la substance, on aura, dans le cas des expériences de Noble et Abel (les unités étant le décimètre, le kilogramme et le litre) :

$$f = 249300, \quad p_0 = 103,33, \quad w_0 = 267,$$

d'où :

$$T_0 = 2171^{\circ},$$

valeur encore inférieure à celle que Noble et Abel déduisent de considérations théoriques un peu différentes ($T_0 = 2505^{\circ}$, $t_0 = 2232^{\circ}$).

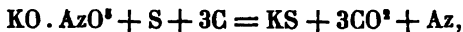
D'après Sarrau, on peut chercher l'explication de ces contradictions apparentes dans les effets de refroidissement des produits de la combustion par la paroi des enveloppes. Le calcul montre, en effet, que, dans les conditions de la pratique, l'abaissement de température dû au refroidissement par les parois peut atteindre 2000° , et que l'on est ainsi conduit à adopter une valeur trop forte pour le volume des produits liquides mesuré à la température de l'explosion. On peut donc conclure que la température de combustion de la poudre n'est sans doute pas fort éloignée de la température théorique, et que l'influence des enveloppes empêche seule de la réaliser.

VI. THÉORIE DE LA DÉCOMPOSITION.

a) Ancienne théorie.

On admettait autrefois que, dans la combustion de la poudre, le potassium s'unissait au soufre et le charbon à l'oxygène, de sorte qu'on pouvait représenter le phénomène par l'une des deux for-

mules :



La première formule, proposée par Chevreul, correspond à une poudre dont le dosage serait de 74,84 de salpêtre, 11,84 de soufre, 13,32 de charbon. Les proportions relatives des produits solides et gazeux seraient, en poids, de 59,22 et 40,78 p. 100; le volume des gaz permanents provenant de la combustion de 1^r de poudre serait de 331^l, et la quantité de chaleur dégagée ne dépasserait pas 738^{cal}.

Il est aujourd'hui démontré, par toutes les analyses des produits de la combustion, que cette théorie est sans fondement.

b) Théorie de Berthelot.

Berthelot a cherché à représenter les diverses réactions possibles par des formules chimiques, en prenant pour point de départ la composition des produits de la combustion établie par les différents expérimentateurs et en appliquant à l'ensemble de ces réactions le principe du maximum de chaleur (p. 480).

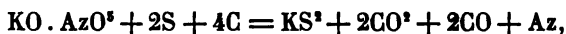
En examinant d'abord une poudre avec excès de nitre, la poudre de chasse de Bunsen et Schischkoff (p. 462) et la poudre de guerre de Linck (p. 466), Berthelot est arrivé aux résultats ci-après :

ESPÈCE DE POUDRE.	FORMULE DE LA RÉACTION.	CHALEUR dégagée p. 1 ^l .	VOLUME des gaz perman. p. 1 ^l .
Poudre avec excès de nitre (84, 8, 8)	$5\text{KO} \cdot \text{AzO}^3 + 3\text{S} + 8\text{C} = 3\text{KO} \cdot \text{SO}^3 +$ $+ 2\text{KO} \cdot \text{CO}^2 + 6\text{CO}^2 + 5\text{Az}.$	1049 cal	111 ^l
Poudre de chasse (*) (81,9, 10,8, 7,9)	$8\text{KO} \cdot \text{AzO}^3 + 6\text{S} + 13\text{C} = 5\text{KO} \cdot \text{SO}^3 +$ $+ 2\text{KO} \cdot \text{CO}^2 + \text{KS} +$ $+ 11\text{CO}^2 + 8\text{Az}.$	961	246
Poudre de guerre (*) (78,7, 12,85, 8,55)	$8\text{KO} \cdot \text{AzO}^3 + 6,5\text{S} + 15\text{C} = 4\text{KO} \cdot \text{SO}^3 +$ $+ 2,75\text{KO} \cdot \text{CO}^2 + 1,25\text{KS} +$ $+ 11,5\text{CO}^2 + 0,75\text{CO} + 8\text{Az}.$	940	225

(*) Le dosage indiqué ne correspond qu'à la portion de la matière qui a pris part à la réaction.

Pour la poudre de mine (65, 20, 15), l'hypothèse de la formation

exclusive de sulfure de potassium et de corps gazeux, en vertu de la formule :



donnerait un dégagement de chaleur de 502^m seulement. Si l'on admet une réaction intermédiaire entre celles de la poudre de chasse et de la poudre de guerre, on aura 764^m avec un volume gazeux de 173^l.

Les résultats, en apparence contradictoires, des expériences de Noble et Abel (p. 476) ont conduit Berthelot à établir une théorie complète de la combustion de la poudre, dont nous indiquerons les points principaux.

Les composés qui résultent de la combustion de la poudre peuvent, d'après cette théorie, se ranger en 4 séries distinctes :

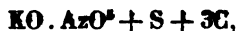
1° Les produits qui se forment à la température de l'explosion, après dissociation des éléments, composés stables à cette température;

2° Des produits accessoires, se formant également à cette température, mais qui n'y subsisteraient pas, résultant d'actions locales et soustraits par un brusque refroidissement à l'action décomposante des autres produits;

3° Des produits accessoires consécutifs, formés pendant la période de refroidissement;

4° L'hyposulfite de potasse, résultant de l'oxydation ultérieure du sulfure de potassium au contact de l'air atmosphérique.

Produits principaux stables. — Les produits de l'explosion sous volume constant de la poudre au dosage anglais (75, 40, 15), lequel correspond sensiblement à la formule :



peuvent se réduire à six : trois solides (KS, KO.SO³, KO.CO³) et trois gazeux (CO², CO, Az).

Berthelot remarque d'abord que, la proportion moyenne du sulfure de potassium (y compris le sulfure changé en hyposulfite) restant sensiblement constante, d'après les expériences mêmes de Noble et Abel, les variations du sulfate et du carbonate de potasse sont nécessairement corrélatives. Il établit ensuite le système des 5 équations suivantes, pour chacune desquelles nous indiquerons la

chaleur de combustion q , calculée d'après la théorie thermo-chimique (p. 480), et le volume w_0 des gaz permanents rapporté à 1^r de matière :

N ^o	ÉQUATIONS DE DÉCOMPOSITION.	q	w_0
1	$\text{KO} \cdot \text{AzO}^3 + \text{S} + 3\text{C} = \text{KS} + 3\text{CO}^2 + \text{Az} \dots\dots\dots$	738 ^{cal}	331 ^l
2	$\text{KO} \cdot \text{AzO}^3 + \text{S} + 3\text{C} = \text{KO} \cdot \text{CO}^2 + \text{CO} + \text{CO}^2 + \text{Az} + \text{S} \dots$	784	249
3	$\text{KO} \cdot \text{AzO}^3 + \text{S} + 3\text{C} = \text{KO} \cdot \text{CO}^2 + 1,5\text{CO}^2 + \text{Az} + \text{S} + 0,5\text{C} \dots$	860	208
4	$\text{KO} \cdot \text{AzO}^3 + \text{S} + 3\text{C} = \text{KO} \cdot \text{SO}^3 + 2\text{CO} + \text{Az} + \text{C} \dots\dots\dots$	788	249
5	$\text{KO} \cdot \text{AzO}^3 + \text{S} + 3\text{C} = \text{KO} \cdot \text{SO}^3 + \text{CO}^2 + \text{Az} + 2\text{C} \dots\dots\dots$	940	163

Dans le cas du maximum de carbonate, l'ensemble des réactions pourra être représenté par le système des équations n^o (1), (2) et (3), se développant simultanément sur des quantités de matière proportionnelles à 1/3, 1/2 et 1/6. Dans le cas du maximum de sulfate, on appliquera les équations n^o (1), (3), (4) et (5) à des quantités de matière proportionnelles à 1/3, un peu moins de 1/2, 1/8 et 1/12. Ces 5 équations simultanées représentent ainsi les cas limites et approximativement les cas intermédiaires pour la poudre au dosage anglais : un excès de salpêtre accroîtrait le sulfate de potasse et l'acide carbonique, ainsi que la quantité de chaleur ; un excès de charbon augmenterait l'oxyde de carbone et le volume gazeux.

On aura une vérification remarquable de cette théorie si l'on compare les valeurs calculées, dans chacun des deux cas, de la chaleur de combustion q et du volume gazeux w_0 , avec celles que Noble et Abel ont déduites de leurs expériences. On obtient ainsi, en effet :

ÉLÉMENTS à comparer.	VALEURS CALCULÉES.		VALEURS MESURÉES par Noble et Abel.
	Cas du maximum de carbonate.	Cas du maximum de sulfate.	
q	781 ^{cal}	776 ^{cal}	702 ^{cal} ,34
w_0	270 ^l	267 ^l	267 ^l

Nous avons déjà remarqué (p. 480) que l'évaluation de la chaleur

de combustion, faite par Noble et Abel, doit être un peu trop faible.

Produits accessoires instables. — Les produits accessoires (C^2H^4 , H, $KCyS^2$, KO, CyO) résultent de réactions isolées. Le gaz des marais se forme par la décomposition du charbon de bois. L'hydrogène dérive du charbon et de la vapeur d'eau. Le sulfocyanure et le cyanate proviennent de l'action du charbon et du soufre sur le salpêtre.

Produits accessoires consécutifs. — Les produits accessoires consécutifs formés pendant le refroidissement sont le sesquicarbonate d'ammoniaque et l'hydrogène sulfuré, qui prennent naissance par l'action de la vapeur d'eau, provenant de l'eau hygrométrique de la poudre ou de l'hydrogène du charbon, sur le cyanate de potasse ou sur le sulfure de potassium. Si l'hyposulfite de potasse préexiste il se forme à très-petite dose pendant le refroidissement, par la réaction de l'acide sulfureux et du sulfure de potassium.

Hyposulfite de potasse. — Federow avait cherché à expliquer la présence de l'hyposulfite de potasse à l'aide de réactions directes du charbon ou du soufre sur le sulfate ou sur le carbonate de potasse déjà formés. Toutes ces réactions donneraient lieu à une absorption de chaleur : cette chaleur étant fournie par les réactions principales et accessoires, il faudrait que l'hyposulfite fût plus stable, à la température de la réaction, que le sulfate ou le carbonate de potasse qui le produisent, c'est-à-dire qu'il fût indécomposable à la température qui dissocie ces deux sels, ce qui n'a pas lieu. Diverses raisons conduisent à admettre que ce sel dérive du sulfure de potassium par absorption de l'oxygène de l'air au cours des manipulations. Federow remarque, en effet, que l'hyposulfite se développe surtout en vase ouvert, et le sulfure sous pression. D'ailleurs, Noble et Abel ne faisant pas figurer l'eau dans leurs produits, il en résulte une compensation de deux erreurs de signes contraires : perte d'oxygène et d'hydrogène sous forme d'eau, gain d'oxygène fixé sur le sulfure.

Conclusion. — En résumé, l'explosion de la poudre donne d'abord naissance, d'après Berthelot, à tous les corps stables dans les conditions de l'expérience, dans des proportions relatives qui varient avec les circonstances locales de mélange et d'inflammation. Si ces corps restaient en contact pendant un temps suffisant, ils seraient soumis à des actions réciproques capables de les amener à un état unique,

répondant au maximum de chaleur dégagée, c'est-à-dire à l'état de sulfate et d'acide carbonique, d'après l'équation n° (5); mais le refroidissement subit qu'ils éprouvent ne permet pas à cet état de se réaliser. Cependant chacun de ces produits n'en est pas moins formé suivant une loi régulière, et la transformation chimique de la poudre est exprimée, dans tous les cas, par le système des équations principales simultanées et des équations auxiliaires que nous avons indiquées.

§ III.

POTENTIEL.

On appelle *potentiel* d'une substance explosive le travail maximum que l'unité de poids de cette substance est capable d'effectuer, dans le cas idéal d'une gazéification totale et d'une détente adiabatique indéfinie.

THÉORÈME. *Le potentiel d'une substance explosive s'obtient en multipliant sa chaleur absolue de combustion par l'équivalent mécanique de la chaleur.*

Si l'on considère, en effet, l'unité de poids de la substance gazéifiée, on aura, en vertu du principe fondamental de la thermodynamique et dans le cas d'une transformation adiabatique :

$$0 = cdT + \frac{d\epsilon}{E},$$

en désignant par $d\epsilon$ l'élément de travail correspondant à la variation de température dT . On en tire l'expression du potentiel H :

$$H = -E \int_{T_0}^{\infty} cdT = E \int_0^{T_0} cdT,$$

d'où (p. 477) :

$$H = EQ,$$

quelles que soient d'ailleurs les variations de la chaleur spécifique avec la température ou par le fait des dissociations ou recompositions chimiques se produisant pendant la détente.

Cette expression du potentiel, appliquée à diverses substances explosives, a donné les résultats suivants, obtenus en multipliant par 436 les chaleurs de combustion mesurées par Roux et Sarrau (p. 479) :

SUBSTANCE EXPLOSIVE.	POTENTIEL.
	tonneaux-mètres
Poudre de chasse fine.	370
Poudre à canon.	347
Poudre à fusil, dite B.	337
Poudre de commerce extérieur.	321
Poudre de mine ordinaire.	267
Chlorure d'azote.	148
Nitroglycérine.	778
Coton-poudre.	489
Picrate de potasse.	366
Mélange de { picrate de potasse. 53	420
{ salpêtre. 45	
Mélange de { picrate de potasse. 50	534
{ salpêtre. 50	

On remarquera que le potentiel de la poudre de mine est notablement moindre que celui des autres poudres. Cette infériorité se trouve être, dans ce cas particulier, de peu d'importance, puisque la force de la substance est à peu près seule à considérer au point de vue des effets de rupture : or, nous verrons (p. 499) que toutes les poudres ont sensiblement la même force.

Noble et Abel ont calculé, pour des détentes variant de 1 à 20 fois le volume v_0 de la poudre, le travail théorique que peut effectuer la substance, à l'aide de la formule :

$$\epsilon_v = \int_{v_0}^v p dv,$$

dans laquelle ils ont remplacé la pression p par l'expression qu'ils avaient déduite de leurs expériences. Le travail a ainsi varié de 3211 à 87244 kilogrammètres par kilogramme de poudre brûlée. Noble et Abel ont, en outre, calculé et résumé dans un tableau synoptique : 1° le travail total réalisé par kilogramme de poudre brûlée pour

chaque canon, chaque charge et chaque espèce de poudre du service réglementaire anglais ; 2° le travail théorique maximum par kilogramme de poudre qu'il serait possible de réaliser dans chaque canon avec chaque charge ; 3° le coefficient d'efficacité pour chacune des charges de chaque canon. Ce coefficient, qui varie de 50 à 93 p. 100, augmente avec le calibre des bouches à feu.

Quant au potentiel, on peut en calculer la valeur en intégrant entre v_0 et ∞ , ce qui donne :

$$H = \int_{v_0}^{\infty} p dv = 332^{\text{m}}, 128.$$

Cette valeur est un peu inférieure à celles que nous avons précédemment indiquées pour les poudres de guerre, parce que l'expression de p a été établie dans l'hypothèse de l'existence de produits solides ou liquides, qui n'agiraient sur la détente que par la chaleur qu'ils communiqueraient à la partie gazeuse.

Noble et Abel font remarquer, à ce sujet, que le potentiel de la houille, qui a pour valeur $H = 3400^{\text{m}}$, est décuple de celui de la poudre ; ils cherchent à expliquer cette infériorité relative de la poudre à canon par ce fait, que cette dernière dépense une quantité de travail considérable pour amener son oxygène à l'état de gaz, tandis que la houille peut immédiatement se l'assimiler sous cette forme. Au surplus, l'emmagasinage de l'oxygène dans la matière de la poudre est fort dispendieux, et l'on peut démontrer ainsi l'impossibilité pratique d'établir économiquement des machines empruntant leur puissance motrice à la force de la poudre à canon.

§ IV.

FORCE.

I. GÉNÉRALITÉS.

La *force* d'une substance explosive peut être définie : la pression, par unité de surface, des gaz de l'unité de poids de la substance occupant, à la température de combustion, l'unité de volume.

On avait autrefois sur la force de la poudre les idées les plus va-

gues et les moins exactes. Schreiber dit, à ce sujet, dans son *Büchsenmeister Discours* de 1636 : « Si l'on fait brûler du soufre sous un litre de sel froid, celui-ci se met à rejaillir et à cracher, tant la chaleur du soufre lui est contraire; ainsi, la chaleur et le froid produisent cette forte vapeur qui, sans leur opposition, resterait à l'état liquide. » Pour augmenter la force de la poudre, on recommandait spécialement l'emploi du sel ammoniac ou salmiac, du camphre, de l'arsenic, du mercure et du vert-de-gris (*).

Plus tard, on imagina que l'humidité renfermée dans la poudre et convertie en vapeur était pour beaucoup dans la force d'expansion des produits. Or, on sait que la tension de la vapeur d'eau produite ne suffit pas à compenser la quantité de chaleur absorbée pour sa formation. Robins (1743) a le premier remarqué que l'humidité ne pouvait que diminuer la force de la poudre, et nous avons signalé plus haut (p. 422) son influence sur la vitesse imprimée au projectile.

On supposa enfin que la force de la poudre était due à l'accroissement d'élasticité de l'air contenu dans les grains et dans leurs interstices, la poudre n'exerçant par elle-même que les fonctions d'un agent calorifique. Cette opinion, soutenue par de la Hire (1702), fut combattue par Robins, qui démontra que l'élasticité ainsi acquise ne devait pas dépasser 5 atmosphères et que la pression résultante ne représentait pas la 1/200 partie de l'effort nécessaire pour produire les effets observés. En même temps, on reconnaissait (p. 461) que la combustion de la poudre engendre un certain volume de gaz permanents, et, dès 1741, un manuscrit prussien portait que « le salpêtre développe, quand on le chauffe, une certaine quantité d'air qui est l'élément actif de la poudre, bien plutôt que

(*) Nous transcrivons, à titre de curiosité, l'extrait suivant d'un manuscrit allemand portant la date de 1563 :

« Zu Salpeter zu giftigem Hauch giebt man, wenn er geschmolzen, [so entstehen] kleine Schlangen, Kröten, Spinnen, Blindschleichen und Basilisken. Letztere werden, wenn man sie nicht hat, auf folgende Weise artificialiter dargestellt. Man bringt frische, mit Leinöl gesalbte Eier 14 Tage in Schafmist, es entstehen dann Würmer drin, die sich auffressen. Den letzten speist man mit Menschenblut, das man lässt in den Badstuben, oder mit dem Hintertheil einer Ratte. Beim Futtern verbindet man sich Nase und Mund mit Raute und Salbei. Nach 14 Tagen brennt man ihn in einem wohl lutirten Glase auf freiem Felde zu Asche. — Ebenso kann man zwei zweijährige Hähne mit brandrothen Augen zusammensperren bis sie sich begatten, die Eier lässt man von einer grossen Kröte ausbrüten. »

l'air interposé entre les grains » : ce qui n'a pas empêché Corthoue (1842) de proposer, d'ailleurs sans aucun succès, d'enfermer de l'air entre la charge et le projectile, sous prétexte qu'on pouvait ainsi réaliser une économie de 20 p. 100 sur la poudre employée.

La force d'une poudre, telle que nous l'avons définie, paraît dépendre surtout de deux éléments : la quantité de chaleur dégagée et le poids des gaz permanents correspondant à l'unité de poids de la substance. Ces éléments sont très-variables pour les différentes poudres; mais il est remarquable que ces variations s'effectuent en sens inverse, de manière que la valeur de la force reste sensiblement constante. Il peut toutefois arriver, dans certains cas, que cette valeur s'écarte notablement des limites habituelles : les poudres trop vives, dites brisantes, sont le plus souvent caractérisées par la faiblesse de leur densité et l'inflammabilité de leur charbon.

On a pu déterminer par l'expérience les forces relatives de la plupart des substances explosives. Quant aux valeurs absolues, elles ont été calculées à l'aide de diverses hypothèses, que nous passerons rapidement en revue.

II. DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE.

Les forces relatives des diverses substances explosives ont été déterminées par les expériences de Roux et Sarrau (1874). Les appareils employés étaient des bombes en fonte identiques, provenant d'une même coulée et fermées par des bouchons en cuivre taraudés, qui permettaient d'enflammer électriquement la matière. Le principe de l'expérience consistait à chercher la charge de la substance explosive nécessaire pour produire la rupture de la bombe.

On opéra sur la poudre, la nitroglycérine, le coton-poudre, l'acide picrique, les différents picrates métalliques et le fulminate de mercure. Les forces relatives étaient obtenues à $1/40$ ou $1/50$ près de leur valeur.

Roux et Sarrau ont ainsi reconnu que toutes les substances ont deux ordres d'explosion :

1° L'explosion de premier ordre ou *détonation*, provoquée par un agent détonant tel que le fulminate de mercure;

2° L'explosion de second ordre ou *explosion simple*, produite par l'inflammation ordinaire de la substance.

Ce phénomène avait été déjà constaté par Nobel (1864) pour la nitroglycérine.

Ces expériences ont, en outre, mis en évidence les faits suivants : la nitroglycérine, le coton-poudre, l'acide picrique et les picrates satisfont à la loi générale énoncée ci-dessus; la poudre ordinaire, en grains ou à l'état de poussier, ne détone que par l'action de la nitroglycérine amorcée par le fulminate; enfin, le fulminate de mercure produit l'explosion de premier ordre par simple inflammation.

Les explosions des deux ordres se distinguent par leurs intensités.

On a comparé les forces de toutes les substances à celle de l'ancienne poudre à fusil, dite B, dont il fallait 13^g pour produire la rupture d'une bombe. En désignant par p, p', p'', \dots les poids de la substance à essayer et des détonateurs auxiliaires qui constituaient la charge de rupture, et par f la force cherchée, f', f'', \dots les forces connues des détonateurs, on avait :

$$pf + p'f' + p''f'' + \dots = 13,$$

d'où :

$$f = \frac{13 - (p'f' + p''f'' + \dots)}{p}.$$

On a pu ainsi former le tableau suivant des forces relatives de diverses substances explosives :

SUBSTANCE EXPLOSIVE.	FORCE RELATIVE.	
	Détonation f_1	Explosion f_2
Poudre à fusil, dite B.	4,34	1,00
Nitroglycérine.	10,13	4,80
Fulminate de mercure. .	9,28	•
Coton-poudre.	6,46	3,00
Acide picrique.	5,50	2,04
Picrate de potasse. . . .	5,31	1,82
Picrate de baryte. . . .	5,50	1,71
Picrate de plomb.	5,84	1,55
Picrate de strontiane. . .	4,51	1,35

Il est difficile de chercher l'explication de ces deux sortes d'explosion dans la différence des chaleurs dégagées ou des quantités de

gaz permanents : l'expérience montre (p. 479) que, sauf pour les picrates et pour la nitroglycérine, ces éléments restent sensiblement les mêmes dans les deux cas. Il semble qu'on puisse attribuer ce phénomène à des relations intermédiaires, provoquées par des circonstances locales et sans influence sur l'état final des produits, par exemple à une dissociation plus ou moins complète de la partie gazeuse au moment de la pression maximum.

III. DÉTERMINATION THÉORIQUE.

On peut calculer la force théorique d'une matière explosive correspondant à l'explosion du second ordre, en supposant tous les éléments réduits à l'état gazeux, ou en admettant, au contraire, l'existence de produits solides ou liquides à la température de combustion.

La première hypothèse ne peut donner qu'une limite supérieure de la valeur absolue de la force.

a) Hypothèse de la gazéification totale.

Dans ce cas, la force (p. 492) est la pression développée par l'unité de poids de la substance détonant dans l'unité de volume, et a pour expression, en vertu des lois de Mariotte et de Gay-Lussac :

$$(1) \quad f = \frac{p_0 v_0 T_0}{273},$$

si l'on désigne par p_0 la pression atmosphérique, par v_0 le volume spécifique des produits gazéifiés (volume de l'unité de poids des gaz ramené à 0° et à 0°, 760) et par T_0 la température absolue au moment de la pression maximum.

Des considérations de thermo-dynamique ont conduit Sarrau à mettre cette expression sous la forme suivante :

$$(2) \quad f = \frac{2}{5} EQ_s,$$

où E représente l'équivalent mécanique de la chaleur, Q la chaleur absolue de combustion et s le poids des gaz permanents fournis par la combustion de 1^{re} de la substance. On peut ainsi calculer la valeur absolue de la force.

Cette dernière formule offre une analogie remarquable avec l'hypothèse de Berthelot, d'après laquelle la force d'une substance explosive serait proportionnelle au produit de la quantité de chaleur dégagée par le volume des gaz permanents produits, ces deux éléments étant calculés d'après les équations théoriques qu'il a établies (p. 486 et 488).

Nous réunissons dans le tableau ci-dessous les valeurs relatives de la force de diverses substances, déduites de la formule de Sarrau et de l'hypothèse de Berthelot, et nous en rapprochons les valeurs correspondantes déterminées par l'expérience (p. 495):

SUBSTANCE EXPLOSIVE.	FORCE RELATIVE		
	CALCULÉE		OBSERVÉE (Roux et Sarrau).
	Par la formule $f = \frac{2}{5} E Q_e$.	D'après l'hypothèse de Berthelot.	
Poudres au nitrate de potasse. . .	1,00	1,00	1,00
Chlorure d'azote.	1,08	0,90	"
Nitroglycérine.	4,55	7,40	4,80
Coton-poudre.	3,06	3,90	3,00
Picrate de potasse.	1,98	2,70	1,82

4) Hypothèse des résidus solides ou liquides.

Si, d'après les expériences de Noble et Abel (p. 507), on admet l'existence de produits liquides ou solides à l'instant de la pression maximum, la définition de la force reprendra toute sa généralité (p. 492).

Première détermination. — Désignons par w_0 le volume, réduit à 0° et à 0^m,760, des gaz permanents qui résultent de la combustion de 1^r de la substance; on aura :

$$(3) \quad f = \frac{p_0 w_0 T_0}{273}.$$

Le problème est ainsi ramené à la recherche de w_0 et de T_0 .

Le volume w_0 peut être déterminé, pour les diverses substances explosives, de la manière suivante. Si l'on désigne par :

- C** la capacité intérieure du vase où l'on produit la détonation;
 α le poids de la charge;
 α le volume, mesuré à la température de l'explosion T_0 , des produits liquides ou solides résultant de la combustion de 1^g de la substance;
 p_1, T_1 la pression observée dans une expérience et la température absolue correspondante;
 p, T_0 la pression maximum et la température absolue de combustion;

on a, en vertu des lois de Mariotte et de Gay-Lussac :

$$(4) \quad \frac{p(C - \alpha)}{T_0} = \frac{p_0 \alpha w_0}{273},$$

d'où l'on tire, en supposant le volume α négligeable par rapport à la capacité C :

$$w_0 = 273 \frac{C}{p_0 \alpha} \frac{p}{T_0},$$

et en général :

$$w_0 = 273 \frac{C}{p_0 \alpha} \frac{p_1}{T_1}.$$

Il suffira donc, pour obtenir w_0 , de faire détoner un poids connu de poudre dans une capacité connue, supposée assez grande pour qu'on puisse négliger α par rapport à C , et de mesurer, après refroidissement, la pression des gaz p_1 et la température absolue correspondante T_1 . Pour effectuer cette détermination, Roux et Sarrau se sont servis d'un manomètre différentiel constitué par un piston à deux bases dont les surfaces sont dans le rapport de 1 à 100 : sur la petite base est disposée une éprouvette en fer forgé où l'on produit la détonation, et l'on fait équilibre à la pression des gaz par celle qu'exerce sur la grande base une colonne de mercure dont on évalue la hauteur au dixième de millimètre.

Pour la température T_0 , on adoptera les valeurs théoriques déduites de la formule (p. 482) :

$$T_0 = \frac{Q}{c},$$

en prenant pour Q les valeurs expérimentales (p. 479) et pour c la valeur 0,485 (p. 483).

On forme ainsi, d'après Sarrau, le tableau suivant de la force ab-

solue des différentes poudres, c'est-à-dire de la pression exercée par les gaz permanents produits par 1^h de la substance occupant 1 litre à la température de combustion :

SUBSTANCE EXPLOSIVE.	V ₀ .	T ₀ .	FORCE ABSOLUE.	
			En atmosphères par centim. carré.	En kilogrammes par décimètre carré.
	litres.	degrés.	atm.	kil.
Poudre de chasse fine.	234	4 652	3 989	412 000
Poudre à canon.	261	4 360	4 168	431 000
Poudre à fusil, dite B.	280	4 231	4 339	448 000
Poudre de commerce extérieur. . .	281	4 042	4 160	430 000
Poudre de mine ordinaire.	316	3 372	3 792	392 000

Seconde détermination. — Les valeurs précédentes de la force absolue des diverses poudres sont probablement très-supérieures à celles qui se trouvent réalisées dans les conditions de la pratique : cette divergence paraît devoir être attribuée à l'influence du refroidissement par les parois, lequel, nous l'avons déjà dit (p. 485), peut correspondre à un abaissement de température de près de 2 000°. Ce résultat est mis en évidence par le calcul suivant, appliqué aux poudres pebble et RLG qui, dans les expériences de Noble et Abel, se sont comportées sensiblement de la même manière.

Si l'on tient compte des relations :

$$f = \frac{p_0 w_0 T_0}{273}, \quad \Delta = \frac{\varpi}{C},$$

Δ désignant la densité de chargement, la formule (4) pourra s'écrire :

$$(3) \quad f = p \left(\frac{1}{\Delta} - \alpha \right).$$

Or, après avoir remarqué que les formules théoriques représentent convenablement les expériences avec $\alpha = 0,65$, Noble et Abel proposent comme plus plausible la valeur $\alpha = 0,6$, en raison de l'influence prépondérante du refroidissement dans le tir aux petites charges. Si donc on porte dans l'expression (3) la valeur $\alpha = 0,6$, et que l'on remplace p et Δ par deux valeurs correspondantes tirées des résultats mêmes de Noble et Abel (p. 506), par exemple, $p = 511\ 210$ pour

$\Delta = 0,9$ (les unités étant le décimètre et le kilogramme), on aura :

$$f = 261\,000.$$

On peut adopter cette valeur de la force pour les poudres à gros grains de provenance française, qui présentent, au point de vue du dosage et du procédé général de fabrication, une grande analogie avec les poudres anglaises.

§ V.

PRESSIION DES GAZ.

L'étude de la force des substances explosives n'est qu'un cas particulier de l'étude générale des pressions exercées à l'intérieur des bouches à feu ou des récipients fermés dans lesquels se produit l'explosion. Nous décrirons plus loin les divers appareils successivement imaginés pour la mesure de ces pressions et la détermination de la loi suivant laquelle elles varient dans les différents cas. Nous nous bornerons ici à exposer quelques considérations se rapportant aux principales circonstances qui paraissent influer sur leur développement, et à discuter les résultats acquis jusqu'à ce jour relativement aux pressions exercées par les gaz de la poudre en vase clos.

I. GÉNÉRALITÉS.

La loi suivant laquelle varient les pressions développées par les produits gazeux de la combustion d'une substance explosive dépend, d'après Berthelot, de trois éléments principaux : la durée des réactions moléculaires, la propagation successive de la transformation dans toute la masse, et les phénomènes de dissociation se produisant pendant la durée entière de la réaction.

a) Durée des réactions.

Toutes choses égales d'ailleurs (chaleur dégagée, refroidissement par les parois, effets de détente et de dissociation, etc.), les pressions initiales seront d'autant moindres que la transformation d'un

poids donné de matière explosive durera plus longtemps, et l'on peut prévoir, au contraire, la production des pressions les plus considérables dans le cas d'une transformation très-rapide de toute la masse, au sein d'un vase fermé, jointe à l'absence des phénomènes de dissociation (p. 502).

On s'explique ainsi l'intensité de la détonation du chlorure d'azote en présence de corps liquides ou même gazeux, et les effets de destruction produits par la nitroglycérine ou le coton-poudre comprimé, appliqués sans bourrage dans des trous librement ouverts ou même à la surface des rochers et des morceaux de fer.

b) Propagation successive de la transformation.

Pour propager la transformation dans une masse qui détone et qui n'est pas soumise aux mêmes actions dans toutes ses parties, il faut que les mêmes conditions physiques de température, de pression, etc., qui ont provoqué le phénomène sur un point, se reproduisent successivement, et couche par couche, dans toutes les portions de la masse. Or, ce mode de propagation dépend essentiellement des circonstances mêmes de l'inflammation. Considérons, par exemple, l'explosion de la nitroglycérine produite par la chute d'un poids tombant d'une hauteur déterminée. Les pressions qui résultent du choc exercé à la surface de la matière étant trop subites pour se répartir uniformément dans toute la masse, la transformation de la force vive en chaleur a lieu surtout dans les premières couches atteintes par le choc, qui pourront être portées à 180° et dégager une grande quantité de gaz. Cette production de gaz est, à son tour, si brusque que le corps choquant n'a pas le temps de se déplacer et que la détente soudaine des gaz de l'explosion produit un nouveau choc, plus violent sans doute que le premier, sur les couches situées au-dessous. Et ainsi de suite de proche en proche.

La propagation de la déflagration a lieu ainsi avec une vitesse incomparablement plus grande que celle d'une simple inflammation provoquée par le contact d'un corps en ignition et opérée dans des conditions où les gaz se détendent librement au fur et à mesure de leur production. En outre, la vitesse de propagation de la réaction dépend de l'intensité du premier choc, puisque la force vive de celui-ci, transformée en chaleur, détermine l'intensité de la première explosion et, par suite, celle de la série entière des effets

consécutifs. Donc, l'explosion d'une masse solide ou liquide peut se développer suivant une infinité de lois différentes, dont chacune est déterminée par l'impulsion originelle.

c) **Dissociation.**

Les phénomènes de dissociation paraissent exercer la plus grande influence sur le développement successif des pressions produites par les diverses substances explosives.

D'une manière générale, la dissociation tend à diminuer la pression maximum des gaz pendant la première période de l'explosion, en les faisant passer d'un état composé à un état plus simple avec absorption de chaleur; elle tend, au contraire, pendant la période de détente, à ralentir et à uniformiser la chute de pression, en provoquant une série de recombinaisons qui restituent aux gaz, au fur et à mesure de l'accroissement de volume, une portion de la chaleur perdue. Par exemple, si l'on considère une transformation adiabatique sous pression constante et sans production de travail extérieur, 23 volumes d'acide carbonique donneront, par dissociation, 1 volume d'oxyde de carbone et 1/2 volume d'oxygène (période de l'explosion), tandis que 1 volume d'hydrogène et 1/2 volume d'oxygène donneront, par recombinaison, 20 volumes de vapeur d'eau (période de la détente). Au surplus, les phénomènes de dissociation relatifs à la première période doivent avoir, comme l'a montré Berthelot, une influence de moins en moins sensible à proportion que s'élève la température de la masse; pendant la période de la détente, au contraire, la dissociation devient prépondérante au fur et à mesure du refroidissement.

Ces effets, d'ailleurs extrêmement variables, dépendent essentiellement de la forme de la réaction spéciale à chaque substance explosive. Si, en effet, les produits de la décomposition sont assez complexes et, par suite, susceptibles d'être dissociés, la marche des pressions s'effectuera d'une manière successive et graduelle, ralentie pendant la première période de l'explosion, renforcée pendant la détente: le mécanisme de la dissociation joue ainsi le rôle d'une sorte de volant, destiné à régulariser le fonctionnement de la machine thermique. Si, au contraire, la réaction donne naissance à des gaz simples, non susceptibles de dissociation, la pression atteindra instantanément son maximum pour retomber presque aussitôt à son point de départ. Les poudres à base de nitrate de

potasse ou de soude rentrent évidemment dans le premier cas : elles sont donc, sous ce rapport, parfaitement appropriées au tir des projectiles dans les bouches à feu. Il n'en est pas de même des poudres au chlorate de potasse : les produits de la décomposition sont, en effet, des composés binaires, les plus simples de tous et les plus stables (chlorure de potassium, oxyde de carbone, acide sulfureux), qui doivent éprouver les phénomènes de dissociation à une température plus haute et d'une manière moins marquée que les combinaisons moins stables et plus complexes ; ces poudres sont donc brisantes. Mais le type des substances brisantes est le chlorure d'azote qui, avec une force théorique sensiblement égale à celle de la poudre ordinaire (p. 497), produit des effets de destruction incomparablement plus grands : ce résultat est dû à ce que cette substance donne immédiatement naissance à deux corps élémentaires (azote et chlore) qui n'ont aucune tendance à se recombinaison, quelles que soient la température et la pression. Quant à la nitroglycérine, quoique brisante, elle fracture les roches, sans les écraser, en menus fragments : les composés formés sont, en effet, plus simples que ceux de la poudre ordinaire, mais n'en sont pas moins en partie susceptibles de dissociation (eau et acide carbonique). Le coton-poudre est encore moins brisant, pour des raisons analogues. L'acide picrique et les picrates donnent lieu à des observations semblables.

II. LOI DES PRESSIONS EN VASE CLOS.

a) Expériences de Rumford (1787).

Les premières expériences précises sur les pressions développées par les gaz de la poudre sont dues à Rumford.

L'appareil employé, qui sera décrit plus loin (p. 562), consistait essentiellement en une sorte de petit canon placé verticalement, dans lequel on enfermait la poudre et dont le couvercle était surmonté de poids qu'on pouvait faire varier à volonté. La poudre sur laquelle on opérait était une poudre de chasse, surdosée en soufre, qui se rapprocherait plutôt de la poudre de mine actuelle. Rumford se donnait, dans chaque expérience, la charge de poudre, et déterminait par tâtonnement les poids nécessaires pour que le couvercle fût seulement soulevé. Il s'est ainsi proposé d'établir la relation qui

existe entre la pression développée par les gaz et la densité de chargement correspondante (p. 499).

Rumford a exécuté une première série d'expériences dans lesquelles la charge a varié de 1 à 18 grains d'Allemagne, valant chacun 0^{gr},0648. Il a ainsi obtenu des pressions croissant de 77^{mm},86 à 10 977^{mm} pour des densités de chargement variant de 0,042 à 0,756 (Pl. VII, fig. 1) :

CHARGE de poudre.	DENSITÉ de chargement $\Delta = \frac{\sigma}{C}$.	PRESSION.	CHARGE de poudre.	DENSITÉ de chargement $\Delta = \frac{\sigma}{C}$.	PRESSION.
grains		atm.	grains		atm.
1	0,042	77,86	10	0,420	1884,30
2	0,084	182,30	11	0,462	2219,00
3	0,126	228,20	12	0,504	2573,70
4	0,168	382,40	13	0,546	3283,30
5	0,210	561,20	14	0,588	4008,00
6	0,252	685,60	15	0,630	4722,50
7	0,294	811,70	16	0,672	7090,00
8	0,336	1164,80	18	0,756	10977,00
9	0,378	1551,30			

Rumford conclut, en outre, de ses expériences que la pression développée par la poudre brûlant dans son propre volume devait s'élever à 55 004 atmosphères au moins, résultat qu'il avait déduit de l'éclatement d'une éprouvette survenu dans le tir à chambre pleine : d'après Piobert, ce chiffre, obtenu par un mode de calcul défectueux, doit être abaissé à 23 000 et peut-être même à 12 000 atmosphères. — Rumford fit également exécuter une seconde série d'expériences analogues, qui mérite moins de confiance et sur laquelle nous n'insisterons pas.

Rumford a cherché à représenter les pressions observées dans la première série d'expériences que nous avons décrite par des expressions de la forme :

$$p = a\Delta, \quad p = a\Delta^1 + b\Delta,$$

dans lesquelles a et b sont deux constantes numériques, p la pression et Δ la densité de chargement. De ces deux expressions, la pre-

mière était très-défectueuse, ce qui prouvait que les pressions ne suivaient pas la loi de Mariotte; quant à la seconde, dès la septième expérience, elle indiquait 927^{mm},353 au lieu de 814^{mm},70, et l'écart moyen absolu était de 34^{mm}.

Si l'on admet que la pression est proportionnelle à une puissance de la densité, on aura :

$$p = c\Delta^n.$$

Tant que Δ reste compris entre 0,042 et 0,294, on prendra :

$$n = \frac{5}{4}, \quad c = 39,6,$$

et l'on aura les pressions avec un écart moyen absolu de 21^{mm} et un écart moyen relatif de 1/20. Si Δ varie de 0,294 à 0,630, on prendra :

$$n = \frac{7}{3}, \quad c = 146,9,$$

l'écart moyen absolu étant de 88^{mm} et l'écart moyen relatif de 1/25.

On peut enfin employer une formule déduite d'une loi autrefois formulée par Lombard, et d'après laquelle la pression croît comme le carré de la densité. On a alors, pour les valeurs de Δ comprises entre 0,252 et 0,546 :

$$p = 110,2 \Delta^2,$$

avec un écart moyen relatif de 1/27.

Les résultats de Rumford paraissent donc se prêter difficilement à une représentation exacte à l'aide d'une seule formule empirique: Sarrau a démontré qu'ils ne peuvent pas être représentés par une fonction continue. Si l'on forme, en effet, les différences premières des pressions successivement obtenues, on constate l'existence de 4 groupes distincts de ces différences, dont les moyennes, respectivement égales à 70, 143, 351 et 716^{mm}, sont entre elles à peu près comme 1, 2, 5 et 10 : on est ainsi conduit à admettre l'existence de 4 fonctions continues qui se substituent l'une à l'autre. Cette hypothèse se trouve confirmée si l'on cherche à représenter graphiquement les pressions, en prenant pour abscisse l'inverse de la racine cubique de la densité qui, dans tout système homogène, mesure l'intervalle moléculaire moyen. On obtient alors 4 droites parfaitement distinctes dont les équations, calculées par la méthode

des moindres carrés, représentent les résultats de Rumford avec un écart moyen absolu de 1^{mm},3 à 36^{mm} et un écart moyen relatif de 0,0025 à 0,0106.

Ces discontinuités de la courbe représentative des pressions, qui n'ont pu être reproduites par aucun observateur depuis Rumford, sont dues sans doute au mode d'expérimentation adopté. Peut-être aussi faut-il, avec Sarrau, en chercher l'origine dans des phénomènes complexes de dissociation moléculaire ou atomique qui conduiraient à admettre, pour chaque substance, l'existence d'une sorte d'échelle des pressions dont les degrés, successivement atteints par la variation progressive des circonstances de la combustion, doivent correspondre à autant de variations brusques de la loi des tensions.

b) Expériences de Noble et Abel (1874).

Les expériences de Rumford ont été reprises tout récemment par Noble et Abel dans des conditions sensiblement différentes. Les appareils employés ont été déjà décrits (p. 474); la mesure des pressions s'effectuait au moyen d'appareils crushers (p. 569) munis de cylindres en cuivre ou en étain.

Noble et Abel se sont proposé de déterminer comment varient les pressions avec la densité moyenne des produits de l'explosion. Ils ont opéré sur les poudres pebble, RLG et FG, en faisant varier la densité moyenne de 0,094 à 0,930; une série de 64 déterminations leur a permis de former le tableau des pressions correspondant à des densités moyennes variant par 0,05 de 0,05 à 1,00. Nous en donnerons l'extrait suivant, en réunissant dans une même colonne les pressions relatives aux poudres pebble et RLG, qui ont donné des résultats presque identiques (Pl. VII, fig. 4):

DENSITÉ moyenne des produits.	PRESSION PAR CENT. CARRÉ.		DENSITÉ moyenne des produits.	PRESSION PAR CENT. CARRÉ.	
	Pebble et RLG.	FG.		Pebble et RLG.	FG.
0,1	231 ^t ,5	231 ^t ,5	0,6	2266 ^t ,3	2308 ^t ,0
0,2	513 ,4	513 ,4	0,7	3006 ,5	2883 ,6
0,3	839 ,4	839 ,4	0,8	3942 ,0	3734 ,1
0,4	1220 ,5	1219 ,0	0,9	5112 ,1	4786 ,1
0,5	1683 ,6	1667 ,8	1,0	6567 ,3	6066 ,5

Ces résultats peuvent être représentés avec une grande approximation par une formule unique, si l'on admet l'existence de produits solides ou liquides à l'instant de la pression maximum.

En effet, de la formule (5) de la force, établie dans cette hypothèse (p. 499), on tire la valeur suivante de la pression p :

$$p = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta},$$

α représentant le volume, mesuré à la température de l'explosion T_0 , des produits liquides ou solides résultant de la combustion de 1^{re} de poudre. Si l'on applique cette formule aux résultats de Noble et Abel relatifs aux poudres pebble et RLG, en admettant pour α et pour f les valeurs suivantes, déduites de l'ensemble des observations (p. 506) :

$$\alpha = 0,6833, \quad f = 219300,$$

(les unités étant le décimètre et le kilogramme), on obtient pour les pressions une série de valeurs qui ne diffèrent pas sensiblement des résultats observés, comme le montre le tableau ci-dessous :

DENSITÉ de charge- ment.	PRESSION PAR CENTIM. CARRÉ.		DIFFÉ- RENCES.	DENSITÉ de charge- ment.	PRESSION PAR CENTIM. CARRÉ.		DIFFÉ- RENCES.
	Mesurée.	Calculée.			Mesurée.	Calculée.	
	kil.	kil.	kil.		kil.	kil.	kil.
0,1	231	235	- 4	0,6	2266	2230	+ 36
0,2	513	508	+ 5	0,7	3006	2943	+ 63
0,3	839	828	+ 11	0,8	3942	3869	+ 73
0,4	1220	1207	+ 13	0,9	5112	5127	- 15
0,5	1684	1666	+ 18	1,0	6567	6926	- 359

On est donc autorisé à admettre comme très-plausible l'hypothèse suivant laquelle les produits de la combustion de la poudre seraient, à l'instant du maximum, en partie liquides et en partie gazeux, la pression observée étant due aux seuls gaz permanents et pouvant se calculer par la loi de Mariotte, en tenant compte du volume occupé par les résidus liquides : conclusion absolument opposée aux résultats de Rumford.

§ VI.

FORMULES PRATIQUES DES VITESSES ET DES PRESSIONS
DANS LES ARMES.

Les considérations théoriques de thermo-dynamique sur lesquelles reposent ces formules ont été publiées, à diverses époques, dans le *Mémorial de l'artillerie de la marine* (*).

Depuis, l'auteur a remanié son travail et a fait de la détermination des coefficients numériques l'objet d'une nouvelle discussion.

Les formules qui suivent sont le résultat de ces nouvelles recherches.

I. FORMULE DES VITESSES INITIALES.

La vitesse initiale du projectile est représentée par la formule :

$$(1) \quad v = A\alpha(\varpi u)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\Delta}{pc}\right)^{\frac{1}{4}} \left[1 - B\beta \frac{pu^{\frac{1}{2}}}{c}\right],$$

dans laquelle on désigne par :

- c le calibre ou diamètre de l'âme,
- u la longueur de parcours du projectile (**),
- p le poids du projectile,
- ϖ le poids de la charge de poudre,
- Δ la densité de chargement (***),
- α, β deux coefficients, dits *caractéristiques*, dépendant de la nature de la poudre,

(*) Ces études ont paru dans des brochures séparées, sous les titres suivants : *Recherches théoriques sur les effets de la poudre dans les armes*, *Nouvelles recherches sur les effets de la poudre dans les armes*, *Formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes*, *Note sur les formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes*, par M. E. SARRAU, ingénieur en chef des poudres et salpêtres, Paris. Tanera, 1874-1878. — Nous devons la présente Note à l'obligeance de M. Sarrau.

(**) Cette longueur est la distance qui sépare, à la position de chargement, le culot du projectile de la tranche de la bouche. C'est cette longueur, et non la longueur totale de l'âme, qui influe directement sur la vitesse.

(***) Nous rappelons que la densité de chargement est le rapport du poids de la charge au volume de la chambre à poudre.

A, B deux constantes indépendantes de toutes les conditions du tir.

Les valeurs des constantes A et B sont les suivantes :

$$(2) \quad A = 2,064, \quad B = 0,00763,$$

les unités étant le décimètre, le kilogramme et la seconde.

II. FORMULE DE LA PRESSION MAXIMUM.

Le maximum de la pression développée par les gaz de la poudre est représenté par la formule :

$$(3) \quad P = K\alpha^2 \Delta \frac{(p\omega)^{\frac{1}{2}}}{c^2}.$$

Les éléments de cette formule ont été définis à l'article précédent. K est une constante indépendante de toutes les conditions du tir, dont la valeur est :

$$(4) \quad K = 0,02485,$$

les unités étant, comme précédemment, le décimètre, le kilogramme et la seconde. Par suite, la formule (3) donne la pression en kilogrammes par décimètre carré, et il faut diviser le résultat par 100 pour l'exprimer, suivant l'usage, en kilogrammes par centimètre carré.

III. CARACTÉRISTIQUES DE LA POUFRE.

a) Tableau des caractéristiques des poudres usuelles.

Le tableau ci-après résume les valeurs approximatives des caractéristiques α , β pour les poudres usitées en France :

ESPÈCE de poudre.	NOMBRE de grains au kilogramme.	DENSITÉ réelle.	CARACTÉRISTIQUES	
			α .	β .
W (25-30)	60	1,810	886	0,976
W (20-25)	110	1,800	979	1,192
W (16-20)	230	1,775	1060	1,245
W (13-16)	350	1,750	1077	1,442
W (10-13)	600	1,715	1186	1,749
SP ₂	405	1,810	1049	1,369
SP ₁	350	1,790	1276	2,066
C ₂	625	1,760	1415	2,531
C ₁	1570	1,745	1678	3,592

Les poudres W, ou poudres de Wetteren (p. 347), sont au dosage : salpêtre 75, soufre 12,5, charbon 12,5. Les autres poudres, de fabrication française (p. 349), sont au dosage anglais : salpêtre 75, soufre 10, charbon 15.

b) Détermination expérimentale des caractéristiques.

Pour une même poudre, caractérisée par un système de valeurs de α , β , la vitesse initiale dépend des 5 quantités :

$$c, \quad u, \quad p, \quad \omega, \quad \Delta,$$

auxquelles elle est liée par la formule (1).

On voit, d'après la forme de cette relation, que les valeurs de α , β sont déterminées quand on connaît les vitesses obtenues dans deux conditions de tir définies par deux systèmes de valeurs particulières des variables, pourvu que l'une au moins des trois premières ait, dans les deux tirs, des valeurs différentes. On a alors, en effet, deux équations distinctes entre α et β .

Soit, pour abrégé :

$$(5) \quad \left\{ \begin{array}{l} A(\omega u)^{\frac{3}{8}} \left(\frac{\Delta}{pc} \right)^{\frac{1}{4}} = \frac{1}{X}, \\ B \frac{(pu)^{\frac{1}{2}}}{c} = Y. \end{array} \right.$$

L'équation (1) peut s'écrire :

$$Xv = \alpha - \alpha\beta Y.$$

Désignant par $X_1, Y_1; X_2, Y_2$, deux systèmes de valeurs particulières de X, Y , et par v_1, v_2 les vitesses mesurées correspondantes, on a les deux équations :

$$\begin{cases} X_1 v_1 = \alpha - \alpha\beta Y_1, \\ X_2 v_2 = \alpha - \alpha\beta Y_2. \end{cases}$$

On calcule d'abord $\alpha\beta$ par la formule :

$$\alpha\beta = \frac{X_2 v_2 - X_1 v_1}{Y_1 - Y_2},$$

puis α par les deux relations :

$$\begin{aligned} \alpha &= X_1 v_1 + \alpha\beta Y_1, \\ \alpha &= X_2 v_2 + \alpha\beta Y_2, \end{aligned}$$

qui se vérifient mutuellement. On a enfin β en divisant l'un par l'autre les deux nombres ainsi obtenus.

c) Calcul des caractéristiques d'une poudre d'après ses propriétés physiques.

On peut aussi obtenir des valeurs approchées de α, β , en se fondant sur les relations théoriques :

$$(6) \quad \alpha = \left(\frac{fa}{\tau}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad \beta = \frac{\lambda}{\tau},$$

dans lesquelles on désigne par :

- f la force de la poudre (p. 492),
- τ la durée de la combustion du grain sous la pression atmosphérique normale,
- α, λ deux coefficients dépendant de la forme du grain.

Valeurs de f . — On peut supposer approximativement, pour les poudres usuelles (p. 510) :

- 1° $f = 268\,000$, pour les poudres de Wetteren (*);
- 2° $f = 261\,000$, pour les poudres de fabrication française (p. 500).

(*) Les valeurs des constantes A, B de la formule (1) ayant été déterminées par le

Valeurs de τ . — La durée de combustion d'un grain est donnée par la formule :

$$(7) \quad \tau = \frac{e}{2w},$$

où l'on désigne par :

- e la moindre dimension du grain,
- w la vitesse de combustion de la matière du grain.

La vitesse de combustion sous la pression atmosphérique normale varie, suivant des lois imparfaitement connues (p. 454), avec les conditions de la fabrication. On peut supposer approximativement que cet élément varie :

- 1° De 10 à 13^m par seconde, pour les poudres de Wetteren;
- 2° De 12 à 15^m par seconde, pour les poudres au dosage anglais de fabrication française.

Valeurs de a , λ . — Les grains de poudre usités dans la pratique peuvent être :

1° Complètement irréguliers. — Dans ce cas, on leur substitue une sphère moyenne (*).

2° Parallélipédiques. — Un grain parallélipédique est caractérisé par les rapports x , y de la moindre des trois dimensions aux deux autres. On a fréquemment $y = x$. Quand $y = x = 1$, le grain est cubique.

tir, dans deux conditions différentes, d'une poudre française dont les caractéristiques avaient été calculées à l'aide des formules (6), on a pu en déduire expérimentalement, comme nous l'avons montré, les caractéristiques α , β d'une poudre de Wetteren et, par suite, la valeur de la force f des poudres W, en vertu des relations :

$$(6') \quad f = \frac{\tau \alpha^2}{a}, \quad \tau = \frac{\lambda}{\beta}.$$

Ces dernières formules, jointes à la relation (7), permettent ainsi de déterminer par l'expérience (α , β) la force f et la vitesse de combustion w d'une poudre dont les grains ont une forme (a , λ) et une dimension minimum e connues. On peut de même calculer la force f et la dimension minimum des grains e , pour une poudre dont la forme et le mode de fabrication sont donnés et qui doit satisfaire à des conditions de tir également déterminées.

(*) Le rayon du grain sphérique moyen se calcule par la formule :

$$r = \left(\frac{3}{4\pi\delta N} \right)^{\frac{1}{3}},$$

N étant le nombre de grains au kilogramme et δ la densité réelle du grain.

3° Cylindriques percés. — Un grain cylindrique percé suivant son axe d'un trou cylindrique présente deux dimensions : la hauteur du cylindre et la différence des rayons des bases. Il est caractérisé par le rapport x de la moindre de ces deux dimensions à la plus grande.

Les valeurs de a , λ correspondant à ces trois cas sont résumées dans le tableau ci-après :

DÉSIGNATION DE LA FORME DU GRAIN.	VALEURS DES COEFFICIENTS	
	a .	λ .
Sphérique ou cubique.	3	1
Parallépipédique.	$1 + x + y$	$\frac{x + y + xy}{1 + x + y}$
Cylindrique percé.	$1 + x$	$\frac{x}{1 + x}$

IV. MAXIMUM DES VITESSES.

Quand on substitue dans la formule (1) les valeurs (6) de α , β , on en déduit que, si l'on fait varier τ , pour des valeurs données de tous les autres éléments, la vitesse passe par un maximum.

La valeur de τ correspondant à ce maximum est donnée par la relation :

$$(8) \quad B \frac{\lambda(pu)^{\frac{1}{2}}}{\tau c} = \frac{1}{3},$$

et, en désignant cette valeur par τ_1 , on a :

$$(9) \quad \tau_1 = 3B \frac{\lambda(pu)^{\frac{1}{2}}}{c}.$$

Le maximum de la vitesse est donné par la formule :

$$(10) \quad v_1 = A_1 \left(\frac{fa}{\lambda} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\omega^{\frac{3}{8}} \Delta^{\frac{1}{4}} c^{\frac{1}{4}} u^{\frac{1}{8}}}{p^{\frac{1}{2}}},$$

la valeur numérique de la constante étant :

$$A_1 = 13,643.$$

V. REMARQUES SUR L'EMPLOI DE LA FORMULE DES VITESSES.

La formule (4) suppose essentiellement l'emploi d'une poudre elle que la durée de l'inflammation de la charge soit négligeable par rapport à la durée de la combustion du grain. Cette condition est réalisée depuis l'adoption, à peu près générale aujourd'hui, des poudres progressives.

Il est aussi à remarquer que cette formule donne généralement des résultats *trop faibles*, quand on l'applique à des conditions de tir telles que la valeur numérique du second terme du facteur :

$$\left[1 - B^2 \frac{(pu)^{\frac{1}{2}}}{c} \right],$$

dépasse 1/3.

Ces conditions sont d'ailleurs à éviter dans la pratique. En effet, la relation (8) montre qu'elles résultent du choix d'une poudre plus vive que celle du maximum de vitesse : elles entraînent, par suite, un abaissement de la vitesse et un accroissement de la pression.

SECTION IV.

APPAREILS DE MESURE DES EFFETS BALISTIQUES DE LA POUDRE.

Les appareils de mesure des effets balistiques de la poudre se divisent en deux catégories principales :

1° Les appareils destinés à mesurer le mouvement imprimé par les gaz de la poudre, soit au projectile, soit à la pièce elle-même ou à un appendice spécial relié à celle-ci ;

2° Les appareils destinés à mesurer l'action des gaz sur les parois de l'âme ou de la chambre à poudre, c'est-à-dire les pressions intérieures.

CHAPITRE I.

MESURE DES VITESSES, PORTÉES ET RÉACTIONS.

Les appareils de cette catégorie se partagent en deux classes :

- 1° Les éprouvettes ;
 - 2° Les appareils électro-balistiques.
-

§ I.

ÉPROUVETTES.

Parmi les éprouvettes, on peut distinguer :

- 1° Les bouches à feu ordinaires ;
- 2° Les éprouvettes à ressort, dans lesquelles la résistance à vaincre est constituée par un ressort ;
- 3° Les éprouvettes à poids, dans lesquelles la résistance est réalisée par un poids qui se trouve en relation avec une pièce auxiliaire ;
- 4° Les éprouvettes à réaction, dans lesquelles on mesure le déplacement produit par la réaction des gaz.

[I. BOUCHES A FEU ORDINAIRES.

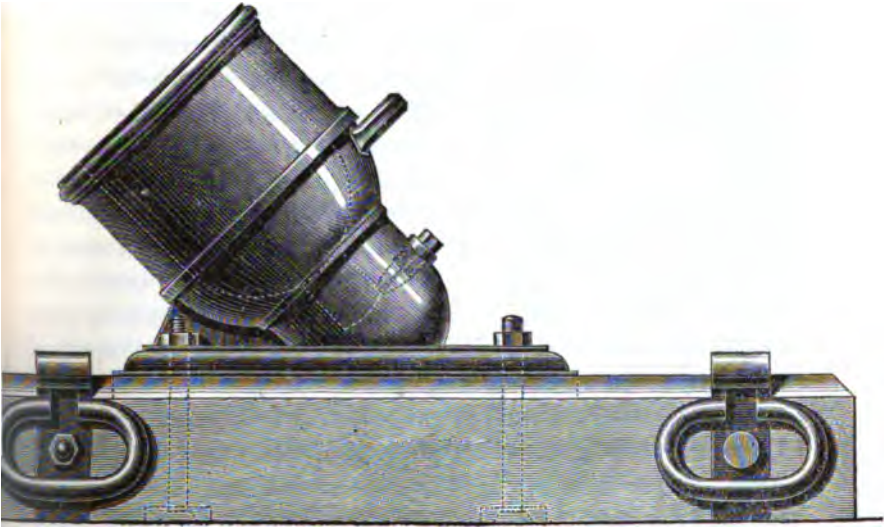
a) Mortier-épreuve.

Le mortier-épreuve permet de mesurer la portée du projectile.

Le mortier (*fig. 47*) est coulé en un seul bloc de fonte ou de bronze avec la semelle sur laquelle il repose ; son axe fait un angle de 45° avec le plan de la semelle. Cette dernière est fixée sur une forte

planche en chêne, traversée par 4 boulons qui servent, au moyen de vis de pression, à assujettir solidement le mortier; la planche est renforcée, à ses deux extrémités, par des liens en fer munis de poi-

Fig. 47.



gnées qui permettent de soulever l'appareil. — Le projectile est un globe en fonte ou en bronze (*fig. 48*), dont le diamètre varie de 0^m,1895 à 0^m,19. Un trou taraudé, ménagé dans le globe, permet de le saisir au moyen d'une poignée mobile terminée par une vis (*fig. 49*),

Fig. 48.



Fig. 49.



Fig. 50.



de le soulever et de le placer dans le mortier; dès que le globe est en place, on dévisse la poignée, qu'on remplace par un bouchon taraudé (*fig. 50*). La charge de poudre est de 92^m; le poids du globe, qui s'élève, en France, jusqu'à 29^k,7, est en moyenne de 29^k,3.

Pour exécuter une épreuve au mortier, on prend 560^m de poudre

dans un baril et on les verse, soit dans un flacon de verre, soit dans une boîte en fer-blanc. On mesure alors avec le plus grand soin le diamètre intérieur du mortier, celui du trou de lumière et celui du globe : le premier doit être de 0^m,1912, le second de 0^m,0034 et le troisième de 0^m,1895. En Allemagne, le globe doit peser exactement 29^g,37 ; le poids du mortier, avec son billot de bois et ses garnitures, doit être compris entre 210 et 215^g. Le mortier est installé sur une plate-forme horizontale, qui repose sur un massif en maçonnerie et se compose de madriers parfaitement dressés, ayant 0^m,16 de hauteur sur 0^m,40 de longueur et réunis par deux fortes traverses : ces madriers sont disposés parallèlement à la direction du tir. Le terrain où tombe le globe ne doit être ni dur, ni pierreux : sinon, on le creuserait sur 1^m de profondeur, et l'on y porterait du sable fin purgé de cailloux ou de la terre glaise. — On introduit la charge de 92^g de poudre à l'aide d'un entonnoir recourbé ; on place le globe de manière que le trou de vis soit au centre de l'ouverture du mortier, on dévisse la poignée qu'on remplace par le bouchon taraudé, on place une mèche dans le trou de lumière et l'on allume. Le premier coup n'est pas compté et ne sert qu'à flamber le mortier. Après chaque coup, on lave la chambre et l'âme du mortier ; on nettoie également le globe : sans cette précaution, les matières huileuses et terreuses adhérentes aux parois de l'âme et au projectile réduiraient le vent au point de modifier la portée.

En France, les mortiers-épreuves sont, depuis 1839, coulés en fonte, ainsi que leurs globes. La portée minimum des anciennes poudres de guerre était fixée à 225^m ; la portée moyenne de la poudre B était de 221^m, et celle de la poudre MC₃₀ est de 227^m.

En Allemagne, la limite inférieure de la portée des poudres de guerre est de 235^m pour les mortiers en fonte, et de 225^m pour les mortiers en bronze.

En Prusse, la portée moyenne de la poudre soumise à l'épreuve ne doit pas s'écarter de plus de 15 pas en plus ou en moins de celle de la poudre normale de même espèce. Cette dernière portée, avec le mortier de bronze, est comprise entre 278^m,24 et 285^m,76 (74 et 76 perches) pour la poudre à canon, et entre 285^m,76 et 293^m,28 (76 et 78 perches) pour la poudre à fusil.

En Belgique, on prend deux échantillons de 280^g chacun. L'un d'eux est soumis à l'épreuve décrite ci-dessus. Le second est humecté et séché de nouveau : à cet effet, on le verse dans une boîte

en fer-blanc, qu'on place dans un panier recouvert d'une couverture de laine humide, et on porte le tout dans une caisse; puis on sèche la poudre quand elle a repris 5 à 7 p. 100 d'eau. Ce procédé est absolument défectueux: par une pareille manipulation, la constitution de la poudre s'altère, le grain devient poreux et, par suite, plus inflammable.

Les mortiers, surtout ceux de bronze, s'usent par le tir et donnent des portées de plus en plus faibles. Aussi compare-t-on les poudres soumises à l'épreuve à une poudre normale, convenablement choisie dans la fabrication courante de la poudre à canon; on la sèche avec soin et on la conserve dans des flacons de verre ou dans des vases en fer-blanc hermétiquement fermés. La portée actuelle de cette poudre, comparée avec sa portée primitive obtenue avec le même mortier, indique la perte due à l'altération de l'appareil et les corrections à affectuer sur les portées. On détermine la portée de la poudre normale en tirant 6 coups, dont on prend la moyenne. On ne doit pas tirer plus de 50 coups, au mortier en fonte, et plus de 25 coups, au mortier en bronze, sans répéter cette opération. En France, quand la portée de la poudre normale est inférieure à 200", on essaie un globe neuf, et, si les portées ne remontent pas, le mortier est mis au rebut.

Cet appareil d'épreuve donne prise aux objections les plus sérieuses.

En premier lieu, il ne fournit pas des résultats directement comparables aux différentes époques de son emploi; on lui a même reproché, peut-être à tort, de donner des portées variables suivant l'instant de la journée où se fait l'épreuve.

En outre, il faut tenir compte de l'influence du vent du projectile et du trou de lumière sur l'échappement des gaz; ce dernier augmente à proportion de l'usure du globe et du mortier.

Enfin, le mortier-épreuve, considéré comme appareil d'épreuve des poudres de guerre, donnerait un classement exactement inverse de celui qu'on obtiendrait par le tir de ces mêmes poudres dans les armes auxquelles elles sont destinées: c'est ainsi qu'en fixant la portée réglementaire, qui était de 180" (1769), à 200" (1791), puis à 223" (1824), les anciens artilleurs ont été amenés à fabriquer des produits de moins en moins satisfaisants. Le mortier est, en effet, un canon à âme très-courte, tiré à très-faible charge; or, suivant l'observation de Maguin, pour obtenir de bonnes portées avec un semblable appareil, il faut des poudres peu denses et d'un grain fin, tan-

dis que les poudres denses et d'un gros grain, tirées à fortes charges, donnent des vitesses élevées au canon : on s'explique ainsi que l'accroissement de portée au mortier ait dû correspondre à une diminution de vitesse au canon, et ce double effet s'est trouvé réalisé par une réduction progressive de la durée de trituration des matières sous les pilons (p. 242). Des expériences exécutées à Spandau ont d'ailleurs établi que des poudres d'ancienne fabrication, qui ne donnaient au mortier que des portées insignifiantes, se relevaient quand on les tirait à forte charge dans les canons ; aussi ne met-on jamais, en Prusse, les vieilles poudres au rebut après une simple épreuve au mortier.

Toutefois, le mortier-épreuve peut donner quelques indications utiles pour les poudres actuelles, dont la période d'inflammation est, à l'inverse des anciennes poudres, absolument négligeable (p. 514). On peut, en effet, dans ce cas, lui appliquer les formules de Sarrau (p. 508), en négligeant le second terme des vitesses à cause de la petitesse de u par rapport à c ; il vient alors :

$$v = A \left(\frac{fa}{\tau} \right)^{\frac{1}{2}} (\varpi u)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\Delta}{pc} \right)^{\frac{1}{2}},$$

$$P = K \frac{fa}{\tau} \Delta \frac{(p\varpi)^{\frac{1}{2}}}{c^3}.$$

On voit que la nature de la poudre n'entre plus dans les expressions de la vitesse et de la pression maximum que par le facteur $\frac{fa}{\tau}$, de sorte que la variation de τ a une influence sensible sur les vitesses. En outre, pour un mortier donné et des conditions de chargement données, la vitesse est proportionnelle à la racine carrée de la pression ; or, on démontre que l'on a, en négligeant la résistance de l'air à cause de la faiblesse des vitesses (40 ou 50^m) :

$$v^2 = gX,$$

X désignant la portée et g l'accélération due à la pesanteur. On en déduit :

$$P = hX,$$

h étant une constante.

La portée obtenue au mortier-épreuve peut donc donner, avec

une certaine approximation, les valeurs de la vitesse et de la pression maximum correspondant aux différentes poudres. On pourrait d'ailleurs augmenter ces effets dans de grandes proportions en achevant de remplir la chambre avec une rondelle de bois ou de toute autre matière : cela revient, en effet, à réduire considérablement le calibre; or, ce dernier n'entre qu'au dénominateur dans les expressions de v et de P .

b) Fusil d'infanterie.

L'épreuve au fusil a pour but de mesurer la force de percussion de la poudre.

En Prusse, on charge le fusil d'infanterie du calibre de 15^{mm} avec 7^g,3 de poudre sèche, et l'on en tire 10 coups contre un nombre déterminé de planches de sapin; on répète l'opération avec de la poudre humide, dont les cartouches ont séjourné 21 jours dans une pièce humide. Les balles tirées avec la poudre sèche doivent traverser 5 à 7 planches de 26^{mm} d'épaisseur, placées à 78^{mm} d'intervalle; les balles tirées avec la poudre humide en doivent traverser 4 à 6.

En Angleterre, le fusil a 19^{mm} de calibre et la charge est de 7^g,4; la balle est en acier et doit transpercer un nombre déterminé de planches d'orme humectées, ayant 12^{mm},6 d'épaisseur et distantes de 19^{mm}; la première planche est à 12^m,04 de la bouche. Une bonne poudre doit faire traverser à la balle 15 ou 16 planches.

Ce mode d'épreuve a l'inconvénient de donner des résultats tout à fait incertains. Il est impossible, en effet, même en n'employant qu'une seule espèce de bois, d'obtenir des planches dont la résistance soit parfaitement uniforme.

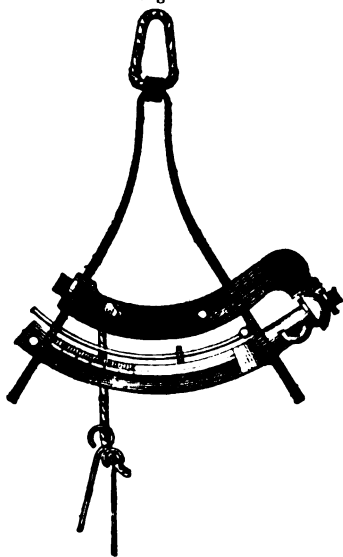
II. ÉPROUVETTES A RESSORT.

a) Éprouvette à main de Régnier.

L'éprouvette de Régnier (*fig. 51*), qui sert à l'épreuve des poudres de chasse, se compose d'un ressort à deux branches en acier, librement suspendu et portant un petit canon assujéti de telle sorte que sa bouche s'appuie contre l'extrémité de l'une des branches, tandis que le bouton de culasse fait corps avec une traverse en fer, en forme de crochet, reliée à l'autre branche. Au renfort du canon est fixé

un arc gradué, divisé en 30 parties, sur lequel se meut un index en maroquin. La charge est de 1^{re} de poudre.

Fig. 51.



Pour faire l'épreuve, on rapproche les deux branches et, avant d'enflammer, on place l'index exactement au zéro de la division. La poudre de chasse fine marque, en moyenne, 14°, et la poudre de chasse superfine 19°. En France, les indications de la poudre éprouvée ne doivent pas être inférieures de plus de 1°,5 à celles de la poudre type de même espèce.

Cet appareil est plus sensible que le mortier; il exige toutefois, en raison des inégalités de résistance du ressort, que chaque épreuve soit contrôlée par le tir d'une poudre connue d'avance.

b) Éprouvette-pistolet de Saint-Rémy (1697).

L'éprouvette de Saint-Rémy (fig. 52) a la forme d'un pistolet. A l'endroit où se trouve la chambre à poudre dans les pistolets ordinaires à platine, est disposé un petit mortier vertical sur lequel s'ap-

Fig. 52.



plique un épaulement légèrement recourbé qui arme une roue dentée, mobile autour de son axe et placée à peu près vers le milieu du canon. A l'extrémité du pistolet se trouve un ressort qui presse

contre la roue dentée, de telle sorte que l'épaulement bouche l'ouverture du mortier.

On charge celui-ci de 0^r,7 à 0^r,9 de poudre, en abattant le ressort, qu'on peut serrer ou desserrer à volonté au moyen d'une vis; puis on met en place l'épaulement, on monte le ressort, de manière qu'il puisse agir librement sur la roue, et l'on allume. Le nombre de dents dont la roue a tourné mesure la force de la poudre.

Cet instrument est moins bon que le précédent. Il exige toujours le tir comparatif d'une poudre normale.

On peut, en général, faire aux éprouvettes à ressort le reproche de n'être pas comparables entre elles : chaque modèle a sa force de ressort spéciale et donne, par suite, des résultats spéciaux. En outre, les ressorts s'affaiblissent par l'usage et subissent d'une manière continue l'influence de la température ambiante, de sorte que les indications d'un même appareil sont elles-mêmes peu comparables d'une épreuve à l'autre.

III. ÉPROUVETTES A POIDS.

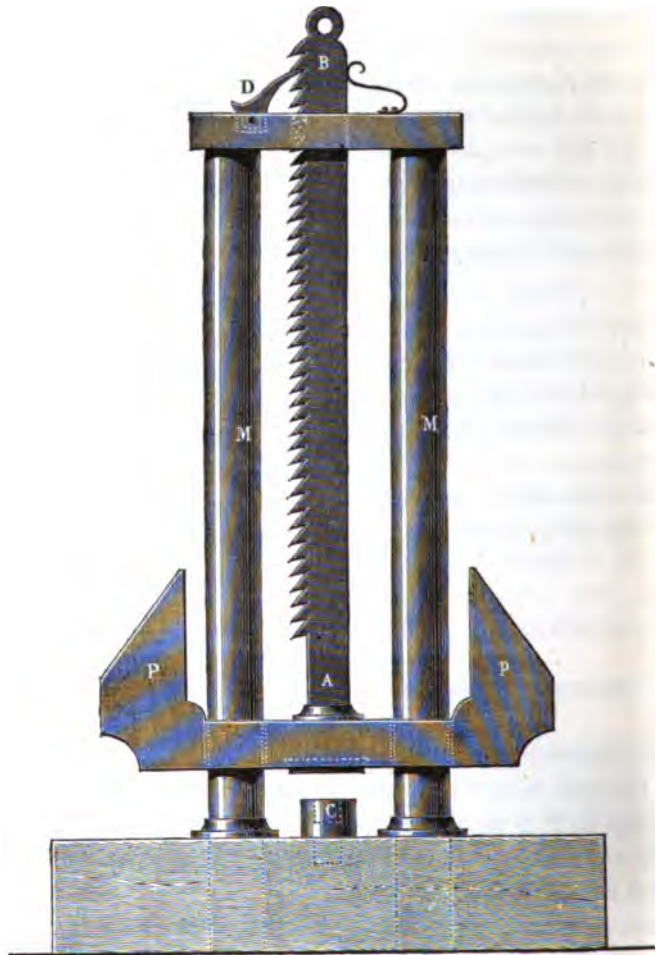
a) Éprouvette à crémaillère.

Cette éprouvette, dite autrichienne, est citée par Furtenbach dès 1629. Un petit mortier vertical C (*fig. 53*), fixé sur une plaque de fer, est chargé de 1^r,5 de poudre et fermé par une pièce PP pesant 2^r,5, qui est en relation avec la crémaillère AB et se meut librement le long des montants MM.

Si l'on enflamme la poudre, la pièce PP monte, entraînant la tige dentée que la patte D empêche de redescendre. On mesure la hauteur du lancé par le nombre des dents situées au-dessus la patte; on compte ainsi par degrés. La poudre de mine doit donner 25 à 30°, la poudre à canon 60 à 65°, la poudre à fusil 70 à 90°, et la poudre de butte (poudre pour tirer à la cible) 120 à 150°.

Cet appareil donne des résultats suffisamment concordants avec ceux de l'éprouvette à main de Régnier (p. 524). Les principales causes d'erreur résident dans l'échappement des gaz par le trou de lumière, les frottements du poids PP contre les montants et les inégalités de résistance de la patte D.

Fig. 53.

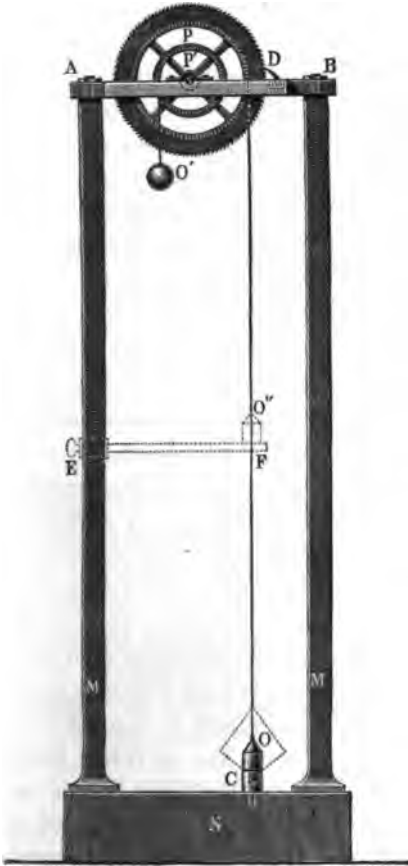


b) Éprouvette de Colson.

Sur un petit mortier C (*fig. 54*), dont la chambre contient 2^r de poudre, repose un poids O, suspendu par un cordon de soie à la poulie *p* qui tourne librement autour de son axe. Cette poulie, dont les tourillons sont supportés par la traverse AB, est dentée et munie d'une graduation sur sa circonférence; la rainure ménagée dans la poulie et à laquelle est fixée l'une des extrémités du cordon de soie, a une largeur de 0^m,2292. Sur l'axe de la poulie *p* est disposée une

poulie p' de diamètre moitié moindre, portant également une rainure dans laquelle passe un cordon enroulé en sens inverse du premier ; un poids O' , plus léger que O , suspendu à une extrémité de ce cordon, a pour but de faire tourner les deux poulies de la droite vers la gauche. La patte D , qui engrène avec les dents de la poulie p , sert à empêcher la rotation de la gauche vers la droite.

Fig. 54.



Pour procéder à une épreuve, on charge le petit mortier, sur la bouche duquel on place le poids O ; le petit poids O' se trouve alors à son maximum de hauteur. Quand on enflamme la poudre, le poids O est lancé verticalement ; le cordon de la poulie p se trouvant détendu, le poids O' entraîne le système de la droite vers la gauche, et le cordon du poids O s'enroule sur la poulie p . Dès que le poids O tend à retomber et à faire tourner le système en sens inverse, le mouvement est arrêté par la patte D : on peut alors mesurer la rotation qui s'est produite et en déduire la force de projection de la poudre.

Dans ce mode d'opérer, on élimine de la manière suivante l'influence des frottements, qu'il est impossible d'éviter. On pousse la planchette F , qu'on peut à volonté fixer à différentes hauteurs au moyen de la vis E , exactement au-dessous de O'' ($O'' = O$), on relève O' jusqu'à sa hauteur primitive et on le laisse retomber librement : le cordon de O' s'enroule sur la poulie p , et, au moment où il se trouve tendu, toute la quantité de mouvement acquise par le poids

inverse, le mouvement est arrêté par la patte D : on peut alors mesurer la rotation qui s'est produite et en déduire la force de projection de la poudre.

Dans ce mode d'opérer, on élimine de la manière suivante l'influence des frottements, qu'il est impossible d'éviter. On pousse la planchette F , qu'on peut à volonté fixer à différentes hauteurs au moyen de la vis E , exactement au-dessous de O'' ($O'' = O$), on relève O' jusqu'à sa hauteur primitive et on le laisse retomber librement : le cordon de O' s'enroule sur la poulie p , et, au moment où il se trouve tendu, toute la quantité de mouvement acquise par le poids

O' lui est communiquée, de sorte que O'' remonte d'une certaine hauteur. Il faut retrancher cette hauteur de celle qu'on a observée pendant l'épreuve, si l'on veut ne tenir compte que de l'action exercée par la seule force de la poudre.

Colson a proposé, en outre, une disposition très-ingénieuse pour empêcher les pertes de gaz par le trou de lumière. Devant la lumière se trouve un petit canal conique dans lequel s'adapte exactement un coin creux, fermé vers la pointe et portant un trou sur le côté. Ce coin est chargé de poudre et introduit dans le canal de façon que le trou latéral coïncide avec la lumière; puis on met le feu: dès que la flamme a passé dans le mortier, le recul fait pénétrer le coin plus profondément dans le canal et bouche le trou de lumière.

Des documents français semblent indiquer que l'appareil de Colson permet de différencier les poudres plus facilement que le mortier-épreuve, sous le rapport de leur inflammabilité et même de leur composition en charbon noir ou en charbon roux. Toutefois, pour les poudres dont les grosseurs de grains seraient sensiblement différentes, on ne peut espérer la même précision que dans les épreuves à forte charge.

c) Épreuve de Dupont.

Cette épreuve, employée en Amérique, se compose d'un petit canon vertical, dont l'âme reçoit une charge de fusil ordinaire et sur la bouche duquel repose un poids de 2^l, assujéti à l'un des bras d'un levier; à l'extrémité mobile du levier est fixé un ruban divisé en degrés. Quand on met le feu, le poids est lancé en l'air et entraîne le ruban; dès que le poids atteint son élévation maximum, le ruban est arrêté par un ressort. On mesure ainsi la hauteur du lancé due à l'explosion de la poudre.

Cet appareil a le grave inconvénient de donner les mêmes résultats pour des poudres faibles, à inflammation rapide, et pour des poudres fortes, à inflammation lente.

d) Épreuve de Meier.

Cette épreuve est le mortier d'épreuve employé en Suède. L'axe de l'appareil fait avec le plan du support un angle de 84° environ. Le globe, qui est en bronze, pèse 14^l; il est muni d'une agrafe dans laquelle passe un ruban de soie, long de 18 aunes et divisé en pouces. Ce ruban glisse sur un cylindre de verre lorsque le globe est

projeté ; il est pressé contre le cylindre par un ressort. Une caisse remplie de paille, placée à côté du mortier, sert à recevoir le globe. La charge de poudre est de 0^{mes},75.

Pour faire une épreuve, on flambe trois fois le mortier, puis on fait partir une charge sans globe et l'on commence le tir régulier. On introduit la charge à l'aide d'un entonnoir, après avoir placé l'épinglette dans le trou de lumière; ce dernier est ensuite rempli de poussier, qu'on enflamme. Après chaque coup, le mortier et le globe sont nettoyés, d'abord avec un linge humide, puis avec un linge sec. On prélève sur chaque quintal de poudre 0^{mes},25 pour les épreuves. On commence par tirer une poudre normale; la poudre à essayer doit indiquer une hauteur de lancé égale à 93 p. 100 de celle de la première poudre.

IV. ÉPROUVETTES A RÉACTION.

a) Éprouvette de Metr.

Un système de deux tiges articulées en forme de tenailles porte, à une extrémité, deux globes pesants et, à l'autre, deux petits mortiers. On charge l'un des mortiers et on le pousse contre le second, qui lui sert de couvercle. Un arc gradué permet de mesurer l'écartement des deux globes produit par le tir.

Les inégalités de frottement dans l'articulation, les variations de longueur des bras sous l'influence de la température et la petitesse de la charge conduisent aux résultats les moins satisfaisants.

b) Éprouvette à levier.

Cet appareil se compose d'un levier coudé, dont les deux bras ont la même longueur et sont amenés, avant l'épreuve, dans la position horizontale : à l'extrémité de l'un des bras se trouve un petit mortier; l'autre bras porte un poids destiné à faire exactement équilibre au premier bras, quand le mortier est chargé de 2" de poudre.

On enflamme la charge à l'aide d'une mèche : le bras qui porte le mortier est repoussé vers le bas, tandis que l'autre remonte; un petit arrêt, fixé au bout du premier bras, glisse, pendant son mouvement vers le bas, contre les dents d'un arc vertical, et empêche ainsi le retour à la position initiale. Le nombre de degrés parcourus, déduit de 4 coups consécutifs dont on prend la moyenne, mesure la force de la poudre. La poudre de butte doit en in-

diquer 130, la poudre à fusil 80, la poudre à canon 60 et la poudre de mine 22.

c) Canon-pendule de Hutton et pendule balistique.

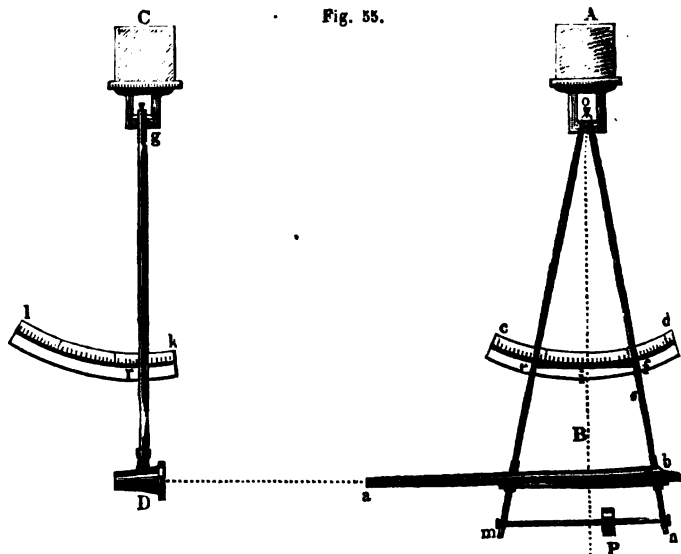
Un canon est suspendu dans un cadre en fer qui repose, comme un fléau de balance, sur des couteaux en acier dur ; tout le système est supporté par de forts piliers en maçonnerie. Un arc de cercle gradué, en cuivre ou en laiton, sert à mesurer le recul du canon ; un vernier, entraîné par le mouvement et arrêté à l'extrémité de sa course par un faible ressort, permet de lire les secondes. Au repos, l'axe du canon doit être horizontal et le vernier amené au zéro de la graduation. On déduit la force de la poudre du recul du canon, que l'on évalue en degrés.

Ce système a été complété par un pendule balistique, destiné à recevoir des boulets de tout calibre et entièrement analogue à celui que nous décrirons au sujet du fusil-pendule de d'Arcey.

Cet appareil manque de sensibilité : les poudres les moins semblables ne donnent que des résultats très-peu différents.

d) Fusil-pendule de d'Arcey et pendule balistique.

Le fusil-pendule, dont la première idée est due au chevalier d'Arcey, se compose d'un canon de fusil *ab* (*fig. 55*), reposant sur un



support de fer fixé dans un cadre en fer *omn*, qui oscille sur deux couteaux *o*; la tige *mn*, que l'on peut visser à différentes hauteurs, porte une masse mobile en plomb *p*, qui permet d'amener le centre d'oscillation du pendule au point de concours de l'axe du fusil et de la verticale passant par le centre de gravité. En *i* se trouve une pointe qui fait mouvoir un index sur l'arc gradué *cd*. On mesure ainsi le nombre de degrés correspondant au recul du fusil-pendule.

Le pendule balistique CD, qui oscille également sur deux couteaux, porte un cône creux en bronze, rempli d'une masse de plomb moulée et dont l'axe passe par le centre d'oscillation du pendule. La balle du fusil pénètre dans la masse de plomb, et l'on mesure, à l'aide d'un arc gradué, la force de percussion de la poudre employée. L'idée du pendule balistique est due à Robins.

Chaque pendule pèse 25^l. La charge d'épreuve est de 40^g pour les poudres de guerre, et de 5^g pour les poudres de chasse. On renouvelle la masse de plomb à chaque coup. On introduit la poudre à l'aide d'un entonnoir, dont le col pénètre jusqu'à la chambre et que l'on maintient vertical dans le canon, après avoir fermé la lumière par une épinglette; puis on enfonce la balle, enveloppée d'un morceau de papier rectangulaire pesant 0^g,7, au moyen d'une baguette pesant 1^g,476, qu'on laisse tomber d'une hauteur de 0^m,15. On place le canon sur son support dans la position horizontale, on l'assujettit à l'aide de vis qui traversent les parois du cadre, on répand un peu de poussier sur le trou de lumière, et l'on met le feu avec une mèche sans toucher au canon. On fait les lectures sur les deux arcs gradués, et l'on note la hauteur du *point d'impact*, c'est-à-dire la distance verticale du point de percussion de la balle à l'axe du fusil.

Le recul du pendule balistique donne seul des indications permettant de calculer, avec une approximation suffisante, la vitesse initiale de la balle; celle-ci a pour expression l'une des deux formules suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} v = \frac{2}{bi} \sqrt{g(pkG + bi^2)(pG + bi)} \sin \frac{A}{2}, \\ v = \frac{1}{bi} \sqrt{g(pkG + bi^2)(pG + bi)} \frac{C}{R}, \end{array} \right.$$

où l'on désigne par :

b le poids de la balle,

p le poids du pendule balistique chargé,
 i la distance du point d'impact à l'axe de rotation,
 g l'accélération due à la pesanteur,
 k la longueur du pendule synchrone,
 G la distance du centre de gravité du pendule à l'axe de rotation,
 A l'angle d'écart du pendule,
 C la corde de cet angle,
 R le rayon de l'arc gradué.

Une petite tige en cuivre ou en laiton, mobile autour d'une de ses extrémités fixée au zéro de la graduation, permet de mesurer la corde C . On évalue la longueur k du pendule synchrone en déterminant, à l'aide d'un chronomètre à pointage, la durée de 500 oscillations; on en déduit la durée T d'une oscillation et, par suite :

$$k = \frac{gT^2}{\pi^2}.$$

Le poids p du pendule s'obtient en pesant séparément chaque pièce. Quant à la distance G du centre de gravité à l'axe de rotation, on la détermine approximativement en mettant le pendule en équilibre, dans deux positions différentes, sur l'arête vive d'une règle en fer à biseau : on obtient ainsi deux plans dont l'intersection contient le centre de gravité, et, si l'on a choisi ces deux plans de telle manière que, dans la position normale du pendule, leur intersection soit horizontale, il suffira d'en mesurer la distance à l'axe de rotation.

Les vitesses obtenues à la charge de 40^g, pour les poudres de guerre des pilons, ne doivent pas être inférieures à 450^m; pour la poudre B, la vitesse devait atteindre 570^m; pour la poudre MC₂, elle est de 485^m environ (p. 365 et 366). Quant aux poudres de chasse, les limites inférieures des vitesses, à la charge de 5^g, sont respectivement de 330^m, 350^m et 375^m pour les poudres fine, superfine et extrafine (p. 367). Enfin, les poudres de mine fin grain donnent 300^m environ à la charge de 5^g, et les poudres de commerce extérieur de 430 à 500^m à la charge de 10^g.

e) Éprouvette hydrostatique de Régnier.

Dans ce mode d'épreuve, on mesure la réaction d'un petit mortier sur un flotteur. Le principe de cette détermination est dû à

Bottée, qui brûlait la poudre à l'air libre sur une plaque métallique portée par un flotteur :

Fig. 56.



Dans un cylindre creux en tôle *a* (fig. 56) se trouve un flotteur *b* lesté par une surcharge *c*. Ce flotteur porte, à sa partie supérieure, un tube en laiton *d* poli et gradué, à l'extrémité duquel on introduit le petit mortier *e*; ce dernier est muni d'un couvercle percé d'une petite ouverture circulaire, permettant d'introduire la charge et la mèche. Le mortier, qui peut contenir 6^{es} de poudre, n'en reçoit le plus souvent que 2^{es}. En *f* est un anneau circulaire en laiton supporté par quatre montants.

Pour exécuter une épreuve, on remplit d'eau le cylindre jusqu'aux trois quarts de son volume, en ayant soin que la température de l'eau reste autant que possible constante; on y plonge le flotteur avec le tube divisé et le mortier chargé, puis on ajoute de l'eau dans le cylindre jusqu'à ce que le zéro de la graduation affleure le bord *f* de l'anneau. On répand à la surface de l'eau de la sciure de bois ou de la poudre de lycopode, qui servent à déterminer le degré d'enfoncement du flotteur au moment de la déflagration, et l'on met le feu. A la charge de 4^{es},

la poudre de chasse fine marque 110°, et la poudre superfine 156°.

Cet appareil donne des résultats très-concordants, si l'on s'assure que la température de l'eau reste parfaitement constante. On peut craindre, toutefois, que quelques grains de la charge ne soient projetés par l'ouverture du couvercle sans agir sur le flotteur.

f) Éprouvette dynamométrique de Melsens.

L'appareil de Melsens ne diffère pas, dans son ensemble, du flotteur de Régnier. Le mortier porte des évidements cylindriques ou cylindro-coniques, et l'on peut, en vissant une série de lumières, le munir d'orifices de sortie correspondant à ces évidements.

On dispose le flotteur ou l'aréomètre, qui pèse 4^r,95, dans le cylindre où l'on a versé de l'eau à 15°, on munit le mortier d'une lumière et l'on y introduit 3^{er} de poudre. On place la mèche, on visse le mortier et l'on verse de la grenaille de plomb à l'intérieur de l'aréomètre, jusqu'à ce que le zéro de la graduation affleure la surface de l'eau. On passe alors sur l'échelle divisée une légère couche d'un enduit composé de farine de briques, de sanguine pilée, etc., qui permet de déterminer le nombre de degrés dont le flotteur s'est enfoncé au moment de l'inflammation de la charge.

Ce qui constitue la supériorité de cet appareil sur celui de Régnier, c'est qu'on peut ne pas se contenter d'un seul essai, et employer plusieurs mortiers et différentes combinaisons de lumières qui permettent d'étudier les effets de la poudre dans des conditions de tir variables.

§ II.

APPAREILS ÉLECTRO-BALISTIQUES.

Nous diviserons ces appareils, dont l'importance s'accroît tous les jours, en deux classes principales :

1° Les appareils dans lesquels on mesure directement la durée du phénomène à observer ;

2° Les appareils dans lesquels on déduit cette durée de celle d'un autre phénomène connu et observé simultanément.

I. APPAREILS DANS LESQUELS ON MESURE DIRECTEMENT LA DURÉE DU PHÉNOMÈNE.

a) Chronoscope électro-magnétique de Wheatstone.

Cet instrument, inventé en 1840 par Wheatstone, fut perfectionné plus tard par Hipp. Le principe de l'opération consistait à mesurer le temps nécessaire à la balle du fusil pour franchir un intervalle connu et assez court. A cet effet, la balle, au sortir du canon, rompait un fil métallique tendu transversalement devant la bouche et faisant partie d'un circuit électrique : la rupture du circuit mettait aussitôt en mouvement les aiguilles d'un cadran, qui tournaient avec une vitesse connue. Quand la balle avait franchi la distance voulue, elle rebondissait contre une surface mobile, qui recevait un léger déplacement et fermait ainsi le circuit : les aiguilles étaient alors arrêtées. Du temps observé et de la distance connue, on déduisait la vitesse moyenne de la balle.

Ce chronoscope, qui manquait absolument de sensibilité, n'a pu s'introduire dans la pratique des épreuves ; il indiquait, par exemple, dans des circonstances de tir identiques, des vitesses variant de 38^m,50 à 88^m,90.

Kuhn a cherché à utiliser le recul de la pièce pour rompre le circuit et pour mettre les aiguilles en mouvement. Ce nouveau dispositif n'était pas fait pour augmenter la précision de l'appareil.

b) Chronographe électrique de Martin de Brettes.

Autour d'un cylindre métallique, sur lequel est tendue une feuille de papier imprégnée d'une préparation chimique, tourne une pointe de platine, mise en mouvement par un pendule à force centrifuge. Dès que le projectile rompt le fil tendu devant la bouche de la pièce, il se produit un courant d'induction qui fait partir une étincelle entre la pointe de platine et le cylindre, et le papier se trouve percé d'un petit trou. Le même phénomène se répète quand le projectile arrive à l'extrémité de sa course.

L'ensemble de ce dispositif n'est qu'une modification de l'ancien appareil de Siemens, dans lequel le cylindre tourne devant la pointe, sans interposition de papier. Ces deux appareils sont aussi oubliés l'un que l'autre.

II. APPAREILS DANS LESQUELS ON MESURE LA DURÉE D'UN PHÉNOMÈNE AUXILIAIRE.

a) Galvanomètre de Pouillet.

Cet appareil, construit en 1844, permet de calculer la vitesse initiale du projectile d'après le déplacement de l'aiguille aimantée. sur laquelle agit un courant de force connue, déplacement qui permet d'évaluer la durée du passage de ce courant.

A cet effet, le galvanomètre est placé dans un circuit qui se ferme au moment où le projectile sort de la pièce, mais qui se trouve rompu dès que celui-ci arrive au but. Si l'intervalle de temps qui s'écoule entre les deux phénomènes est très-court, la vitesse correspondant à de petits arcs d'oscillation devient très-difficile à évaluer. Pouillet, se fondant sur ce que la vitesse d'oscillation est proportionnelle à la durée de l'action du courant, a construit une table permettant de déduire cette durée de l'arc d'oscillation de l'aiguille. Cette table ne peut être réellement utilisée que si l'on suppose la force du courant et la rotation du commutateur parfaitement uniformes, ce qui ne saurait être le cas, en raison même des courants secondaires qui peuvent prendre naissance au moment de la rupture ou de la fermeture du courant.

Helmholtz a apporté quelques modifications à cette méthode. Dans son procédé, le calcul de la durée du passage d'un courant, qui agit exactement pendant le cours d'un phénomène déterminé, exige que l'on connaisse la grandeur de l'arc d'oscillation avant et après l'action du courant, la durée d'une oscillation de l'aiguille, enfin l'écart que produirait le courant s'il se maintenait régulièrement. Tous ces éléments étant susceptibles de mesures très-précises, ce mode d'opérer paraît devoir donner les meilleurs résultats; toutefois, les difficultés d'exécution en ont empêché l'application aux recherches de balistique.

b) Pendule électro-balistique de Navez.]

Cet appareil se compose de trois parties : le pendule, le conjointeur et le disjoncteur.

La partie essentielle de l'appareil est un pendule muni d'une lentille en laiton et dont l'aiguille, fixée à l'axe de rotation, parcourt un arc de 150°; chaque degré comprend 20 divisions. Le pendule est maintenu à sa position initiale au moyen d'un électro-aimant en-

tre tenu par un courant, dont le circuit passe devant la bouche de la pièce, et agissant directement sur un morceau de fer fixé à la lentille. Un second électro-aimant, qui agit sur un disque en fer fixé à l'aiguille, peut arrêter celle-ci instantanément, sans empêcher pour cela le mouvement du pendule.

Le conjoncteur se compose d'une colonne verticale, le long de laquelle peut se mouvoir un électro-aimant, dont l'activité est entretenue au moyen d'un courant qui passe par un cadre disposé à une certaine distance de la bouche; le fil conducteur tendu sur le cadre doit être rompu par le passage du projectile. Le courant étant fermé, l'électro-aimant supporte à sa partie inférieure une petite masse de plomb piriforme, munie d'une pointe d'acier par laquelle s'opère le contact. Dès que le courant est rompu, la masse de plomb tombe sur une petite plaque métallique dans laquelle se produit une légère courbure, et cette courbure ferme le courant qui met en activité l'électro-aimant destiné à arrêter l'aiguille du pendule.

Le disjoncteur est un petit instrument muni d'une détente et analogue au disjoncteur du chronographe Le Boulengé (p. 537), qui sert à évaluer la perte de temps résultant de la désaimantation des deux électro-aimants et de la chute de la masse de plomb sur la plaque métallique. Il permet, en effet, de produire l'interruption simultanée des deux courants qui doivent être successivement rompus par le projectile : l'arc parcouru, dans ce cas, par l'aiguille du pendule sera retranché de l'arc total d'oscillation observé, et l'on déduira le temps du nombre de degrés ainsi obtenu.

Le maniement du pendule de Navez exige un certain nombre de précautions recommandées par l'inventeur et dont les principales sont les suivantes : tenir l'appareil complètement à l'abri des mouvements de l'air ambiant, de la poussière et de l'humidité; éviter toute secousse accidentelle du pendule et du conjoncteur; maintenir la température constante. Si, en effet, la température de la salle d'épreuves descend au-dessous de $12^{\circ},3$, les résultats deviennent si irréguliers que l'appareil ne peut plus être d'aucun usage.

c) Chronographe électro-balistique de Le Boulengé (1867).

Le chronographe Le Boulengé peut servir à la fois à mesurer la vitesse des projectiles et à évaluer des temps très-courts; nous en décrirons le fonctionnement successivement sous ces deux points de vue.

Fig. 57.

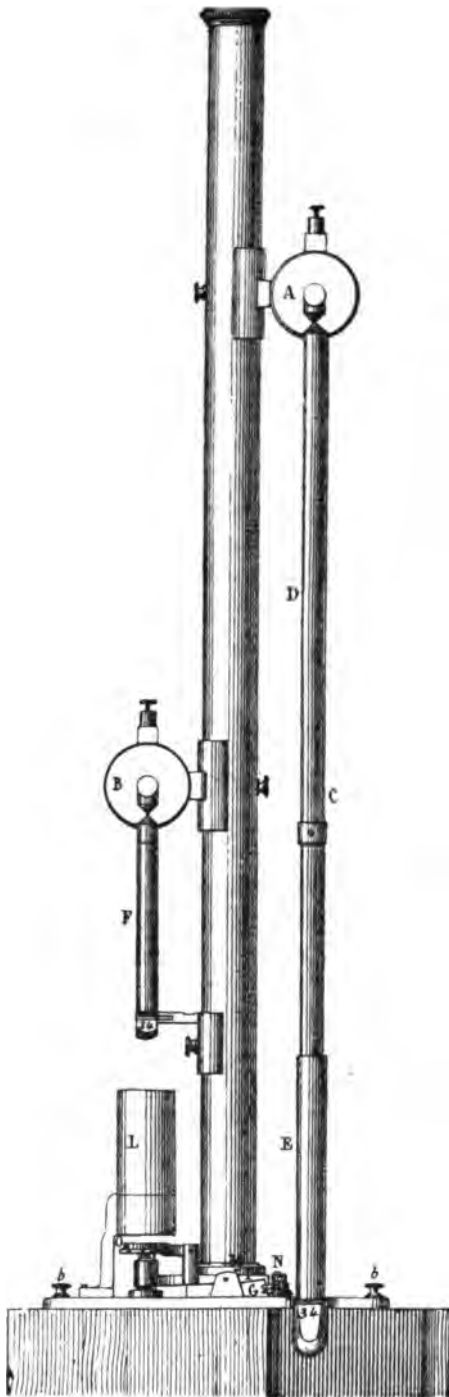
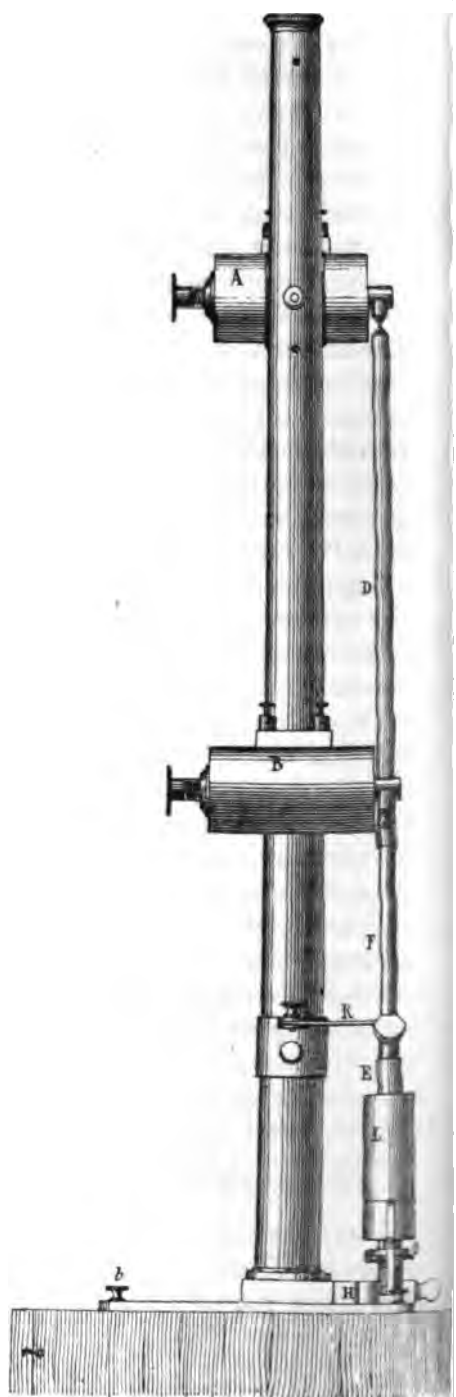


Fig. 58.



Mesure des vitesses. — Le modèle définitif du chronographe (1867) se compose essentiellement (fig. 57 et 58) de 4 organes distincts :

1° Le chronomètre C, longue tige cylindrique suspendue verticalement, garnie de tubes-enveloppes en zinc D, E ou cartouches-récepteurs, et maintenue par attraction magnétique à l'extrémité d'un électro-aimant A, par lequel passe le premier courant destiné à être rompu par le projectile.

2° L'enregistreur F, cylindre plus court maintenu par l'électro-aimant B, par lequel passe le second courant destiné à être rompu par le projectile.

3° La détente, composée d'un couteau C monté sur un ressort H, lequel peut être maintenu au bandé par la griffe d'un levier I; le couteau est une molette circulaire en acier fondu et trempé, fixée par une vis N, qui lui sert d'axe, dans un encastrement du ressort. En desserrant la vis, on peut tourner la molette de manière à lui faire présenter un nouveau tranchant, quand l'ancien s'est émoussé.

4° Le disjoncteur (fig. 59 et 60), qui permet de produire simulta-

Fig. 59.

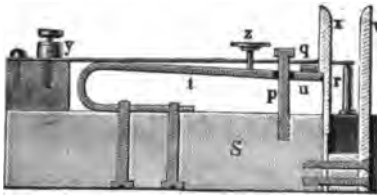
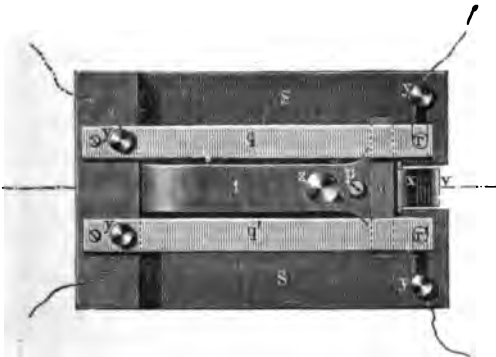


Fig. 60.



nément la rupture des deux circuits. Si l'on appuie sur la tête du bouton moleté z, le grand ressort t s'engage dans la griffe x et

permet aux lamettes g, g' de compléter les circuits en s'appuyant sur les broches fletées r, r' . Pour rompre les circuits, on pince de l'index droit la griffe x , le pouce prenant appui sur la contre-griffe v ; le grand ressort s'échappe, et sa traverse u , qui est recouverte d'une plaque isolante, frappe les deux lamettes et les soulève en même temps.

Le projectile venant à rompre le circuit du chronomètre, celui-ci se détache et tombe librement suivant la verticale; le deuxième circuit étant ensuite rompu, l'enregistreur tombe à son tour, choque l'extrémité libre du levier à griffe et déclanche la détente: le couteau se projette alors en avant, frappe le chronomètre en marche et imprime sur le cartouche supérieur un trait dont la position permet de calculer la vitesse du projectile. On appelle *origine* le trait qui se forme au bas du cartouche inférieur, quand on fait agir la détente sur le chronomètre au repos.

Si l'on désigne par :

- H la hauteur du trait obtenu par le tir au-dessus de l'origine,
- D la distance des cadres sur lesquels sont tendus les deux circuits.
- T' le temps pendant lequel le chronomètre s'est déplacé avant de recevoir l'impression,
- v la vitesse moyenne du projectile,
- g l'accélération due à la pesanteur,

on aura :

$$v = \frac{D}{T'}, \quad H = \frac{gT'^2}{2},$$

d'où l'on tire, par l'élimination de T' :

$$v = D \sqrt{\frac{g}{2H}}.$$

Mais T' ne serait exactement le temps T employé par le projectile pour franchir la distance D que si, d'une part, le chronomètre se mettait en mouvement à l'instant précis de la rupture du premier cadre, et si, d'autre part, il était frappé par le couteau à l'instant précis de la rupture du second. Or, si l'on désigne par :

- θ le temps de désaimantation de l'électro-aimant A,
- θ' le temps de désaimantation de l'électro-aimant B,

- θ_1 , le temps de chute de l'enregistreur jusqu'au plateau de la détente,
 θ_2 , le temps nécessaire pour le dégagement de la griffe,
 θ_3 , le temps employé par le couteau pour franchir l'espace horizontal qui le sépare du chronomètre,

il est évident que l'on obtient le temps T en retranchant de T' la somme $(\theta' + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$ et en lui ajoutant θ , de sorte qu'on aura :

$$T = T' - t,$$

avec la condition :

$$t = \theta' + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 - \theta,$$

t étant exactement le temps qui serait marqué sur le chronomètre si les deux courants venaient à être rompus à la fois. On règle l'instrument de manière que ce temps ait une valeur constante $t = 0^{\text{m}},15$, ce dont on s'assure en rompant les deux courants en même temps, au moyen du disjoncteur, et en vérifiant que le trait ainsi obtenu se trouve à $410^{\text{m}},37$ de l'origine, hauteur correspondant à $0^{\text{m}},15$. On a donc pu calculer d'avance les hauteurs au-dessus de l'origine où doivent se marquer les traits du tir pour une série de vitesses croissant de mètre en mètre : les hauteurs obtenues ont été gravées sur une règle à curseur, qui permet ainsi de lire immédiatement la vitesse du projectile, à $0^{\text{m}},4$ près, dans l'hypothèse où la distance des deux cadres-cibles est exactement de 50^{m} ; si cette distance était différente, on multiplierait les indications de la règle par le rapport $\frac{D}{50}$.

Pour le tir au canon, on se sert de deux cadres-cibles distants de 50^{m} , le premier se trouvant à une distance de la bouche à feu variable avec le point de la trajectoire auquel on veut mesurer la vitesse du projectile : si, par exemple, le premier cadre est à 35^{m} de la bouche, l'appareil donnera la vitesse à 60^{m} . Les cadres sont formés de châssis en bois sur lesquels sont tendus horizontalement, à l'aide de bornes à vis jumelées en laiton, des fils séparés par des intervalles au plus égaux à la moitié du calibre du projectile; la plaque métallique, sur laquelle sont montées les deux bornes d'une même pince, sert à conduire le courant d'un fil au suivant. On peut aussi employer comme cadre-cible un chevalet en fer creux auquel est suspendu le cadre proprement dit, formé de deux montants en bois

et de deux traverses en fer. — Pour le tir au fusil, on remplace le premier cadre-cible par un simple fil de cuivre argenté de 0^m,3 de diamètre, tendu devant la bouche du canon à l'aide de deux pinces à vis faisant partie du circuit et portées par deux pièces de bois que l'on serre sur la volée au moyen de deux boulons. Quant au second cadre-cible, on lui substitue une plaque de fer laminé, suspendue librement à un crochet fixé à la partie supérieure d'une colonnette en fer creux, et faisant partie du circuit grâce au contact de deux vis isolées, portées par les extrémités recourbées d'une traverse horizontale : le moindre choc imprimé à la plaque d'avant en arrière rompt le courant; d'après Le Boulengé, il ne s'écoule pas de temps appréciable entre l'instant où une balle frappe la plaque et celui où le courant se rompt. — On emploie, pour la production des courants, des éléments de pile Bunsen, dont le nombre dépend de la résistance des circuits; il en faut, en général, 4 ou 5 pour le courant du chronomètre, et 1 ou 2 pour celui de l'enregistreur.

Le chronomètre étant garni de ses deux cartouches et les deux courants passant par le disjoncteur, on procède au réglage de l'appareil, qui comporte les trois opérations suivantes : calage de l'instrument, réglage de la force des électro-aimants, réglage de la hauteur de disjonction.

1° On cale l'instrument en suspendant le chronomètre, après avoir armé la détente, et en agissant sur les vis du trépied jusqu'à ce que le plan incliné du quillion opposé à la face numérotée s'applique très-légèrement contre l'arête antérieure du plateau triangulaire, et que le plan de la face droite du quillion comprenne l'arête latérale de ce plateau. Si l'on suspend l'enregistreur, il faut que le plan incliné de son quillion opposé à la face numérotée prenne aussi un très-léger appui contre l'arête de la branche K, dont on règle une fois pour toutes la position à l'aide de la mâchoire avec vis de pression dans laquelle elle est pincée. Enfin, on vérifie le calage en s'assurant que, si l'on écarte latéralement le chronomètre ou l'enregistreur de leur position, ils y reviennent d'eux-mêmes, et que, si l'on rompt le courant au moyen de l'interrupteur, ils tombent librement sans accroci ni frottement.

2° On cherche à régler la force des électro-aimants de manière qu'elle soit très-peu supérieure à la force strictement nécessaire pour soutenir les contacts, et toujours de la même quantité pour les différents opérateurs. A cet effet, le noyau des électro-aimants est

fait de deux pièces : l'une, fixe, porte la pointe ; l'autre, mobile, est fletée et terminée par une rondelle moletée en laiton ; on peut ainsi diminuer, par influence, l'aimantation de la pointe, en écartant la partie mobile de la partie fixe. On augmente alors de $1/10$ le poids du chronomètre au moyen d'une surcharge en laiton, on le suspend, et on détourne lentement le noyau fleté jusqu'à ce que le chronomètre se détache et tombe ; si l'opération a été bien faite, on ne doit pas pouvoir suspendre de nouveau le chronomètre avec sa surcharge. On procède de même pour l'enregistreur.

3° Quant à la hauteur de disjonction, nous avons vu (p. 539) qu'elle doit être exactement de $110^{\text{mm}},37$ au-dessus de l'origine. Pour le vérifier, on trace sur le petit cartouche un cercle qui soit à la hauteur voulue, à l'aide d'une pointe portée par le curseur de la règle, que l'on fixe au trait marqué disjonction ; puis, on suspend le chronomètre et l'enregistreur, et l'on prend une disjonction. Si le trait obtenu est sur le cercle tracé, on peut passer immédiatement à la mesure des vitesses ; s'il est plus haut ou plus bas, on remonte ou on abaisse le plateau de la détente. A cet effet, le plateau est porté par une vis verticale ayant un pas de 1^{mm} , dont on peut faire varier la hauteur par dixièmes de millimètre à l'aide d'un cercle divisé en dix secteurs : une dent d'arrêt à ressort, s'engageant dans les crans du cercle divisé, sert à compter le nombre de divisions dont on tourne la vis et à fixer celle-ci dans la position voulue. Lorsque les opérations marchent régulièrement, il suffit de prendre une disjonction tous les 3 ou 4 coups, pour s'assurer qu'elle n'a pas varié. — Le disjoncteur pourrait donner lieu à une erreur constante, si les deux courants n'étaient pas rompus exactement au même instant. Pour s'assurer qu'il n'en est pas ainsi, il suffit, après avoir pris la hauteur de la disjonction, d'inverser les courants dans le disjoncteur et de prendre une nouvelle disjonction. Le nouveau trait doit se trouver à la même hauteur que le premier ; sinon, l'intervalle des deux traits représente le double de l'erreur due au disjoncteur, et l'on corrige le réglage en abaissant ou en élevant l'une des broches fletées, jusqu'à ce qu'on arrive à faire soulever en même temps les deux lamettes par la traverse du grand ressort.

Le chronographe Le Boulengé est aujourd'hui employé par la plupart des Commissions d'épreuves pour la mesure directe de la vitesse imprimée au projectile par chaque poudre, tirée dans l'arme même à laquelle elle est destinée. Les divers éléments de l'épreuve des prin-

ci-pales poudres de guerre françaises sont résumés dans le tableau suivant, la vitesse étant supposée corrigée par rapport à celle de la poudre normale ou poudre-type :

ESPÈCE de poudre.	ARME.	POIDS		DISTANCE de la bouche à laquelle la vitesse est mesurée ou rapportée.	VITESSES RÉGLEMENTAIRES.	
		de la charge.	du projectile.		Limite inférieure.	Limite supérieure.
Poudre F ₁ .	Fusil Gras. . . .	kil. 0,00525	kil. 0,025	mètres 25	mètres 426,0	mètres 434,0
Poudre C ₁ .	Canon de 5. . . .	0,88	4,8	35	415,0	424,0
	Canon de 7. . . .	1,14	7,0	35	387,0	395,0
Poudre SP ₁ .	Canon de 138 ^{mm} .	3,74	20,0	35	378,0	385,0
Poudre SP ₂ .	Canon de 24 ^{mm} .	28,00	144,0	0 (*)	436,5	445,5

(*) Le chronographe donne la vitesse du projectile à 60^m, et l'on en déduit la vitesse initiale au moyen de tables construites à l'avance.

Mesure des temps très-courts. — Si l'on voulait mesurer un temps très-court, le trait obtenu se rapprocherait de celui de la disjonction; or, on a intérêt à ce qu'il vienne toujours se placer vers la partie supérieure du chronomètre, alors que celui-ci est animé de sa plus grande vitesse, afin que de faibles différences de temps soient traduites par de grandes différences de hauteur. On adopte, dans ce cas, une disposition spéciale consistant à placer l'enregistreur, avec son électro-aimant, au sommet de la colonne, de sorte que la disjonction, qui correspond à une chute de 0^{mm},3, se fait vers l'extrémité supérieure du chronomètre; en outre, il devient inutile de régler la hauteur de la disjonction, il suffit qu'elle reste constante; enfin, on renverse l'ordre des courants, et l'on fait passer celui qui doit être rompu le premier sur l'électro-aimant de l'enregistreur, de manière que le temps se marque négativement et qu'on obtienne la durée cherchée en retranchant du temps correspondant à la disjonction celui qui correspond au trait donné par le tir. On voit ainsi que, plus les durées deviennent petites, plus leur espace représentatif est relativement grand.

Une table calculée d'avance indique les durées correspondant à

Fig. 61.

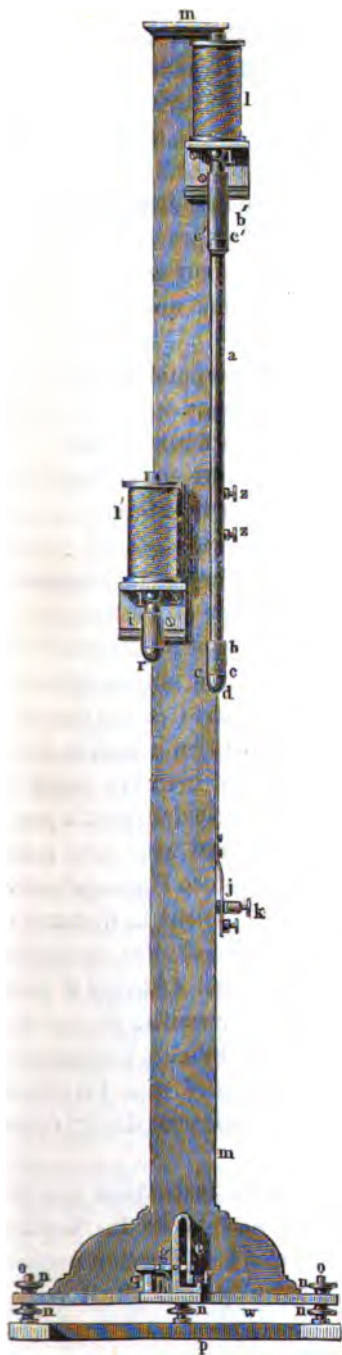
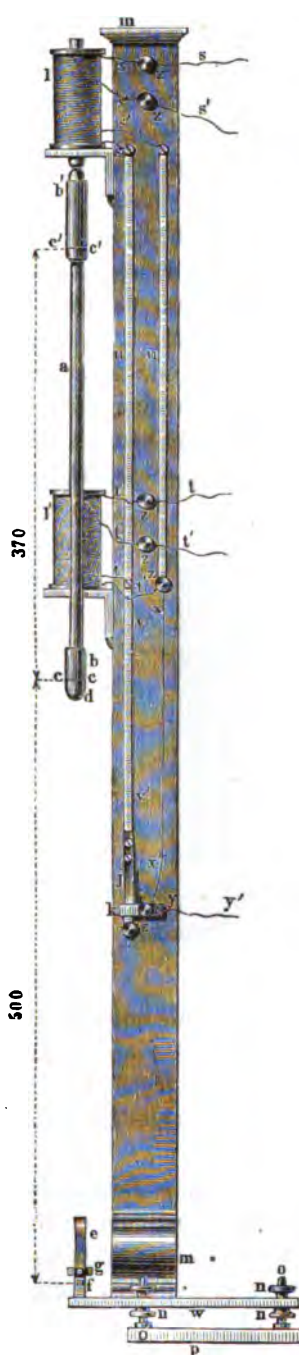


Fig. 62.

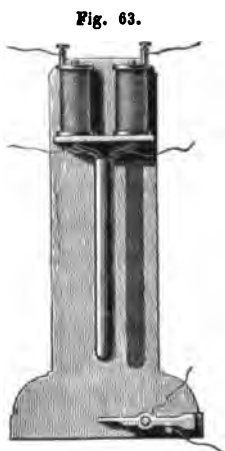


des hauteurs de chute variant par dixièmes de millimètres. La plus longue durée que l'on puisse ainsi mesurer est celle qui correspond à la hauteur de disjonction, c'est-à-dire 0^m,3. L'approximation obtenue serait, d'après le général Mayewski, de 1/40 000 de seconde.

Appareil primitif. — Nous donnons ci-contre (*fig. 61 et 62*) la disposition primitive du chronographe construit par Le Boulengé (1863). Le disjoncteur n'était autre que celui du pendule électro-balistique de Navez (p. 535); on s'assurait, en faisant rompre simultanément par le projectile les fils des deux circuits tendus sur un même cadre, que la position du trait restait bien la même que par l'emploi du disjoncteur.

Contrôleur. — On peut vérifier la durée correspondant à une disjonction déterminée au moyen d'un instrument spécial, nommé contrôleur, qui peut s'appliquer également aux deux modèles.

Le contrôleur (*fig. 63*) se compose d'un cylindre en fer forgé, suspendu à un double électro-aimant, qui est entretenu par une batterie spéciale et dont les deux tiges sont recourbées à leur extrémité inférieure pour venir au contact du cylindre en fer; ces tiges sont d'ailleurs isolées et font partie du circuit du chronomètre, de sorte que celui-ci se trouve fermé quand le cylindre est suspendu. Si l'on rompt le circuit spécial du contrôleur, le cylindre tombe et frappe sur la queue d'un levier dont la partie antérieure, par son contact avec une pointe de laiton, ferme le circuit de l'enregistreur.



Si l'on connaît exactement la distance de l'extrémité inférieure du cylindre suspendu à la queue du levier, on en déduira le temps qui s'est écoulé entre l'interruption des deux circuits, et ce temps doit coïncider avec l'indication du chronographe, si l'appareil est parfaitement réglé. Une série d'essais a montré que le chronographe (ancien modèle) indiquait des durées trop fortes de 0^m,000 204 en moyenne.

Conclusion. — Des expériences comparatives exécutées par Melsens avec le pendule de Navez et le chronographe de Le Boulengé ont donné des résultats tout à fait favorables à ce dernier appareil; l'accord des vitesses indiquées par le chronographe était entière-

ment satisfaisant, et celles-ci se trouvaient notablement plus faibles qu'avec l'appareil de Navez. Le chronographe est exempt de tout frottement : le chronomètre et l'enregistreur ne rencontrent d'autre résistance que celle de l'air ; toutes les autres causes d'erreur sont prévues et parfaitement corrigées.

Le chronographe Le Boulengé constitue donc l'un des appareils les plus maniables et les plus précis que l'on possède pour la mesure de la vitesse des projectiles.

d) Clepsydre électrique de Le Boulengé.

Le chronographe ne permet de mesurer que des durées relativement courtes, parce que les hauteurs de chute croissent comme les carrés des temps. Le Boulengé a imaginé d'employer comme chronomètre l'écoulement d'un liquide, en déterminant le temps par le poids du liquide écoulé pendant l'intervalle à mesurer ; de là le nom de *clepsydre* donné au nouvel appareil. On sait, en effet, que la clepsydre des anciens était une sorte d'horloge qui marquait les heures par la quantité d'eau écoulée.

L'appareil (*fig. 64 et 65*) se compose d'un récipient circulaire A, de 0^m,20 de diamètre sur 0^m,03 de hauteur, destiné à recevoir le mercure et porté par une colonne creuse B de 0^m,20 de hauteur, qui se termine par un trépied muni de trois vis de calage X. Le récipient, la colonne et le pied sont en fonte et reposent sur une plaque C également en fonte, dont le rebord sert à retenir le mercure qu'on pourrait laisser échapper du vase D. Un disque en fonte E recouvre le récipient A et porte les organes de l'appareil électrique. La colonne creuse B se termine, à sa partie inférieure, par un orifice à minces parois, qu'on peut fermer au moyen d'une soupape conique pour arrêter l'écoulement du mercure ; le disque de l'orifice, la soupape R et le support F, sur lequel elle repose, sont en acier. Une tige rigide G, fixée à la soupape, traverse le récipient A et le couvercle E, et vient butter contre un levier horizontal H, qui sert à arrêter ou à permettre l'écoulement du mercure. Le levier H est actionné par deux autres leviers I, J, dont les extrémités portent des enveloppes de fer doux K, L, et qui, au repos, sont maintenus par les électro-aimants M, N. Le levier J, destiné à fermer la soupape, se compose de deux tiges parallèles, réunies, à une extrémité, par l'enveloppe de fer doux et, à l'autre, par une traverse qui retient le levier. — Si le courant de l'électro-aimant M est rompu, le levier

Fig. 64.

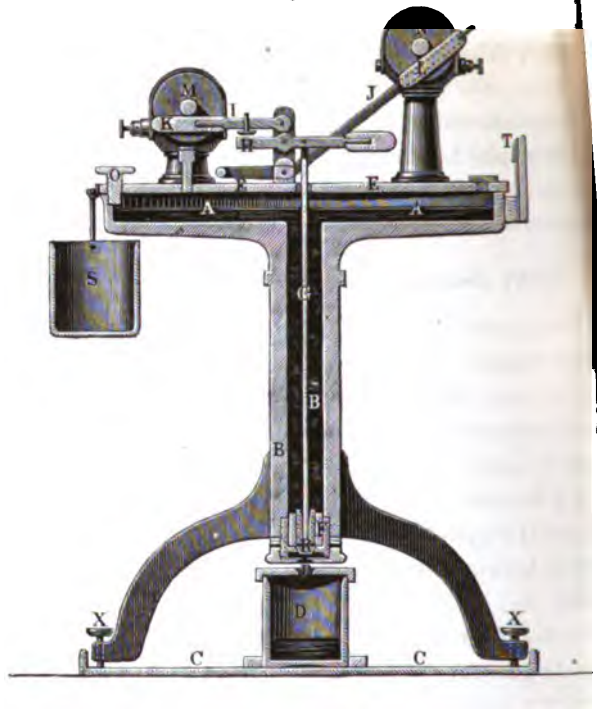
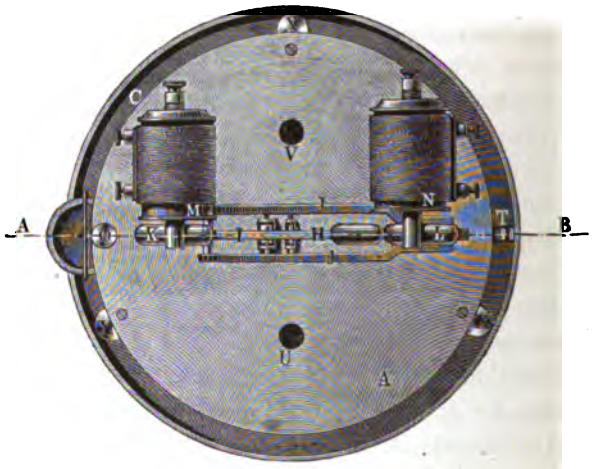



Fig. 65.



I tombe sur le levier de la soupape, ouvre celle-ci, et le me s'écoule dans le vase D. Si l'on rompt le courant de l'électro-ai



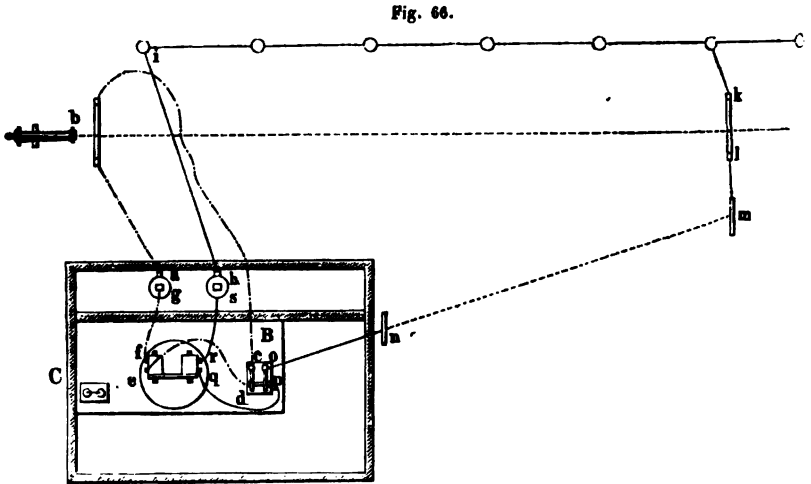
est le levier J qui s'abaisse pour relever le levier I jusqu'à sa position primitive; la soupape retombe et l'écoulement cesse. Un arrêt T empêche les oscillations du levier J après sa chute. Les deux circuits sont successivement rompus par le projectile : l'écoulement du mercure se produit dans l'intervalle des deux ruptures. Si l'on admet que l'écoulement soit constant et qu'on désigne par P le poids du mercure écoulé dans le vase D et par p la quantité de mercure qui s'échappe en une seconde par l'orifice, l'intervalle de temps compris entre l'ouverture et la fermeture de la soupape aura pour expression $\frac{P}{p}$. Ce quotient représenterait aussi le poids de mercure écoulé entre l'interruption des deux courants si la soupape ouvrait et se fermait à l'instant précis de la rupture correspondante. Mais, à la rupture du premier courant, la chute du levier et le soulèvement de la soupape exigent un certain temps; il en est de même pour la fermeture de la soupape. Ces diverses causes d'erreur sont corrigées, comme pour le chronographe, à l'aide du disjoncteur qui rompt simultanément les deux courants, le premier levier ouvrira la soupape un certain temps avant que le second levier ne se ferme; soit p le poids du mercure écoulé. Le quotient $\frac{P-p}{p}$ exprime l'intervalle de temps cherché.

L'écoulement du mercure n'est pas rigoureusement constant, à cause de la diminution de hauteur de la colonne mercurielle et des variations de température survenant au cours de l'expérience. Le Boulengé a montré que, en raison de la grande surface du mercure dans le récipient A et de la petitesse de l'orifice d'écoulement, le niveau ne s'abaisse que de 0^m,0001 par seconde; on est donc autorisé à admettre que l'écoulement reste constant dans l'intervalle d'une seconde, et diminue d'une quantité constante en passant d'une seconde à la suivante. Cette diminution a été trouvée de 0^m,000 000 1, qui correspondait à 0^m,000 000 002.

Pour établir expérimentalement une table des durées, Le Boulengé construit un appareil spécial, assez compliqué, qui se compose essentiellement d'un régulateur à secondes dont la tige, agissant sur un système de deux petites ancres métalliques, permet d'interrompre le courant d'ouverture et le courant de fermeture.

Nous donnons ci-après (fig. 66) la disposition générale d'une expérience. Le circuit d'ouverture *abcdefg* comprend le premier

cadre-cible *b*, le disjoncteur et l'électro-aimant d'ouverture *ag*; il passe devant la bouche de la pièce, soit sur un cadre ordinaire placé à une distance de 10^m en avant, soit à l'aide d'un simple fil métal-



lique tendu devant la bouche. Le circuit de fermeture *hiklmnopqrs* comprend le second cadre, le disjoncteur et l'électro-aimant de fermeture *hs*. Le courant est conduit dans le sol par une plaque métallique *m*, plongeant dans l'eau ou dans un terrain humide; une seconde plaque *n* ramène le courant à l'appareil.

Ces dispositions prises, on s'assure que les courants ont une force suffisante pour maintenir les leviers, on établit le niveau du mercure et l'on prend une disjonction; cette dernière opération est répétée trois fois avant chaque coup, et l'on prend le tiers du mercure écoulé pour le poids correspondant à la disjonction. On pèse sur une balance sensible au 1/2 centigramme, ce qui suffit parfaitement, puisque 1/2 centigramme correspond à moins de 1/1 200 de seconde.

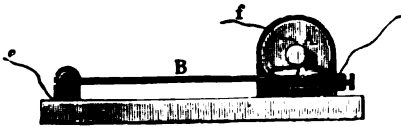
Pour appliquer son appareil à la mesure de la durée des trajectoires des bombes, Le Boulengé a imaginé le dispositif suivant. Comme l'éparpillement des éclats rend très-difficile la rupture du second circuit sur un cadre-cible, l'interruption du courant de l'électro-aimant *N* (*fig. 64*) doit s'effectuer par la secousse même du sol dans les environs du point de chute de la bombe. A cet effet, on fixe au pied de la barre sur laquelle on vise une petite boîte contenant

un organe spécial (*fig. 67 et 68*), composé d'un électro-aimant A qui

Fig. 67.



Fig. 68.



maintient au contact un levier B, dont l'extrémité C en fer forgé tend à le faire retomber; cet électro-aimant est entretenu par un courant spécial *abcd*. Le circuit de fermeture de la clepsydre communique avec l'axe du levier par le fil *g* et avec le noyau de l'électro-aimant par le fil *f*: il se trouve donc interrompu dès que le levier B retombe. Or, le noyau de

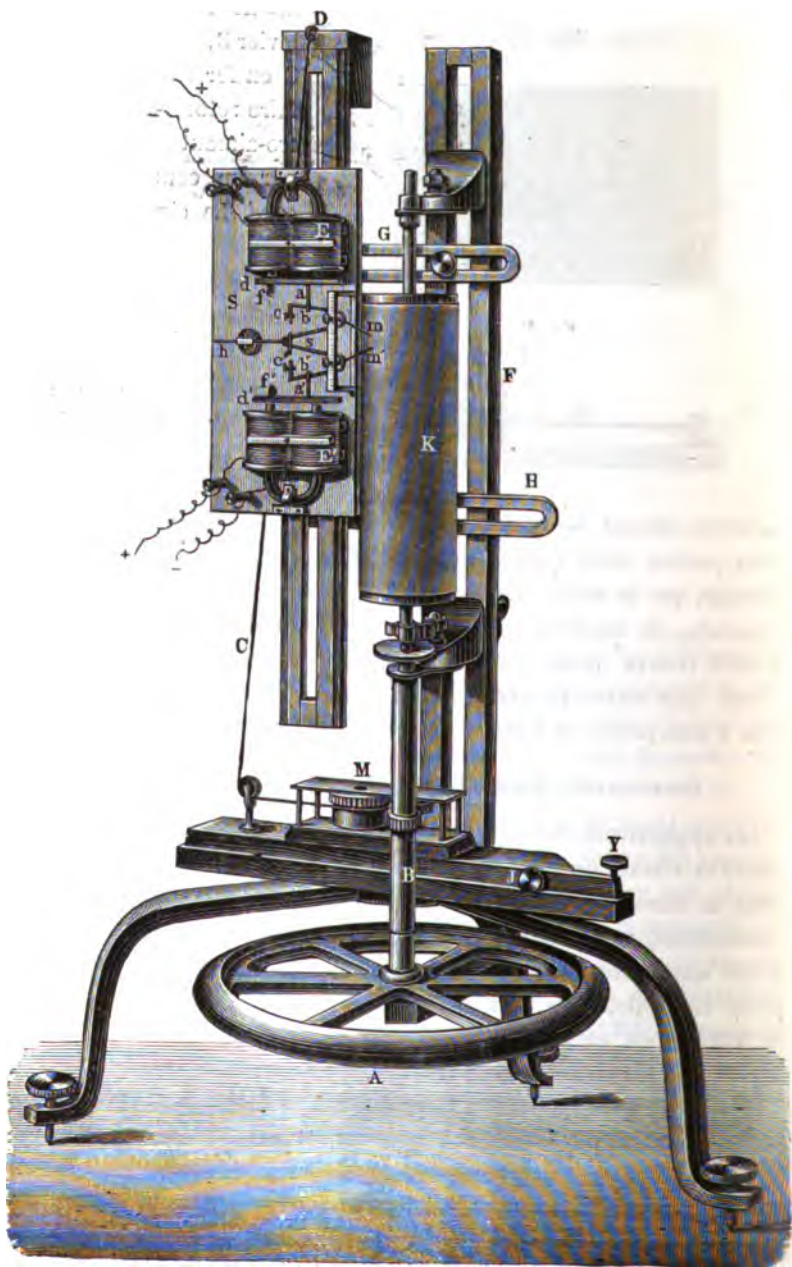
l'électro-aimant se compose, comme pour le chronographe, de deux parties dont l'une, mobile et filetée, permet de ne laisser à l'aimant que la force strictement nécessaire pour maintenir le levier suspendu, de manière que celui-ci tombe au moindre choc. — On a ainsi trouvé, pour des bombes de 58^l,7 tirées à la charge de 1^l,240, une durée moyenne de trajectoire de 15^m,0388, correspondant à une portée de 1 000^m.

e) Chronographe Bashforth.

Les appareils de Navez et de Le Boulengé ne permettent de déterminer la vitesse du projectile que sur un point de sa trajectoire; dès 1863, le chronographe de Bashforth réalisait un important perfectionnement, en donnant la possibilité de mesurer la vitesse du projectile simultanément en plusieurs points de son parcours. Cet appareil rappelle, sous plusieurs rapports, celui de Martin de Brettes (p. 533): c'est encore un cylindre animé d'un mouvement de rotation et sur lequel un crayon marque des traits.

Le volant A (*fig. 69*) sert à imprimer une rotation à un cylindre K, recouvert d'un papier préparé, ayant 0^m,31 à 0^m,36 de longueur sur 0^m,104 de diamètre; cette rotation met aussi en mouvement, par l'intermédiaire de la roue dentée B, l'engrenage M qui dévide le cordon CD. Ce dernier étant assujéti, à son extrémité supérieure, en D, au cadre mobile S, il en résulte que les crayons-compteurs *m*, *m'*, dis-

Fig. 69.



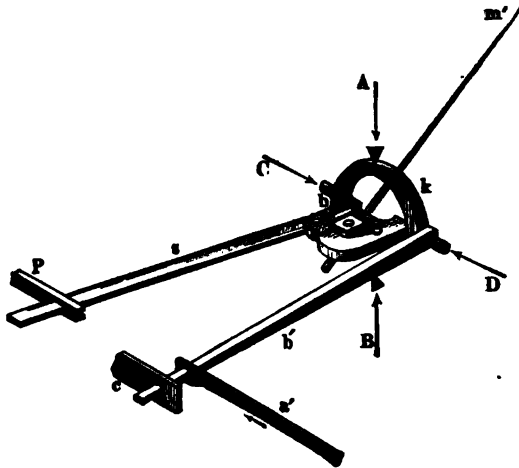
posés sur ce cadre, se déplacent de haut en bas pendant la rotation du cylindre. On communique le mouvement au volant à l'aide d'une manivelle, de manière qu'il fasse 3 tours en 2 secondes; une révolution du cylindre correspond alors à un déplacement vertical du cadre de $0^{\text{m}},0085$. La disposition générale des crayons m , m' consiste en un système de leviers, commandé par les leviers à ancre d , d' et par les électro-aimants E , E' .

Si le levier h est abaissé, les ressorts se soulèvent et le contact de m et de m' avec l'enveloppe de papier produit une spirale. Mais si le courant de l'électro-aimant E vient à s'interrompre, le ressort f arrache le levier à ancre d qui agit par le bras a sur le système b , d'où résulte un déplacement latéral de la pointe m , qui décrit une courbe différente sur le cylindre; et, si l'on ferme de nouveau le courant, le levier d replace le crayon dans une position à partir de laquelle il continue, en quelque sorte, la première spirale. C'est du changement de position du crayon sur le papier qu'on déduit, à l'aide d'une machine à diviser et d'un compas micrométrique, le temps écoulé entre les deux interruptions du courant. A cet effet, le circuit de l'électro-aimant E' est interrompu, par un dispositif spécial, à chaque oscillation double d'un pendule battant la demi-seconde; la spirale du crayon m' porte ainsi une série de petits traits marquant les secondes successives. Quant au courant de l'électro-aimant E , il passe, au moyen d'une batterie particulière, par les fils qui doivent être successivement rompus par le projectile; il sera donc rompu, aussi bien à la sortie du projectile hors du canon qu'à son passage à travers les différents cadres-cibles, et les instants de ces diverses interruptions seront marqués par le crayon m . On calcule la vitesse moyenne du projectile correspondant à l'intervalle compris entre deux quelconques de ces interruptions, en comparant les indications du crayon m avec celles du crayon m' .

Nous donnons ci-après (*fig. 70*) la disposition des styles. Si le levier h est abaissé (*fig. 69*), le bras P (*fig. 70*) se relève, le levier s tourne autour de CD , et le style m' est amené au contact du cylindre; le mouvement du style est d'ailleurs limité par l'arc k , et la pointe conserve la même position relative, pendant le déplacement du cadre, tant que l'électro-aimant E' reste en activité. Dès que le circuit est rompu, le retrait du bras de levier d' (*fig. 69*) imprime au bras a' (*fig. 70*) un léger déplacement dans le sens de la flèche, lequel se transmet au levier b' ; ce dernier formant avec l'arc k un

système mobile autour de AB, il en résulte pour le style m' un petit mouvement de rotation latéral. Les styles sont montés sur une articulation à la *Cardan*, qui leur permet de prendre un mouvement de petite amplitude dans une direction quelconque.

Fig. 70.



Pour mettre l'instrument en expérience, on amène l'engrenage M en prise avec la roue B à l'aide de la vis Y; un dispositif de pivotement placé en J permet d'arriver facilement à ce résultat. Les communications de circuits étant alors établies, on fait tourner le volant à la main, et l'on peut procéder aux essais de tir.

Bashforth a entrepris à Woolwich, avec son chronographe, une série d'expériences sur la résistance de l'air au mouvement des projectiles (1867-1869); il est arrivé à conclure que cette résistance est sensiblement proportionnelle au cube de la vitesse, lorsque celle-ci varie dans les limites de la pratique, c'est-à-dire entre 400^m et 570^m par seconde. Cette *loi du cube* avait d'ailleurs été déjà formulée par Hélié dans son *Traité de Balistique* (1865).

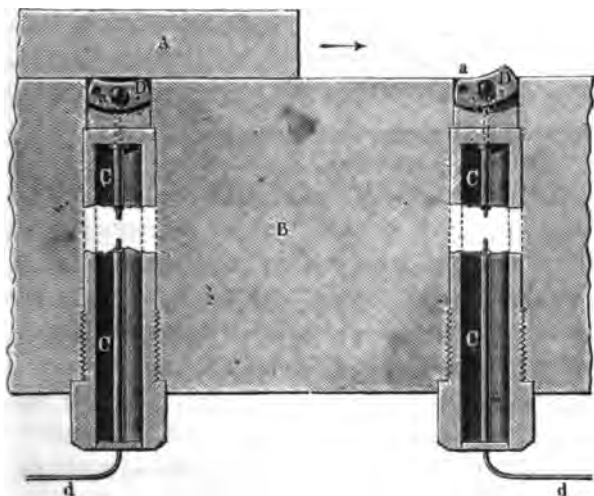
f) Chronographe Noble.

Ce chronographe est destiné à mesurer la vitesse du projectile à l'intérieur même du canon. Pour cela, Noble a cherché, par une combinaison de courants électriques, à faire marquer sur un cylindre tournant avec une vitesse très-grande, mais uniforme, l'instant précis où le projectile atteint un point déterminé du tube.

L'appareil consiste essentiellement en une série de disques métalliques minces, circulaires, ayant 0^m,916 de circonférence, assujettis sur un arbre commun et isolé. On donne à ces disques une très-grande vitesse de rotation par la chute d'un poids, dont le mouvement se transmet à l'arbre par l'intermédiaire d'un engrenage de roues droites; pour augmenter la vitesse, on agit sur une manivelle fixée au second arbre de transmission, de manière que les disques possèdent une vitesse à la circonférence de 1 000 pouces anglais (25^m,40) par seconde. Sur le troisième arbre de transmission est monté un système d'horlogerie, qui peut être embrayé ou désembrayé à volonté, et qui donne, avec une approximation de 1/10 de seconde, le temps écoulé pendant un nombre de tours déterminé. Le pourtour des disques porte des bandes de papier préalablement recouvertes de noir de fumée; il est, en outre, mis en relation avec l'un des fils secondaires de l'appareil d'induction, tandis que l'autre fil secondaire, isolé avec soin, aboutit à un arc conducteur placé à une petite distance du bord du disque correspondant.

Dans les parois de la bouche à feu sont vissés des cylindres C (fig. 71 et 72) qui sont munis, au point où ils affleurent la surface

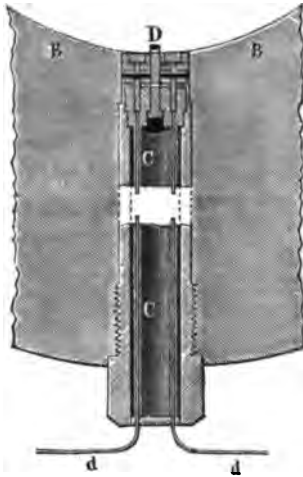
Fig. 71.



de l'âme, de clapets à charnière D. Sur l'un des côtés du cylindre pénètre le fil primaire *d*, qui traverse l'ouverture *a* du clapet (fig. 71) et ressort de l'autre côté du cylindre (fig. 72); les deux extrémités

de ce fil sont reliées aux fils principaux de l'appareil électrique, dès

Fig. 72.



que les cylindres sont mis en place. Le passage du projectile relève l'œil *a* du clapet, retenu par le fil primaire *d* qui se rompt : la rupture du courant principal donne aussitôt naissance à un courant d'induction dans les fils secondaires de la bobine correspondante; une étincelle jaillit entre l'arc conducteur et le disque en brûlant le noir de fumée, et il reste un petit point blanc parfaitement perceptible. Ce phénomène se reproduit sur chaque disque à la rupture de chaque circuit.

L'expérience terminée, on recherche la série des étincelles sur les disques métalliques. A l'aide d'une vis micrométrique, on amène le point blanc du premier disque exactement en face de la pointe du déchargeur correspondant; on fixe un vernier à l'extrémité de l'arbre, et on le met au zéro; on opère de même pour les autres disques. Des positions relatives de ces points blancs les uns par rapport aux autres et de la vitesse de rotation des disques, on déduit le temps que le projectile a mis pour parcourir les intervalles compris entre les ouvertures successives pratiquées dans la paroi de la pièce.

On peut vérifier l'exactitude de l'appareil par l'appareil lui-même, en procédant comme il suit. Si tous les courants primaires sont rompus simultanément, il est évident que les points blancs de tous les disques devront se trouver en ligne droite, sur une parallèle à l'axe de l'arbre. Pour produire cette interruption simultanée, on fixe tous les fils primaires à un petit cadre placé un peu en avant de la bouche de la pièce : ils doivent être rompus tous à la fois par le projectile, dont la face antérieure est parfaitement plane.

On a reproché avec raison à ce chronographe le mode de rupture des fils primaires par le projectile : la force nécessaire pour abattre les clapets est, en effet, si considérable et le choc que subit le projectile si violent qu'on retrouve assez souvent de profondes entailles longitudinales dans les ceintures cylindriques; on peut en

conclure que le projectile a éprouvé une perte notable de vitesse. En outre, le mode d'évaluation du nombre de tours effectués par les disques est inexact, car l'appareil d'horlogerie se trouve retardé par sa liaison même avec le chronographe.

Les tableaux des tirs d'expérience publiés par la Commission anglaise indiquent des résultats qui, bien que satisfaisants en général, laissent souvent à désirer au point de vue du fonctionnement de l'appareil. Ainsi, le temps correspondant à l'intervalle du troisième au quatrième cylindre se trouve être de $0^{\text{m}},000\,496$, dans une expérience, et, dans une autre, de $0^{\text{m}},000\,525$; les vitesses correspondantes du projectile seraient de $1\,030^{\text{pieds}},5$ ($314^{\text{m}},40$) et 973^{pieds} ($296^{\text{m}},57$) par seconde, d'où résulterait, entre les deux coups, une différence peu admissible de $57^{\text{pieds}},5$ ($17^{\text{m}},53$).

g) Chronographe Schultz.

Dès 1864, Schultz avait construit un chronographe bien supérieur à l'appareil de Noble et récemment perfectionné par Marcel Deprez, qui en a fait un instrument d'une extrême précision (*fig. 73*) (*). La principale différence entre le chronographe Schultz et le chronographe Noble, c'est que, pour le premier, la vitesse imprimée au cylindre peut être connue à chaque instant avec une grande exactitude, grâce à l'emploi d'un diapason vibrant, qui trace sur le cylindre une série de sinusoides régulièrement espacées, dont chacune représente $1/500$ de seconde.

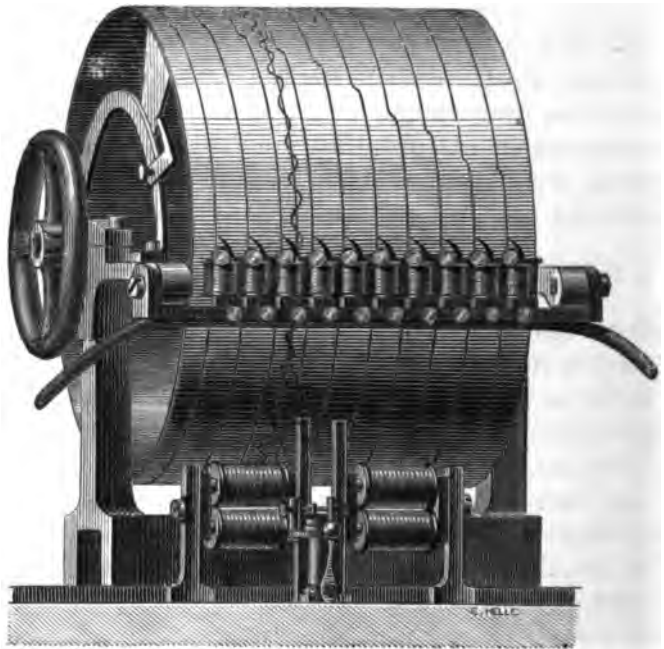
L'appareil primitif de Schultz comprend trois parties essentielles :

- 1° Un cylindre métallique horizontal, pouvant recevoir un mouvement de rotation au moyen d'un système d'engrenages qui le mettent en relation avec un poids moteur;
- 2° Une bobine d'induction chargée de donner des étincelles électriques, dont la trace est conservée sur le cylindre noirci à l'avance;
- 3° Un diapason vibrant, muni d'une plume dont la pointe trace ses positions successives sur le cylindre en mouvement.

(*) Les *fig. 73, 74, 76* et de *81 à 85* sont extraites d'une notice intitulée : *De la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre*, par M. H. SÉBERT, chef d'escadron d'artillerie de la marine, Paris, Tanera, 1877. — Nous avons fait plusieurs emprunts à cette brochure, notamment en ce qui concerne le chronographe Schultz, les expériences de Rodman et d'Uchatius et les appareils de mesure des pressions dus à MM. Marcel Deprez et Sébert.

Comme organes secondaires, l'appareil comporte encore un interrupteur et un système d'électro-aimants destinés à entretenir les vibrations du diapason, un pendule et une horloge électrique pour mesurer la durée de ces vibrations.

Fig. 73.



L'appareil est porté sur un bâti en fonte surmonté d'une tablette de bois : l'axe du cylindre repose sur un chariot mobile dans le sens longitudinal et reçoit le mouvement de rotation par une roue dentée, montée sur l'une de ses extrémités ; il est muni, à l'autre extrémité, d'un volant à main. L'arbre le plus voisin de la table, fileté sur une partie de sa longueur, reçoit un mouvement de rotation par l'intermédiaire d'une roue calée sur lui, et peut être embrassé par les deux mâchoires d'un écrou à ressort fixé au cylindre, de sorte que celui-ci, tout en tournant, est alors entraîné le long de l'arbre fileté, qui fait le même nombre de tours. Un régulateur à ailettes permet de faire varier à volonté la résistance de l'air. L'appareil est également muni d'un frein, composé d'un tore en bronze sur lequel frotte une lame de bois, qu'on peut appuyer plus ou moins fortement au

moyen d'un système excentrique. Une petite manivelle, placée à l'extrémité de l'axe du tore, permet de commander le mouvement à la main et de produire ainsi une marche lente, commode pour certaines opérations. Enfin une lunette est portée par un arc gradué en laiton, concentrique au cylindre, sur lequel elle peut être mise en mouvement au moyen d'un bouton et d'une crémaillère; cet arc lui-même peut se déplacer parallèlement à l'axe du cylindre, à l'aide d'une seconde crémaillère.

La bobine d'induction, construite par Rhumkorff, est placée dans le pied du bâti et diffère peu des bobines usuelles. Le circuit induit sort par les deux poupées dont elle est surmontée : l'une d'elles communique avec le cylindre enregistreur par ses supports métalliques, l'autre avec une pointe de platine enfermée dans un tube de verre qui se présente normalement au cylindre et près de sa surface. Le pendule électrique joint à l'appareil doit battre la seconde et donner une interruption, toutes les deux secondes, dans le courant inducteur qui passe par l'interrupteur du pendule; le mouvement d'oscillation est d'ailleurs entretenu électriquement par un dispositif spécial. L'horloge électrique marque le nombre des demi-oscillations du pendule, à l'aide d'un courant particulier qui la traverse à chaque demi-oscillation. La durée de l'oscillation se mesure en comparant le nombre marqué par l'horloge au nombre de secondes enregistré par un chronomètre.

Le diapason est disposé en avant du cylindre : les deux branches verticales, en acier doré, sont munies de deux armatures de fer doux, en regard desquelles se trouve le système des électro-aimants chargés d'entretenir le mouvement vibratoire. La plume du diapason peut être relevée au moyen d'un petit levier à main porté par une colonne fixe, au sommet de laquelle se trouve, dans une plaque de gutta-percha, l'encastrement de l'une des extrémités du circuit induit, l'autre extrémité étant formée par le cylindre lui-même. Les deux électro-aimants sont placés par dérivation dans un même circuit, et la distance de l'armature de chacun d'eux, réglée par une vis de rappel, est d'environ 0^m,002. Le courant des électro-aimants traverse un interrupteur Foucault, dont le nombre des vibrations est exactement moitié de celui du diapason : en réglant convenablement le niveau du mercure dans le godet, on arrive ainsi à produire, par l'attraction périodique des branches du diapason, une série d'actions toutes favorables à l'entretien du mouvement vibratoire de ce

dernier. Le diapason donne environ 500 vibrations simples par seconde.

Pour mettre l'appareil en expérience, on recouvre la surface polie et argentée du cylindre d'une couche de noir de fumée, on met le diapason en vibration, on s'assure que le courant inducteur traverse les cibles, et on lâche le frein : le cylindre se met en mouvement et acquiert bientôt une vitesse de rotation de 4 à 6^m à la circonférence, tout en se déplaçant de la droite vers la gauche. La plume du diapason décrit sur le noir de fumée une série de sinusoïdes très-nettes, et les ruptures successives du courant inducteur donnent des étincelles dont la trace reste sur le cylindre. La distance de deux de ces étincelles servira à mesurer la durée qui a séparé les interruptions correspondantes du courant, la vitesse de rotation du cylindre étant connue par la trace même des vibrations du diapason. On obtient ainsi cette durée avec une erreur de lecture moindre que 0^{mm},000 04.

Dans des expériences exécutées à Meudon (1864), Schultz réussit à enregistrer, avec cet appareil, les instants du passage du projectile en différents points de l'âme. Mais, quand on voulut appliquer le chronographe à la mesure des pressions produites par les gaz à l'intérieur de la pièce, en le mettant en relation avec les manomètres à pistons différentiels de Marcel Deprez (p. 576), l'étincelle d'induction ne put donner de bonnes indications pour des phénomènes aussi rapides, la bobine n'ayant pas le temps de se recharger entre les instants des déplacements de deux pistons consécutifs; en outre, les départs des pistons n'étaient pas produits avec assez de rapidité pour donner des signaux suffisamment nets avec l'étincelle, qui exige des ruptures de circuit très-brusques; enfin, les irrégularités mêmes de production de cette étincelle introduisaient des erreurs trop considérables, eu égard à la petitesse des intervalles à mesurer.

C'est alors que Marcel Deprez imagina un système d'enregistreurs électriques d'un maniement simple et commode, doués d'une précision et d'une constance remarquables. Ces enregistreurs (fig. 73) se composent de petits électro-aimants portant chacun une petite plume d'acier, qui trace sur le cylindre en mouvement une circonférence : lorsque le courant qui entretient chaque électro-aimant est interrompu, la plume est déplacée et trace un crochet qui fixe à l'instant le phénomène. Le retard entre le moment où le courant est

rompu et celui où la plume se met en mouvement peut être abaissé à $1/8000$ de seconde, tandis qu'il est de près de $1/100$ pour les électro-aimants ordinaires, et la variation de ce retard d'un instant à l'autre ne dépasse pas $0^{\text{m}},00004$. Comme, dans les expériences de balistique, on ne cherche que des différences de temps, il en résulte que l'on peut évaluer des durées de $0^{\text{m}},00004$.

CHAPITRE II.

MESURE DES PRESSIONS.

Les gaz produits par la combustion d'une charge de poudre soit en vase clos, soit à l'intérieur d'une bouche à feu, développent une série de pressions éminemment variables avec la nature de la poudre et les conditions mêmes de l'expérience. Dans tous les cas, la pression atteint, dans les premiers instants de la combustion, un maximum plus ou moins élevé, pour décroître ensuite d'une manière plus ou moins rapide; cette dernière partie du phénomène résulte de la chute de température due au refroidissement par les parois, effet auquel vient s'ajouter, pour le tir dans une bouche à feu, le refroidissement dû à la détente résultant du déplacement du projectile. Si l'on prend pour abscisses les temps et pour ordonnées les pressions, les courbes ainsi obtenues seront caractéristiques des poudres correspondantes.

Mais le phénomène est loin de présenter, dans son ensemble, une succession de pressions continues et parfaitement régulières : les gaz produits paraissent, en effet, former de véritables tourbillons, d'autant plus comparables à ceux qui prennent naissance dans les masses liquides que la pression est plus élevée. Les différents filets gazeux sont, d'ailleurs, à des états de compression différents, d'où résultent des variations irrégulières extrêmement rapides ; il arrive ainsi, surtout pour les poudres à combustion vive, que les gaz passent, comme des vagues perturbatrices des pressions, d'un bout de la charge à l'autre, et que cette fluctuation peut durer pendant tout le parcours du projectile à l'intérieur de l'âme. Le mouvement se communique donc au mobile, non par une pression continue

graduellement décroissante, mais par une série de chocs plus ou moins violents; et, si l'on cherche à représenter par une courbe la loi de variation des pressions avec le temps, on n'obtiendra de courbe régulière qu'en prenant une série de valeurs moyennes entre les résultats réels.

On peut se proposer de mesurer, soit les pressions développées au bout d'instants successifs déterminés, soit le maximum de la pression produite. Cette mesure peut s'effectuer à l'aide d'appareils dont le principe repose sur deux méthodes entièrement distinctes.

La pression développée à chaque instant par les gaz de la poudre, sur un élément de surface donné, est une véritable force, exprimable en kilogrammes et ne différant des forces que l'on considère habituellement que par sa grandeur et par l'extrême rapidité de ses variations. Or, il n'existe que deux méthodes pour mesurer une force :

1° La *méthode statique*, d'après laquelle on oppose à la force à mesurer une force variable, dont on connaît l'intensité et avec laquelle on cherche à lui faire équilibre : le type des appareils fondés sur cette méthode est la balance;

2° La *méthode dynamique*, d'après laquelle on laisse agir librement la force sur un corps pesant, dont elle détermine la mise en mouvement, et l'on déduit de la connaissance de ce mouvement celle de la force qui l'a produit : c'est ainsi qu'en astronomie on déduit de l'observation du cours des astres les lois de leurs attractions mutuelles (*).

Ces deux méthodes ont été alternativement appliquées à l'étude des pressions produites par les gaz de la poudre. Nous diviserons les appareils successivement imaginés pour la mesure des pressions en deux grandes catégories, suivant qu'ils se rapportent à la méthode statique ou à la méthode dynamique.

*) Sébert, *loc. cit.*, p. 9.

§ I.

MÉTHODE STATIQUE.

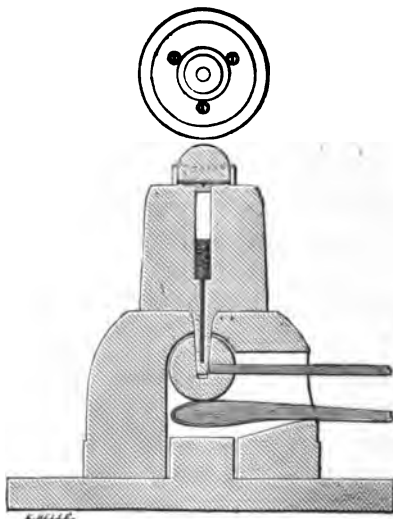
I. APPAREIL DE RUMFORD (1792).

C'est à Rumford qu'on doit les premières expériences destinées à déterminer, par la méthode statique, la pression des gaz de la poudre ; nous en avons précédemment discuté les résultats (p. 504).

a) Description de l'appareil.

L'appareil employé par Rumford consistait essentiellement en un petit canon en fer forgé (fig. 74), placé verticalement sur un support

Fig. 74.



en bronze qui reposait lui-même sur un disque en fer forgé ; le tout était établi sur un bloc de pierre très-dure monté sur un lit de maçonnerie. La bouche du canon était fermée par un hémisphère solide en acier trempé de 29^m,46 de diamètre, sur lequel reposait le poids destiné à faire équilibre à la pression des gaz ; ce poids était guidé dans le sens vertical par des moises horizontales, qui pouvaient glisser le long de poteaux encastrés dans le bloc de pierre et fixés par le haut à une pièce de charpente transversale. L'âme

du canon avait 6^m,35 de diamètre sur 54^m,10 de longueur, et se terminait par un canal inférieur très-étroit, qui n'avait pas plus de 1^m,78 de diamètre sur 43^m,56 de long et par lequel le feu était communiqué à la charge ; du centre de la base du canon partait une saillie qui formait l'enveloppe de cette sorte de lumière.

Pour produire l'inflammation, on chauffait jusqu'au rouge un boulet de fer, évidé à la partie supérieure pour recevoir l'enveloppe de la lumière et muni d'un long manche en fer, qu'on introduisait à travers

une ouverture cylindrique pratiquée dans le support et qu'on maintenait sous l'enveloppe à l'aide d'un levier. Une rondelle de cuir gras, ayant exactement le diamètre de l'âme du canon avec 3^{mm},30 d'épaisseur, était introduite de force après la poudre, de façon à éviter toute fuite de gaz lorsque le poids n'était pas soulevé. Enfin, pour garantir la surface plane de l'hémisphère d'acier de la corrosion des gaz, on avait couvert la tranche de l'âme avec une plaque circulaire de cuir huilé de faible épaisseur, surmontée d'une plaque très-mince de cuivre battu.

b) **Expériences de Rumford.**

Les expériences furent faites dans la cour de l'arsenal de Munich. Le canon étant chargé, on mettait en place le boulet rouge : la chaleur, se communiquant à l'appendice, mettait bientôt le feu à la poudre, qui faisait explosion. Si l'effort exercé par les gaz sur la base du couvercle était inférieur aux poids antagonistes, les gaz restaient enfermés et l'on n'entendait aucun bruit ; si, au contraire, cet effort était supérieur à ces poids, le couvercle était soulevé et les gaz s'échappaient. La méthode de Rumford consistait à faire varier, pour une charge de poudre donnée, les poids placés sur le couvercle, jusqu'à ce qu'ils fussent tout juste soulevés : on peut ainsi juger, par les chiffres relatifs à chaque série de tâtonnements, de l'approximation avec laquelle chaque détermination s'est trouvée effectuée.

Nous avons vu (p. 503) que les résultats des expériences de Rumford accusent, pour la loi des pressions, une série de discontinuités (Pl. VII, *fig.* 1) qui sont probablement dues au mode d'expérimentation adopté. Rumford évaluait, en outre, à 53 004 atmosphères au moins la pression développée par la poudre brûlant dans son propre volume, évaluation certainement exagérée et résultant d'une erreur de calcul (p. 504).

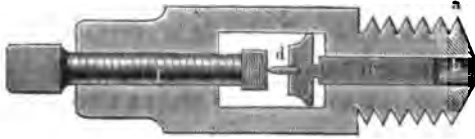
II. POINÇON RODMAN (1857).

Plus d'un demi-siècle s'écoula sans que les essais de mesure des pressions par la méthode statique fussent renouvelés. En 1857, le major Rodman, de l'artillerie des États-Unis, proposa un procédé qui, malgré son peu de précision, ne tarda pas à se répandre en raison de sa grande simplicité et de sa commodité d'emploi.

a) Description de l'appareil.

Le manomètre de Rodman (fig. 75) se compose d'une partie filetée

Fig. 75.



a, percée d'un trou *b* ayant environ 8^{mm},7 de diamètre, à l'intérieur duquel se meut un piston *c*; ce dernier porte un poinçon ou couteau en acier *d*, de forme py-

ramidale et d'une dureté parfaitement déterminée. Vis-à-vis de la pointe du poinçon se trouve un disque *e* de cuivre bien pur, que l'on peut amener exactement au contact du couteau à l'aide de la vis *f*. L'appareil est vissé dans un canal percé normalement à travers la paroi de la bouche à feu et évasé vers l'extérieur; il reste toujours un certain intervalle entre la base inférieure du piston *c* et la surface intérieure de l'âme.

Lorsque les gaz de la poudre pressent sur le piston, le poinçon pénètre dans le disque de cuivre jusqu'à ce que la résistance du métal fasse équilibre à l'effort développé par les gaz : il produit ainsi une empreinte en forme de losange, dont la grandeur varie avec la pression développée. Pour évaluer la pression qui correspond à une grandeur d'empreinte déterminée, on place l'appareil sous une machine à éprouver la résistance des métaux, et l'on construit une table indiquant, pour un poinçon déterminé, les efforts nécessaires pour produire des empreintes de longueurs successivement croissantes; Rodman a d'ailleurs publié une table qui donne, pour une forme de poinçon dont il indique le tracé, les longueurs d'empreinte qui correspondent à des pressions variant depuis 45 jusqu'à 2 200^l : la plus petite empreinte a 3^{mm} de longueur et la plus grande 28^{mm}.

b) Expériences de Rodman.

La poudre employée dans les expériences de Rodman était de la poudre Dupont, fabriquée exprès en 1859, à grains de 2^{mm},5 environ.

Rodman appliqua d'abord son appareil à l'étude des pressions développées sur la culasse, dans le tir d'un canon de 42, avec différents modes de chargement. Il obtint 4300^{mm} de pression avec

deux projectiles, et 3485^{mm} avec un seul. A égalité de poids du projectile, si l'on faisait varier la charge de 1^l,5 à 6^l, la pression s'élevait jusqu'à 3599^{mm}. Enfin, la charge restant égale à 2^l,5, si le poids du projectile variait de 17^l,5 à 42^l,5, la pression passait de 4115^{mm} à 2754^{mm}. Rodman rechercha également les pressions des gaz en différents points de l'âme, dont la distance à la culasse variait, de 2 en 2 calibres, depuis 2 jusqu'à 14 calibres; il étudia l'effet de poudres diverses, et en particulier celui des poudres comprimées, ainsi que l'influence du vent du projectile et celle des sabots.

En 1860, Rodman étudia la résistance à l'éclatement de cylindres creux en fonte d'épaisseur variable, dans lesquels il faisait détoner la poudre, en notant, à l'aide de son appareil, la pression produite à chaque essai : les pressions ainsi observées s'élevèrent parfois au-dessus de 12300^{mm}.

Les expériences furent ensuite reprises avec un canon de 7 pouces, un de 9 pouces et un de 11 pouces; les pressions étaient mesurées simultanément en 7 points, échelonnés le long de l'âme à des distances régulières de 0^m,35. La plus grande pression ainsi observée était voisine de 6700^{mm}.

Enfin, Rodman répéta les expériences de Rumford sur la combustion de la poudre en vase clos, en se servant d'une sphère creuse en fonte très-épaisse, percée de deux trous taraudés, l'un disposé pour le poinçon, l'autre recevant un grain pour le canal de lumière; ce dernier livrait issue aux gaz, d'où résultait une grande infériorité sur la méthode de Rumford. Rodman étudia l'influence de la densité de chargement au moyen de sphères de capacité constante, et celle de la grandeur absolue de la charge au moyen de sphères de capacité variable. Il fut ainsi conduit à cette conclusion, que la pression développée est indépendante de la valeur absolue de la charge et ne dépend que du rapport de cette charge au volume de la chambre; nous reproduisons (Pl. VII, *fig.* 4) la courbe des pressions en fonction des densités de chargement telle qu'elle résulte de ces expériences. Rodman se servit, en outre, de sphères d'épaisseur variable qui lui permirent de fixer à 15000^{mm} environ la limite inférieure de la pression développée par la poudre brûlant dans son propre volume.

c) Conclusion.

Le poinçon Rodman est un appareil d'une grande simplicité, qui peut se placer en un point quelconque de l'âme ou simplement

au fond de la chambre, sans rien changer aux conditions du tir. Mais, à côté de ces avantages, il présente de graves inconvénients.

D'abord, l'installation même dans les parois de la bouche à feu en paraît défectueuse : nous avons vu, en effet, que la base inférieure du piston n'affleure pas la surface intérieure de l'âme, de sorte que les molécules gazeuses acquièrent une vitesse propre, qui peut être considérable, avant d'agir sur le piston; il en résulte que les pressions indiquées sont plus considérables que les pressions réellement exercées à l'intérieur de l'âme.

D'un autre côté, le mode de tarage des disques de cuivre ne semble pas moins défectueux; il y a, en effet, à considérer la question de durée, laquelle est entièrement différente pour le tarage et pour l'expérience de tir. A force égale, plus la vitesse du poinçon sera grande, plus grande aussi sera la résistance du disque de cuivre, les molécules choquées ne pouvant pas s'écarter assez rapidement dans le cas d'une action brusque. En d'autres termes, le tarage de l'appareil se fait uniquement par la méthode statique, tandis que le fonctionnement met en jeu des phénomènes dynamiques, puisque le piston se déplace, sous l'action des gaz, d'une quantité égale à l'enfoncement. Ce déplacement de 4 ou 5^{mm}, tout faible qu'il est, n'est certainement pas négligeable; la masse de l'appareil déplacé intervient par l'effet de l'inertie, et d'une manière d'autant plus sensible que l'effort est plus considérable et l'action plus rapide. La mesure des pressions avec le poinçon Rodman n'est pas sans analogie, comme le remarque Sébert, avec l'opération qui consisterait à déterminer le poids d'un marteau en en frappant un coup sur le plateau d'une balance.

Enfin, le manomètre de Rodman, destiné, comme tous les manomètres à écrasement, à fournir l'indication de la pression maximum, ne donne en réalité qu'une sorte d'intégrale des pressions successivement développées, et cette intégrale ne peut être considérée comme représentant la pression maximum avec une approximation suffisante que dans des conditions de tir tout à fait spéciales.

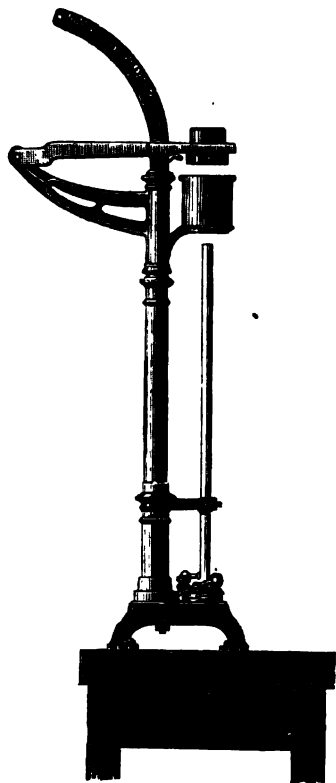
III. ÉPROUVETTE D'UCHATIUS (1862).

A peu près vers la même époque, en Autriche, le colonel d'Uchatius appliquait à l'étude des propriétés des poudres un appareil

fondé sur le même principe. Dès 1860, il avait employé à la mesure de la dureté comparative des métaux un manomètre dont le couteau présentait un tranchant courbe en forme d'arc de cercle; en 1862, il eut l'idée d'appliquer ce poinçon à la construction d'une éprouvette spéciale pour l'étude des poudres.

Cette éprouvette (*fig. 76*) se composait d'un canon de fusil rac-

Fig. 76.



courci, placé verticalement, dont la culasse était formée par le piston même du poinçon et qui était surmontée d'une masse de plomb, fixée à l'extrémité d'un levier disposé de manière à parcourir un arc gradué; ce levier, soulevé par le choc de la balle placée dans le canon, en mesurait la vitesse au moyen d'un tarage préalable, pendant que l'empreinte obtenue à l'aide du poinçon mesurait la pression développée. En appliquant le même système à un canon de fusil d'infanterie laissé entier, d'Uchatius avait également établi un appareil destiné à remplacer le fusil-pendule dans les poudreries; en même temps, il avait construit un appareil d'expérience, dans lequel les poinçons étaient placés latéralement en différents points de l'âme du fusil, et qui lui avait servi à étudier les effets de divers composés explosifs et l'influence des divers modes de chargement;

enfin, il avait indiqué la manière d'appliquer le même appareil sur les bouches à feu de gros calibre.

La forme courbe donnée au poinçon a l'avantage de produire des empreintes dont les longueurs croissent avec les pressions dans un rapport plus constant que celles des empreintes du poinçon pyramidal; mais cette forme est plus difficile à préparer et à reproduire identique à elle-même.

IV. APPAREIL RODMAN MODIFIÉ (1870).

C'est la Russie qui exécuta, en Europe, les premiers essais du poinçon Rodman appliqué au tir des canons et des fusils. Le général Gadolin proposa en même temps un mode d'emploi peu pratique, bien que théoriquement exact, et destiné à éviter les causes d'erreur dues au déplacement de l'appareil : on produisait à l'avance, avec le poinçon même, une entaille légèrement inférieure à celle que l'on s'attendait à observer, et l'on plaçait le poinçon exactement dans cette empreinte.

L'artillerie de la marine française fit usage du poinçon Rodman pour la première fois en 1868. Les anomalies qui furent constatées dans le fonctionnement de cet appareil l'amènèrent à lui substituer, dès 1870, un instrument connu sous le nom d'*appareil Rodman modifié*, dans lequel le poinçon était remplacé par un piston à tête plate produisant l'écrasement d'un cylindre en plomb de dimensions assez considérables. Cet appareil avait tous les inconvénients du poinçon Rodman sous le rapport des masses mises en mouvement, et ces inconvénients étaient encore augmentés en raison de la plus grande course permise au piston par la malléabilité du plomb et de la durée même de l'expérience : on arrivait ainsi à mesurer le travail produit plutôt que la pression développée.

V. APPAREIL DE MEUDON.

Le principe de l'appareil Rodman modifié se retrouve dans l'appareil de Meudon, actuellement employé par la Commission de Tarbes et successivement perfectionné par les colonels de Montluisant et de Reffye.

Dans cet appareil, on observe l'écoulement même d'une masse de plomb cylindrique qui, soumise à la pression des gaz, se trouve en quelque sorte moulée dans un canal de moindre diamètre placé derrière le cylindre. Ce canal était d'abord cylindrique ; mais on dut bientôt chercher à créer une résistance à l'écoulement du plomb, afin d'établir un équilibre entre cette résistance et la pression des gaz et d'éviter ainsi les projections du métal. A cet effet, de Reffye employa un canal conique dont la petite base affleurait la surface

extérieure du tube, de sorte que la masse de plomb rencontrait une résistance graduellement croissante.

Les efforts nécessaires pour obtenir des cônes de plomb d'une longueur déterminée furent établis par des essais directs exécutés au Conservatoire des Arts et Métiers; il résulta de ces essais que, dans les limites de la pratique, cette longueur restait toujours proportionnelle à l'effort employé. Les formules de mécanique sur la déformation des corps solides paraissent d'ailleurs justifier cette conclusion. De Reffye et Pothier ont réussi, à l'aide de cet appareil, à mesurer les pressions exercées sur le culot du projectile.

La grande uniformité de résistance que le plomb présente à la déformation, la facilité avec laquelle on peut couler un grand nombre de petits cylindres de ce métal identiques et parfaitement homogènes, enfin la longueur relativement grande du cône que l'on obtient et la précision des mesures qui en résulte, tels semblent être les principaux avantages de l'appareil de Meudon. Toutefois, les objections que nous avons présentées pour l'appareil Rodman modifié s'appliquent *a fortiori* à cet instrument; la durée de l'action des gaz, vraisemblablement assez variable, a une influence très-sensible sur les résultats, et l'on ne peut déduire de la valeur de la déformation la mesure exacte de la force que si l'on connaît cette durée.

VI. MANOMÈTRE CRUSHER.

La Commission anglaise des substances explosives, instituée en 1868, fut également amenée à modifier le poinçon Rodman et adopta un nouvel appareil, dit *crusher* ou écraseur, proposé par le capitaine Noble qui, dès 1860, avait eu l'idée de mesurer l'effet dû à l'inertie des projectiles à l'aide de l'écrasement de petits cylindres en cuivre placés à la partie antérieure.

a) Description de l'appareil.

Le *crusher* ou *crusher-gauge* (fig. 77 et 78) se compose d'une vis creuse en acier, dont l'ouverture inférieure est munie d'un obturateur à vis mobile, permettant d'introduire dans la chambre CDEF de petits cylindres en cuivre B. La surface supérieure de ces cylindres repose sur l'enclume A, tandis que la surface inférieure s'appuie contre le piston mobile C', sur lequel agit le ressort *i*.

Un petit ressort spiral (*fig. 79*) sert à centrer le cylindre à l'intérieur de la chambre; la tête du piston est cannelée (*fig. 80*), de même que l'enclume. Quatre longs orifices A'B' sont en communication avec un large canal central qui traverse la partie supérieure de la vis. L'extrémité inférieure du piston C' est garnie d'un obturateur en cuivre rouge à fermeture hermétique.

Fig. 77.



Fig. 79.



Fig. 78.



Fig. 80.



Au moment de l'expérience, on met en place le cylindre B et l'on visse l'appareil dans la paroi du tube: les gaz de la poudre pressent sur la face inférieure du piston et écrasent le cylindre contre l'enclume; une table dressée à l'avance permet de déduire de la mesure de cet écrasement celle de la pression exercée. Pour le canon prussien de 8 pouces se chargeant par la bouche, la base du cylindre

de cuivre avait $1/2$ pouce carré anglais ($3^{\text{e}}, 225$) et la surface de pression du piston $1/6$ pouce carré ($1^{\text{e}}, 075$). Le tarage s'effectue, comme pour le poinçon, en soumettant à des efforts de compression croissants et mesurés des cylindres de cuivre de dimensions convenables et en observant leurs écrasements successifs.

Cet appareil est beaucoup moins volumineux que le poinçon Rodman et peut se placer plus aisément dans le voisinage de l'âme, ce qui permet d'éviter l'une des causes d'erreur que nous avons indiquées (p. 566); en outre, l'écrasement du cylindre est plus régulier que la pénétration du poinçon, attendu que les résistances passives, qui croissent avec les surfaces en contact, varient plus rapidement avec ce dernier appareil; enfin la construction du crusher, qui ne présente que des surfaces planes parallèles, est aussi notablement plus facile. Aussi l'usage de cet appareil est-il devenu tout à fait général, sauf en Russie, où l'on conserve encore le poinçon Rodman. En Italie, on a été conduit, d'après des idées théoriques

que nous avons déjà signalées (p. 568), à amener préalablement les cylindres de cuivre à un état de compression parfaitement déterminé et voisin de celui que l'on suppose devoir être produit par l'action des gaz.

b) Expériences de Noble et Abel (1871-1874).

Noble s'est servi du crusher pour répéter les expériences de Rumford sur la combustion de la poudre en vase clos (1871) : il a déterminé la courbe des pressions en fonction de la densité des produits de l'explosion, et constaté que la pression maximum due à la poudre ne doit pas dépasser 6100^{mm}. Ces expériences ont été reprises sur une plus grande échelle par Noble et Abel (1874).

L'appareil employé pour la combustion de la poudre en vase clos a été déjà décrit (p. 474). Le crusher se vissait dans un orifice disposé latéralement. Les cylindres étaient le plus souvent en cuivre, quelquefois en étain.

Nous avons discuté plus haut (p. 507) les résultats de ces expériences; nous reproduisons (Pl. VII, *fig. 1*) la courbe des pressions obtenues par Noble et Abel en fonction de la densité des produits. La pression produite par la poudre brûlant dans son propre volume fut trouvée égale à 6567^t par centimètre carré pour les poudres pebble et RLG, et à 6066^t pour la poudre FG.

~VII. APPAREILS DE LE BOULENGÉ.

On doit à Le Boulengé deux appareils destinés à faire connaître le maximum de la pression développée par les gaz, et dont le principe, analogue à celui des crushers, consiste à opposer à cette pression la résistance variable d'un ressort, constitué soit par une lame métallique, soit par une masse d'air comprimé.

a) Dynamomètre à ressort.

Cet appareil (Pl. VIII, *fig. 1*) se compose essentiellement d'un piston qui, soumis à l'action des gaz, pousse la branche mobile d'un ressort à deux branches, en même temps qu'une aiguille indicatrice maintenue dans un bourrage en liège et destinée à marquer la limite de la course du piston. Cette aiguille est logée dans l'axe d'une vis micrométrique, graduée directement en atmosphères et

qui permet, en la ramenant au contact de la tête du piston, de mesurer le déplacement maximum; une sonnerie électrique indique l'instant précis du contact. L'obturation du piston est réalisée au moyen d'une graisse liquide, qui transmet instantanément et intégralement la pression au système.

Le Boulengé admet que, dans la limite de 10^{mm} de déplacement, les flexions sont proportionnelles aux pressions transmises. Il a d'ailleurs cherché à éliminer le plus possible l'influence des masses, en donnant au piston une section telle que 0^{mm},001 de flexion du ressort correspondit à 1^{mm} de tension dans l'âme, c'est-à-dire en ne faisant exécuter au piston et au ressort que de très-faibles courses. Mais il est vraisemblable que ce résultat n'a pu être atteint qu'aux dépens de la sensibilité de l'appareil.

b) Manomètre à air.

Cet appareil (Pl. VIII, *fig. 2*) ne diffère du précédent que par la nature du ressort qui fait équilibre au mouvement du piston : ce ressort consiste en une masse d'air comprimé, à l'intérieur d'un cylindre d'acier, par un piston de même métal, creux et très-léger. Ce dernier pousse l'aiguille indicatrice et porte, sur sa face inférieure, une tige d'acier dont la base est soumise à l'action des gaz et dont la section est 500 fois moindre que celle du piston.

VIII. BALANCES MANOMÉTRIQUES DE MARCEL DEPREZ.

Marcel Deprez a cherché, dans la construction de ses appareils manométriques, à éliminer les effets perturbateurs dus aux masses des divers organes. Le principe sur lequel reposent ces manomètres consiste à employer une pression antagoniste de valeur connue, s'exerçant sur la tête du piston soumis à l'action des gaz, et à déterminer l'instant précis où ce piston se trouve en équilibre entre ces deux pressions, sans chercher à prolonger cet état d'équilibre et en se contentant de noter s'il a été ou non réalisé : en répétant l'expérience et réglant convenablement, à chaque fois, la pression antagoniste, on peut approcher aussi près que l'on voudra de la valeur exacte de la pression développée.

Deux sortes d'appareils permettent de réaliser ces conditions :

1° Les balances manométriques à un seul piston, qui peuvent

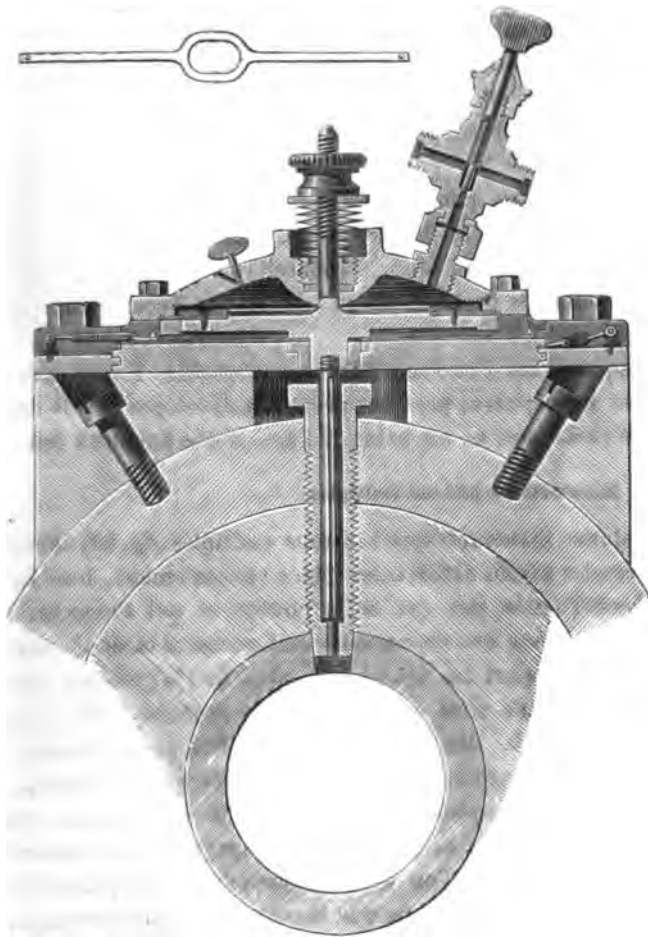
donner, par tâtonnement, en répétant les expériences, la mesure du maximum de pression développé ;

2° Les balances manométriques à pistons multiples, qui permettent de déterminer, en une seule expérience, le maximum de pression obtenu, et même, en faisant usage d'un chronographe, d'enregistrer la succession des pressions produites pendant la durée de la combustion de la charge.

a) Manomètre à un seul piston.

Cet appareil (*fig. 81*) se compose d'un piston différentiel dont la

Fig. 81.



petite base, qui n'a que 0^m,5 de section, est soumise directement à l'action des gaz, tandis que la grande base, qui a une surface 400 fois plus grande, forme piston dans une capacité close où l'on peut, à l'aide d'une pompe spéciale, introduire de l'air ou de l'eau comprimés; un manomètre métallique permet de mesurer la pression développée et, par suite, d'évaluer la force antagoniste opposée à l'action des gaz. Une petite lame mince, d'acier, engagée sous la tête du piston, où elle est maintenue par le frottement résultant de la pression entre les deux faces d'appui, et attirée par un ressort en caoutchouc qui tend à l'entraîner, doit indiquer si l'effort antagoniste a été ou non surpassé par la pression des gaz.

S'il y a équilibre entre les deux forces ou, *a fortiori*, si la pression dépasse l'effort antagoniste, la lame est entraînée et vient occuper une nouvelle position; on recommence alors une nouvelle expérience en ménageant un effort antagoniste plus grand, et l'on voit si cet effort est encore dépassé: on continue ainsi jusqu'à ce qu'on arrive à produire un effort antagoniste supérieur à la pression développée, et l'on peut resserrer à volonté les limites entre lesquelles on enferme la mesure de la pression des gaz. Si, au contraire, dès les premiers coups, l'appareil reste immobile, on diminue successivement la pression jusqu'à ce que le déclenchement fonctionne.

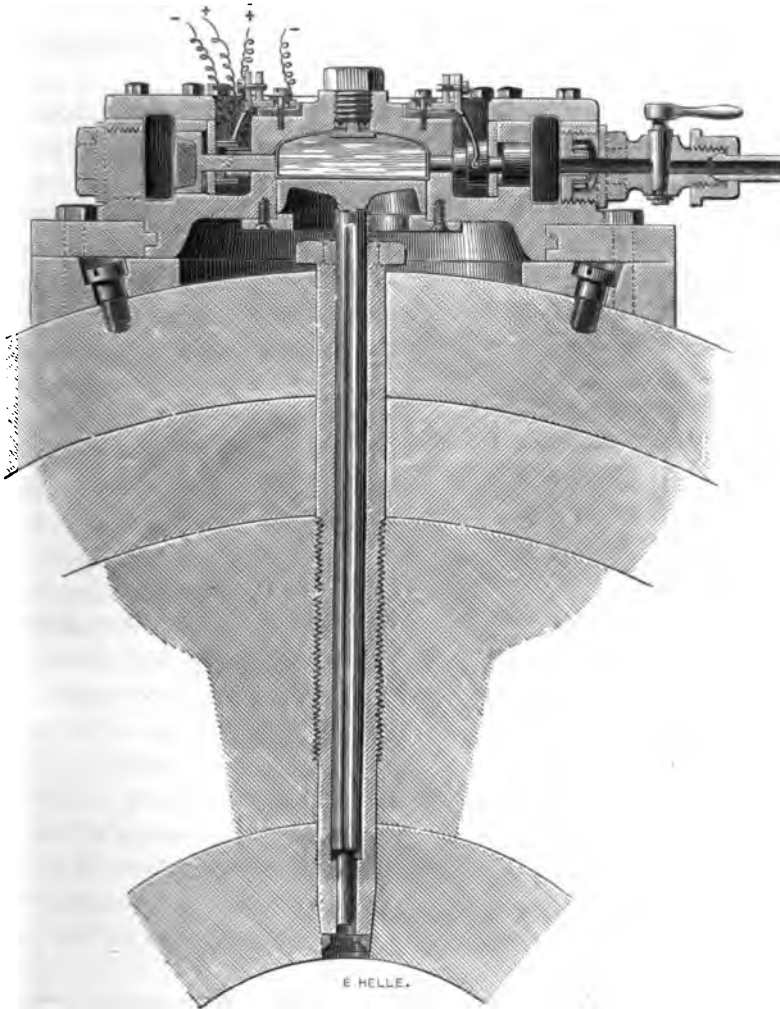
Cet appareil est d'une sensibilité remarquable: il peut mesurer, à quelques atmosphères près, les pressions développées soit dans une capacité close, soit en un point de l'âme d'une bouche à feu.

b) Manomètre à pistons multiples.

La balance manométrique à pistons multiples (*fig. 82*) se compose d'un premier piston différentiel, placé verticalement, dont la petite base reçoit l'action des gaz de la poudre et qui s'engage, par sa grande base, dans une capacité hermétiquement close et remplie de mercure; le rapport des deux bases est tel que la pression transmise au sein du liquide n'est que 1/100 de la pression exercée par les gaz de la poudre. Dix autres pistons différentiels, placés suivant les rayons d'un cercle horizontal, ont leurs petites bases, toutes égales entre elles, logées dans les parois de cette même capacité, tandis que leurs bases extérieures sont engagées dans la paroi d'une capacité annulaire où l'on peut développer, au moyen d'air comprimé, une pression connue que mesure un manomètre; ces der-

nières bases ont des surfaces variables d'un piston à l'autre, et respectivement égales à 1, 2, 3, ... 10 fois la petite base, de sorte que les pistons successifs seront repoussés quand la pression développée

Fig. 82.



au sein du mercure dépassera 1, 2, 3, ... 10 fois la pression antagoniste exercée par l'air comprimé. Un dispositif analogue à celui que nous avons décrit pour la balance manométrique à un seul piston

indique, pour chaque piston, s'il a été mis un instant en équilibre sous l'action des pressions exercées sur ses deux bases.

Si l'on suppose l'appareil placé sur un canon et que l'on constate, après le tir, que les 7 premiers pistons ont été dégagés, tandis que les 3 autres n'ont pas bougé, on pourra affirmer que la pression développée par les gaz est restée comprise entre 700 et 800 fois la pression antagoniste, par exemple, si celle-ci est de 1 atmosphère, entre 700 et 800^{atm}.

Si, en outre, on enregistre, au moyen du chronographe Schultz perfectionné par Marcel Deprez (p. 555), le moment précis de la mise en mouvement de chacun des pistons déplacés, c'est-à-dire des états d'équilibre correspondant aux pressions successives de 100, 200, ... 700^{atm}, on aura la branche ascendante de la courbe des pressions en fonction du temps. Et si l'on enregistre de même les instants où les pistons déplacés reviendront sur eux-mêmes, lorsque la pression développée dans la capacité centrale repassera par les valeurs précises qui avaient déterminé le déplacement initial, on obtiendra la branche descendante de cette même courbe.

L'appareil constitué par le manomètre à dix pistons réuni au chronographe Marcel Deprez est si parfait, qu'il permet d'enregistrer la succession des pressions développées pendant la durée et par l'effet d'un coup de marteau : on a ainsi trouvé que la durée du choc varie de 0^{ms},01 à 0^{ms},0001, suivant que l'on frappe sur le piston avec un marteau à long manche flexible ou avec un bloc d'acier massif. Ce qui se passe dans le cas du choc par un corps élastique présente d'ailleurs la plus grande analogie avec la succession des efforts développés par l'explosion de la poudre.

§ II.

MÉTHODE DYNAMIQUE.

La méthode dynamique fut pour la première fois appliquée à l'étude des phénomènes balistiques par le chevalier d'Arcy (1760), l'inventeur de l'éprouvette à recul (p. 528), qui se servit du pendule balistique dû à Robins pour déterminer les vitesses obtenues avec des canons de fusil de différentes longueurs : c'était, en effet, étudier la

loi du mouvement d'un corps soumis à l'action de la force cherchée. Ces expériences n'ont été reprises que vers le milieu de ce siècle, par le colonel Cavalli.

I. EXPÉRIENCES DE CAVALLI (1845-1860).

En 1845, Cavalli entreprit une série d'expériences pour déterminer les pressions développées par la poudre en différents points de l'âme, afin d'en déduire les épaisseurs les plus convenables à donner aux bouches à feu. Il se servit, à cet effet, d'un canon de 12 de campagne, dans lequel furent percés, dans un plan horizontal, 11 canaux perpendiculaires à l'axe, de 0^m,027 de diamètre, le premier tangent au fond de l'âme, les 4 suivants distants d'une longueur égale au calibre et les autres d'une longueur égale à deux calibres; on vissait sur chaque canal un canon de fusil destiné à lancer une balle en fer forgé de 46^m, ayant 0^m,0264 de diamètre. On ne faisait usage, dans chaque expérience, que d'un seul canal, les 10 autres étant bouchés, et l'on disposait en face de ce canal un pendule balistique. Cavalli put ainsi mesurer les vitesses imprimées, aux différents points de l'âme et dans des conditions de tir identiques, à une même balle successivement engagée dans des canaux de même longueur, et il admit que les épaisseurs du métal devaient être proportionnelles aux quantités de mouvement correspondantes.

En 1860, Cavalli reprit ses expériences pour comparer la fatigue relative des canons lisses et des canons rayés. Chacun des deux canons reçut, vers le milieu de la longueur de la charge, un petit canal horizontal de 0^m,0196 de diamètre, prolongé par un canon de fusil qui lançait sur un pendule balistique des projectiles pesant 25, 50, 75, 100 et 150^m. Cavalli conclut de ces expériences que les rayures n'augmentaient pas, par le fait seul de leur présence, les pressions développées dans l'âme, qui étaient en outre indépendantes de l'inclinaison donnée à l'axe de la bouche à feu et ne dépendaient, dans une section droite déterminée, que de la densité de chargement.

II. EXPÉRIENCES DE NEUMANN (1851).

En 1851, une Commission instituée à Berlin exécuta, d'après la méthode de Cavalli, des expériences qui durèrent plusieurs années

et dont les résultats, indiqués dans un mémoire du général Neumann, ont servi de base à un travail théorique du général russe Mayewski (1857).

Les premières expériences se firent sur un canon de campagne de 6 livres, percé, à une distance de 0^m,076 du fond de l'âme, c'est-à-dire vers le milieu de la longueur de la charge ordinaire de 940^m, d'un canal horizontal pouvant lancer directement sur le pendule balistique des projectiles dont le poids, relativement élevé, varia de 11^g à 380^g. On se contenta d'expérimenter des charges de 350^g, 940^g et 1^g,013 de la poudre réglementaire, en tirant à boulets et en employant deux modèles de gargousses (ordinaires et allongées); on fit aussi des tirs à blanc à la charge de 940^g. On voit que ce mode d'expérience se distingue du procédé primitif de Cavalli par l'emploi de canaux courts et de projectiles lourds et par le tir d'une série de projectiles de poids croissants, ce qui constituait un perfectionnement important au point de vue de l'étude de la loi du mouvement du projectile.

Les résultats présentèrent d'assez grandes irrégularités, probablement dues aux imperfections du procédé employé; on en déduisit par le calcul les valeurs des pressions et celles des durées du trajet du projectile dans l'âme. On trouva ainsi qu'à la charge de 940^g, la pression maximum développée au point considéré de l'âme atteignait, dans le tir à boulets, 1 034^{mm} avec la gargousse allongée, et 1 231^{mm} avec la gargousse ordinaire; le tir à blanc ne donnait que 394^{mm} de pression. Enfin, pour le tir à charge constante, la durée de parcours du canal était, dans le tir à boulets, de 0^s,001 et 0^s,005 pour le plus petit et le plus grand poids; elle s'élevait à 0^s,009 pour ce dernier poids et dans le cas du tir à blanc.

Dans une seconde série d'expériences, on se servit d'un canon de 12 de campagne, percé de deux canaux horizontaux qui lançaient à la fois deux petits projectiles dans des pendules balistiques distincts. On ne fit que des tirs à boulets, mais en employant divers modes de chargement. Les résultats furent analogues aux précédents.

III. EXPÉRIENCES DE NOBLE (1872).

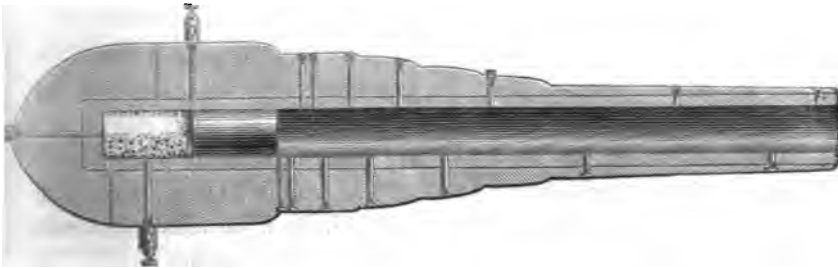
En 1872, la Commission des substances explosives se proposa de déterminer, à l'aide du chronographe de Noble (p. 552), la succession des pressions développées par diverses poudres, en établissant la loi

même du mouvement du projectile : il suffisait, pour cela, de noter les instants précis du passage du projectile en différents points de l'âme, sans rien changer aux conditions du tir, ce qui constituait une notable supériorité sur les procédés de d'Arcy et de Cavalli.

La Commission faisait usage d'un canon (*fig. 83*) percé d'un grand nombre de canaux disposés normalement à l'âme, et dans chacun desquels se vissait l'un des cylindres du chronographe. On obtenait ainsi les espaces parcourus par le projectile en fonction du temps, et l'on en déduisait par le calcul, dans le cas d'un projectile sans *forcement*, la succession des pressions développées.

En opérant sur les poudres RLG, pellet, pebble et prismatique, on

Fig. 83



a pu construire les courbes représentatives de la pression en fonction de l'espace parcouru (Pl. VII, *fig. 2*), qui montrent nettement les différences d'action de ces diverses poudres au point de vue de la pression intérieure. Ces différences deviennent encore plus frappantes si l'on calcule, comme l'a fait le commandant Vaucheret, les valeurs des pressions en fonction du temps (Pl. VII, *fig. 3*). On voit que la poudre prismatique atteint sa pression maximum de 3 400^{mm} au bout de 0',016, sur une durée totale de parcours de 0',023, tandis que la poudre pebble atteint son maximum de 2 200^{mm} au bout de 0',007, sur une durée totale de 0',014; quant à l'ancienne poudre RLG, sa pression maximum, qui paraît dépasser 4 300^{mm}, se produit au bout d'un temps inférieur à 0',0005, sur une durée totale de parcours de 0',010.

IV. EXPÉRIENCES DE NOBLE ET ABEL (1874).

Outre leurs déterminations des pressions développées par les gaz et la poudre en vase clos (p. 571), Noble et Abel ont exécuté sur les

poudres pebble et RLG plusieurs séries d'expériences, fondées sur la méthode précédemment employée par la Commission des substances explosives (p. 578). Ils ont pu, en même temps, comparer les indications des crushers avec celles du chronographe Noble, et ils sont arrivés à cette conclusion, que le chronographe donne plutôt la pression moyenne produite dans la chambre, tandis que les crushers accusent les pressions locales, surtout si la vivacité de la poudre donne lieu à des fluctuations des gaz; lorsqu'il n'y a pas de fluctuation, les pressions chronoscopiques sont généralement supérieures de 5 à 7 p. 100 à celles du manomètre, soit par suite de frottements dans certaines parties du crusher ou d'une diminution de pression due au vent du projectile, soit à cause de la force vive communiquée à ce dernier par les particules solides ou gazeuses qui n'ont aucune action directe sur le manomètre.

Noble et Abel ont opéré avec les canons de 10 pouces (25^m,4) et de 18 tonnes (18^t,3). Dans la première série d'expériences, les charges étaient de 31^t,75 de poudre pebble, et les poids des projectiles variaient de 136^{kg},08 à 544^{kg},31. Dans la seconde série d'expériences, les charges étaient de 27^t,216 de poudre RLG, mais les poids des projectiles n'ont pas dépassé 272^{kg},16. On a pu ainsi construire les courbes des vitesses et des pressions en fonction des espaces parcourus par le projectile. Pour la poudre pebble, la pression maximum de 2 839^{kg} par centimètre carré se produit au bout de 0^m,004 37, et correspond à un déplacement du projectile de 0^m,153; la vitesse communiquée au projectile de 136^{kg},08 est de 465^m,4. La poudre RLG, tirée à la charge de 27^t,216 dans le canon de 10 pouces, ne donne qu'une vitesse de 451^m, tandis que la pression atteint son maximum 3 476^{kg} au bout de 0^m,000 07 et pour un déplacement du projectile de 0^m,015. Quant aux indications des 5 crushers, elles varient de 1 748 à 2 709^{kg}, dans le premier cas, et, dans le second, de 1 890 à 6 961^{kg}. — Enfin, divers essais effectués par la Commission des substances explosives ont indiqué de très-grandes variations dans les pressions observées. La pression chronoscopique la plus élevée, qui était de 4 819^{kg} par centimètre carré, a été fournie par la poudre RLG, tirée à la charge de 27^t,2 dans le canon de 10 pouces avec un projectile de 181^{kg},44; les pressions manométriques correspondantes ont varié de 4 662 à 9 102^{kg}.

Nous reproduisons (Pl. VII, *fig.* 4) quatre courbes des pressions en fonction des densités moyennes des produits de la combustion,

déduites par Noble et Abel, soit des résultats de leurs expériences, soit de formules théoriques. La courbe A représente les tensions en vase clos, déduites de l'observation réelle, et peut être considérée comme représentant les pressions qui se développeraient, si la détente des produits de la combustion s'effectuait adiabatiquement et sans production de travail; la courbe théorique B représente les tensions qui seraient réalisées dans l'âme du canon, dans le cas d'une densité de chargement égale à l'unité et d'une détente adiabatique, et en supposant la charge complètement consumée avant que le projectile se soit déplacé; enfin, les courbes C et D représentent les résultats moyens obtenus, la première, avec la poudre RLG dans les canons de 8 et de 40 pouces, la seconde, avec la poudre pebble dans les canons de 40 et de 11 pouces. L'aire comprise entre la courbe B et l'axe des abscisses représente le travail théorique maximum qu'il serait possible d'obtenir de la poudre, et l'aire comprise entre les courbes A et B correspond à la perte de chaleur due au travail dépensé par les gaz. Quant à la courbe C, elle montre que les pressions de la poudre RLG s'éloignent peu des pressions théoriques pour les fortes densités, les deux courbes B et C arrivant à coïncider après un faible déplacement du projectile; pour la poudre pebble, au contraire, les pressions sont sensiblement inférieures aux pressions théoriques, et les deux courbes B et D restent séparées presque jusqu'à la bouche de la pièce. Ce résultat est dû, d'après Noble et Abel, à ce que la charge se consume plus ou moins rapidement suivant la vivacité de la poudre, de sorte qu'on pourrait juger, par l'abscisse du point de rencontre des courbes C et D avec la courbe B, de la partie de l'âme dans laquelle on doit considérer la poudre comme pratiquement comburée.

V. EXPÉRIENCES DE RICQ (1873).

L'enregistreur à indications continues du capitaine Ricq repose sur un principe entièrement différent. La méthode consiste à faire tracer par un projectile, soumis à l'action des gaz de la poudre, une courbe représentative de la loi de son mouvement sur un cylindre animé d'une rotation rapide, qui n'est autre que l'appareil construit par le général Morin pour l'étude des lois du frottement.

Le cylindre enregistreur, dont l'axe est horizontal et perpendiculaire à l'axe de la bouche à feu, est en cuivre de 4^{mm} d'épaisseur et

mesure 1^m de circonférence sur 0^m,40 de hauteur. Ce cylindre est contenu dans une boîte cylindrique en fonte, qui s'ouvre autour de charnières horizontales et dans laquelle on a ménagé une rainure parallèle aux génératrices; le long de cette rainure est fixée une coulisse dans laquelle glisse un petit curseur, armé de deux pointes d'acier qui pénètrent de quelques dixièmes de millimètre dans une couche mince de paraffine parfaitement dressée qui recouvre le cylindre. Quand le coup part, le projectile, qu'on a préalablement disposé dans l'intérieur d'un grain fleté fixé au canon, pousse le curseur, et les pointes tracent deux courbes qui doivent être identiques.

On produit la rotation du cylindre à l'aide d'un équipage de roues dentées, dont le mouvement est commandé par un poids tombant verticalement à l'intérieur d'une colonne en fonte: lorsque ce poids est descendu d'une certaine hauteur, il fait déclencher deux compteurs qui, tombant chacun le long d'un des fonds du cylindre, servent à en mesurer la vitesse de rotation. A cet effet, chaque compteur, qui consiste en une tige d'acier graduée en millimètres, porte une rainure verticale, parallèle à la graduation et remplie d'une couche de paraffine formant saillie, sur laquelle une pointe placée à la circonférence de la base du cylindre marque un trait chaque fois qu'elle la rencontre: la distance de deux traits consécutifs correspond à la hauteur de chute du compteur pendant un tour du cylindre. Arrivé au bas de sa course, l'un des compteurs ferme un courant électrique qui met le feu à la charge de poudre au moyen d'une étoupille à fil de platine. On peut d'ailleurs mettre en évidence les erreurs constantes de l'appareil de chute en le comparant avec un second appareil de chute, tel que le chronographe Le Boulengé.

L'enregistreur étant en place à poste fixe, sur une aire parfaitement dressée et résistante, on dispose la bouche à feu dans le voisinage sur une sorte d'affût marin, de manière que le grain fleté se trouve près du guide du curseur; on pointe exactement la pièce, en introduisant dans le canal du grain une tige cylindrique en acier de 1^m de longueur, parallèlement à l'axe du guide et aussi près que possible du bord opposé à la direction du recul. On réduit, en outre, l'étendue du recul à un déplacement très-faible à l'aide d'un dispositif spécial. La courbe une fois tracée, le curseur et le projectile continuent leur mouvement et sont reçus dans une grande caisse remplie de sciure de bois. Le relevé des courbes se fait en appliquant

sur la surface du cylindre une feuille de papier à calque préalablement quadrillée et en pressant légèrement avec l'ongle, de manière à imprimer les courbes sur le papier; on peut d'ailleurs piquer les points dont on doit faire usage dans les calculs.

Ricq a ainsi obtenu, dans divers essais, des courbes caractéristiques des poudres employées et d'où l'on pouvait déduire par le calcul (p. 590) la loi des pressions développées par les gaz. La capacité de la chambre à poudre était de 100^{cc}, la section du projectile de 3^m,85, son poids (curseur compris) de 610^g, et la vitesse de rotation du cylindre de 36 tours par seconde. Dans ces conditions, l'erreur de lecture correspondait à $\frac{1^{100}}{360000}$ environ.

Tout en réalisant un important perfectionnement par rapport aux appareils construits jusqu'à cette époque (1873), l'enregistreur à indications continues présente le grave inconvénient de n'être pas portable et, par suite, de ne pouvoir pratiquement s'appliquer qu'au tir dans une éprouvette déterminée, quelle que soit d'ailleurs la poudre à essayer. Ricq admet, en effet, que, s'il est indispensable de mesurer les vitesses initiales produites par chaque poudre dans la bouche à feu à laquelle elle est destinée et dans les circonstances mêmes du tir réglementaire, il suffit, pour les pressions intérieures, de comparer, dans des éprouvettes d'épreuve, la poudre à essayer avec une poudre normale convenablement choisie. Ce point de départ ne paraît pas absolument justifié et se trouve en contradiction formelle avec la théorie générale des effets de la poudre dans les armes, dont nous avons précédemment indiqué les principaux résultats (p. 508).

VI. EXPÉRIENCES DE LE BOULENGÉ.

Le *manographe* de Le Boulengé (Pl. VIII, *fig.* 3) permet d'obtenir directement la courbe des pressions en fonction des déplacements du projectile.

Cet appareil se compose d'un manomètre à air (p. 572) monté sur un bâti en acier et dont le couvercle supérieur est traversé par la tige centrale du piston : celle-ci pousse l'aiguille indicatrice du manomètre et porte, en outre, un style léger destiné à tracer la courbe des tensions sur un tableau mobile en carton noir à la fumée. Pour obtenir un déplacement horizontal de ce tableau proportionnel

à celui du projectile, Le Boulengé l'a disposé sur une glissière pesante, placée parallèlement à l'axe du canon et dont les guides sont fixés au bâti : par suite de l'inertie de la glissière, pendant les premiers instants du recul de la pièce sur son affût, le style de l'aiguille indicatrice est animé, par rapport au tableau, d'un mouvement horizontal égal au recul et, par suite, proportionnel au déplacement du projectile.

On détermine pratiquement la longueur de l'abscisse totale de la courbe des pressions à l'aide du dispositif suivant. Le courant induit d'une bobine de Ruhmkorff aboutit, d'une part, au bâti, d'autre part, à une pointe isolée disposée sur le bâti et dirigée normalement à une bande de papier fixée à la glissière, tandis que le courant inducteur passe par un fil de fer tendu à la bouche de la pièce et destiné à être coupé par le projectile : si donc on fait jaillir une étincelle avant le tir, en rompant à la main le courant inducteur, la distance de la trace ainsi obtenue à celle qui sera produite par la rupture du fil de fer mesurera le chemin parcouru par l'affût pendant le trajet du projectile dans l'âme. D'après Le Boulengé, l'abscisse théorique, calculée en faisant abstraction des résistances passives, est toujours plus longue, pour les poudres vives, et généralement plus courte, pour les poudres lentes, que l'abscisse expérimentale.

Un diapason muni d'un style permet d'obtenir en même temps la loi graphique des vitesses successives du projectile dans l'âme. Les courbes sont relevées à l'aide d'une machine micrométrique à microscope.

VII. EXPÉRIENCES DE MARCEL DEPREZ ET SÉBERT (1873-1878).

Les appareils précédemment décrits présentent, dans la pratique, d'assez sérieux inconvénients. Ils sont, en général, peu maniables et d'une introduction difficile dans les épreuves courantes des poudreries; quelques-uns même, tels que le chronographe Noble, sont d'une application impossible lorsqu'il s'agit de projectiles forcés, pour lesquels les résistances passives rencontrées en chaque point de l'âme ne peuvent être exactement connues à l'avance.

Marcel Deprez et Sébert ont proposé deux appareils nouveaux qui permettent d'étudier la loi du mouvement du piston soumis à

l'action des gaz de la poudre et peuvent s'adapter à des pièces montées sur les bouches à feu mêmes :

1° L'*Accéléromètre*, dans lequel on ne laisse au piston qu'une course parfaitement déterminée, qu'on peut régler à volonté et au bout de laquelle on arrête son mouvement : un mécanisme spécial permet de déterminer la vitesse acquise par le piston au moment de l'arrêt;

2° L'*Accélérographe*, dans lequel le piston, qu'on laisse libre pendant un parcours beaucoup plus considérable, porte un tableau sur lequel un organe spécial trace, au moment du tir, une courbe destinée à faire connaître la loi du mouvement.

Nous commencerons par décrire séparément chacun de ces appareils. Nous étudierons ensuite l'appareil double constitué par leur réunion, et spécialement dû au commandant Sébert. Enfin, nous signalerons un appareil de construction récente, dit *vélocimètre*, qui fait connaître en même temps la loi du mouvement de recul de la bouche à feu et celle du déplacement du projectile.

a) *Accéléromètre.*

L'accéléromètre (*fig. 84 et 85*) se compose d'un piston pouvant glisser librement dans un canal percé normalement dans l'axe de la bouche à feu, et qui reçoit directement l'action de la poudre sur sa base inférieure; il est muni d'un dispositif qui permet, à l'aide d'une vis micrométrique, de régler la course qui lui est laissée. Pour mesurer la vitesse acquise au moment de l'arrêt, on place sur la tête du piston une masse additionnelle libre qui, lorsque ce dernier est arrêté, est lancée verticalement avec cette même vitesse : s'il s'agit d'appareils fixes, on observe la hauteur à laquelle cette masse s'élève; s'il s'agit d'appareils installés sur une bouche à feu, on amortit le choc de la masse à l'aide d'un ressort à boudin convenablement taré, dont la flexion donne encore la mesure de la vitesse cherchée.

Pour déterminer la succession des pressions développées en un même point de la chambre, on procède à une série méthodique d'expériences, en brûlant un même poids de poudre dans des conditions identiques, mais en donnant au piston des courses croissantes. Si l'appareil est installé en un point situé en avant du projectile, une seule expérience donnera la pression maximum produite, car on peut admettre que la pression en ce point reste sensiblement constante. Dans ce dernier cas, on évitera les causes d'erreur dues à

la pression des gaz s'échappant par le vent ou de l'air refoulé en avant du projectile, en appliquant sur l'appareil un effort initial supérieur à l'action que peuvent exercer sur lui ces pressions, et que l'on pourrait d'ailleurs mesurer à l'aide d'appareils légers, complètement libres et munis de ressorts de sensibilité convenable.

Si l'on désigne par :

p le poids total de l'appareil lancé,

e la course qui lui est laissée,

t le temps employé à la parcourir,

v la vitesse acquise,

h la hauteur du lancé,

F la force développée au bout de ce temps sur la tête du piston,

on a :

$$F = \frac{p}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{p}{g} v \frac{dv}{de};$$

or :

$$v^2 = 2gh, \quad v dv = g dh;$$

donc :

$$F = p \frac{dh}{de},$$

en considérant dh et de , non comme des infiniment petits, mais comme des quantités très-petites. — Si l'on place l'appareil en un point où la pression puisse être regardée comme sensiblement constante, il viendra :

$$F = p \frac{h}{e},$$

c'est-à-dire que la pression moyenne développée est proportionnelle au poids de l'appareil et à la hauteur du lancé ou au carré de la vitesse acquise, et inversement proportionnelle à la course laissée. — Quant à la durée du trajet, elle est donnée par la formule :

$$t = \int_0^e \frac{1}{v} de,$$

c'est-à-dire qu'on l'obtient en évaluant l'aire de la courbe qui aurait les e pour les abscisses et les $\frac{1}{v}$ pour ordonnées.

En appliquant l'accéléromètre à la combustion de la poudre en

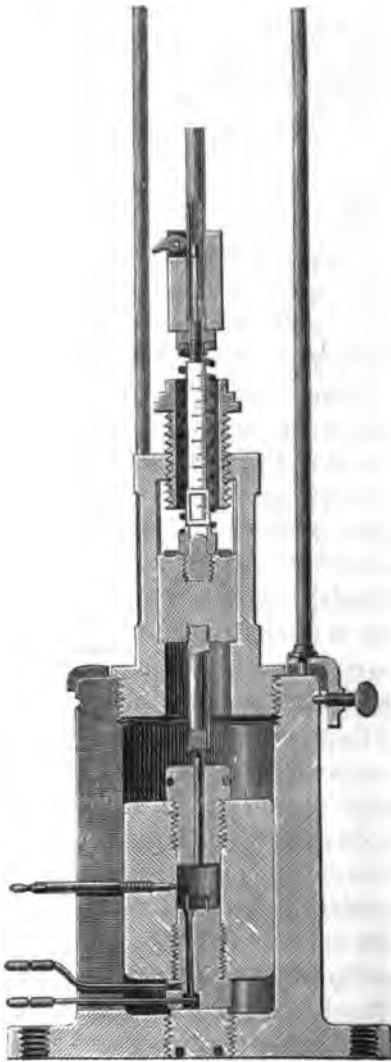
vase clos, on a pu déterminer les courbes des pressions en fonction du temps, très-nettement caractéristiques des diverses poudres. L'appareil a été, en outre, mis en expérience à Nevers sur un canon de 19 cent., et a permis d'étudier les pressions développées par différentes poudres et avec différents modes de chargement, d'abord en un point de l'âme situé en avant des tourillons, puis dans la chambre même.

b) Accélérographe.

Le principe de cet appareil (*fig. 84 et 85*) consiste à enregistrer, dans une même expérience, les temps employés par le piston à parcourir les espaces successifs. A cet effet, le piston, auquel on laisse une course libre de 0^m,04 à 0^m,05, porte un cadre dans lequel s'introduit une petite plaque métallique, couverte de noir de fumée ou de vernis gras de graveur et destinée à recevoir le tracé de la courbe cherchée. Devant la plaque se meut, dans une direction perpendiculaire à l'axe du piston, un style en acier porté par un chariot léger, guidé entre deux coulisses rectilignes et sollicité à se mouvoir par un ressort formé d'une bande de caoutchouc fortement tendu.

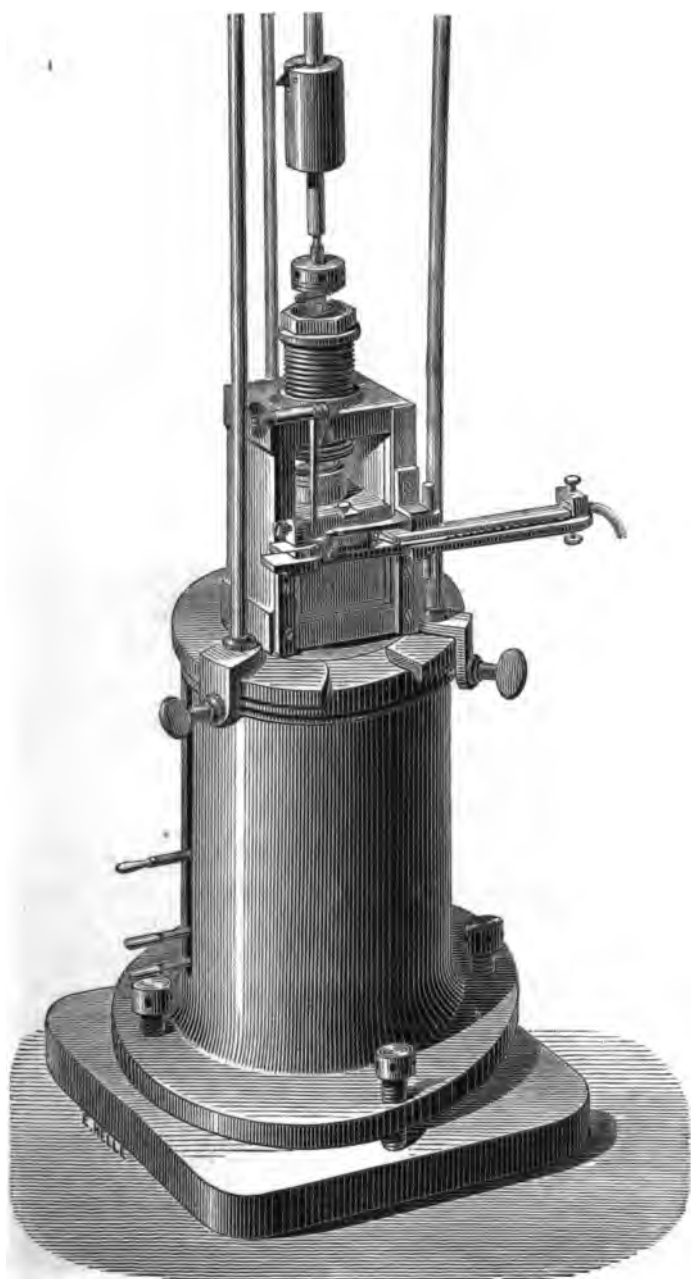
Des expériences préalables, faites à l'aide du chronographe Schultz (p. 555), ont permis de déterminer la loi du mouvement rectiligne de ce style, lorsqu'on connaît deux variables faciles à déterminer et à régler : la tension initiale du caoutchouc et sa force élastique. On peut ainsi évaluer l'espace parcouru par le style au bout d'intervalles de temps moindres que 0^m,001 et même que 0^m,0001, la durée totale de son parcours étant de 0^m,01 à 0^m,02. Enfin, en modifiant la tension initiale et le poids du chariot mobile, on peut aussi faire varier la loi du mouvement dans des limites étendues et arriver à rendre les vitesses acquises pendant le parcours par le chariot comparables à celles que la poudre imprime au piston et à la plaque qu'il porte, de manière que la courbe tracée se rapproche autant que possible de la diagonale du rectangle construit sur les deux parcours. On obtient d'ailleurs que les deux mouvements commencent rigoureusement au même instant en se servant, pour tenir le caoutchouc bandé avant l'expérience, d'une petite lame métallique mince, pincée entre la partie fixe de l'appareil et un appendice porté par le cadre, de façon à se trouver maintenue par l'adhérence due au frottement quand le piston est enfoncé dans son canal : la simple disparition de la pression qui produit l'adhérence suffit pour laisser échapper cette pièce.

Fig. 84.



Le mode de mesure des temps est complété par une lame vibrante exactement tarée, qui inscrit directement ses vibrations sur le tableau et qui, à elle seule, pourrait constituer un accélérographe d'une grande simplicité. Cette lame, qui donne 1 000 vibrations simples à

Fig. 85.



la seconde, est maintenue bandée, avant le tir, par un appendice fixé sur le tableau et qui vient accrocher son extrémité supérieure : elle se trouve dégagée aussitôt que le piston a éprouvé un léger déplacement.

Les tracés obtenus avec l'accélérographe peuvent être fixés et conservés à l'appui des procès-verbaux d'expérience. Pour en déduire la loi des pressions développées, on tracera, d'après la loi connue du mouvement horizontal du style, les ordonnées qui correspondent au parcours de ce style au bout des unités de temps successives, et l'on en mesure exactement les longueurs, qui font connaître les espaces parcourus par le piston dans les intervalles de temps correspondants. De la connaissance de ces espaces on déduira aisément soit les vitesses acquises, soit les accélérations et, par suite, les pressions développées. On a toujours, en effet, en considérant les variations très-petites de , dv , dt :

$$v = \frac{de}{dt}, \quad F = \frac{p}{g} \frac{d^2e}{dt^2}.$$

Mais la double différentiation pourrait introduire des erreurs notables dans l'évaluation de la force, si la mesure des espaces parcourus n'était effectuée avec une extrême précision : on se sert, pour cela, d'un microscope monté sur un double chariot, mobile suivant deux axes rectangulaires et mis en mouvement dans chaque direction à l'aide d'une vis micrométrique à tête divisée.

c) Accéléromètre et accélérographe réunis.

Dans les essais exécutés à Nevers, Sébert a été conduit à augmenter notablement les masses déplacées, pour chacun des deux appareils, afin d'étudier une portion plus considérable de la durée de la combustion de la charge ; il a même reconnu qu'il était possible d'appliquer le dispositif qui constitue l'accélérographe sur l'appareil qui sert d'accéléromètre, et c'est ainsi qu'a été créé l'appareil à destination multiple, représenté par les *fig.* 84 et 85.

Le piston est composé de deux pièces : une pièce cylindrique inférieure, formant piston proprement dit, et une pièce cubique engagée dans une boîte rectangulaire qui la guide ; ce cube, dont on peut faire varier le poids à volonté, sert à donner au piston la masse nécessaire. Une forte vis à pas métrique, placée à la partie supérieure de la boîte, sert à régler la course du piston. Si l'appareil est monté

sur une éprouvette fixe, on mesure la vitesse acquise par le piston au bout de sa course par la hauteur à laquelle s'élève un poids placé sur la face supérieure du cube, et qui est lancé le long d'une tige verticale suspendue à un trépied élevé porté par l'éprouvette même. Si l'appareil est destiné à être placé sur un canon, le poids lancé est remplacé par un ressort à boudin, dont la flexion est déterminée par le choc d'une petite masse libre placée à sa partie inférieure et mesurée à l'aide d'un vernier engagé sur la tige centrale que supporte le ressort. Dans le premier cas, on peut monter à la fois le ressort et le poids lancé, afin que les deux indications se contrôlent mutuellement; dans le second, on peut surmonter le ressort de poids additionnels qui sont lancés librement en l'air et qui, en augmentant les masses mises en mouvement, permettent d'étudier une plus longue partie de la combustion et de diminuer la fatigue de l'appareil.

Sur l'une des faces de la pièce cubique qui forme la tête du piston est fixé le tableau destiné à recevoir les traces du style de l'accélérographe. Ce style et le chariot qui le porte, ainsi que les rails qui le guident et le ressort en caoutchouc qui le met en mouvement, ont été montés sur une platine qui peut se fixer à volonté sur la boîte rectangulaire qui sert de guide à la pièce cubique; à la partie supérieure de cette boîte est disposée la lame vibrante. On obtient donc, dans une seule expérience, deux courbes tracées sur le tableau, l'une par le chariot, l'autre par la lame vibrante, et qui suffisent chacune pour faire connaître la loi du mouvement du piston; en même temps, les indications du poids lancé et du ressort comprimé, en donnant la vitesse acquise par l'appareil à la fin de sa course, servent à contrôler les courbes fournies par l'accélérographe. On peut d'ailleurs faire fonctionner à volonté l'un ou l'autre des deux appareils ou tous les deux à la fois.

Pour les bouches à feu, les appareils doivent être construits de façon spéciale, afin d'être soustraits le plus possible aux effets des vibrations. Le mouvement de recul influe d'ailleurs sur la loi du déplacement du chariot, quand l'appareil n'est pas disposé de telle manière que le plan dans lequel se meut ce chariot soit perpendiculaire au plan de tir: c'est donc dans cette position qu'il convient de le placer. Mais on a pu mettre à profit l'influence du recul sur la loi du déplacement du chariot, lorsque le plan du mouvement est, au contraire, parallèle au plan de tir, pour déterminer en même

temps, à l'aide d'un appareil convenablement modifié, la loi de recul du canon et la loi du mouvement du piston.

a) Vélocimètre.

Le vélocimètre, récemment construit par Sébert, permet d'étudier à la fois le mouvement de recul de la pièce et le déplacement du projectile. Il donne, en effet, le parcours, en vraie grandeur, de la bouche à feu dans son mouvement de recul, pour des intervalles de temps également espacés, dont la durée a été amenée à $1/1500$ de seconde et pourra être encore réduite; il fait connaître, en outre, par l'addition d'enregistreurs spéciaux, l'instant précis où le projectile passe en des points déterminés de l'âme, à la bouche de la pièce et dans les différents cadres-cibles placés sur son parcours.

L'appareil se compose, pour la détermination de la loi du recul, d'un ruban d'acier flexible, de longueur convenable, qui peut glisser dans une coulisse horizontale fixée sur un support voisin de la pièce. Ce ruban, dont la face supérieure est recouverte de noir de fumée, est relié au point de la bouche à feu ou de l'affût dont on veut étudier le recul par un fil d'acier flexible en tous sens, mais sensiblement inextensible; il est entraîné lors du recul de la pièce, dont il suit le mouvement, quelle qu'en soit la longueur. Au-dessus du ruban est disposé un diapason vibrant, entretenu électriquement par le procédé Mercadier perfectionné par Marcel Deprez (p. 557), procédé qui permet d'obtenir une amplitude considérable et un mouvement régulier et durable; ce diapason, dont l'une des branches porte une petite plume en acier, est monté sur un axe horizontal qui sert à l'approcher ou à l'éloigner du ruban, de manière que la plume soit amenée à appuyer légèrement sur la surface noire. — Lorsque le ruban est entraîné par le recul, la plume du diapason trace une sinusoïde qui fait connaître, par l'écartement des ondulations successives mesuré sur la ligne médiane, les parcours de la bouche à feu pour des intervalles de temps égaux à la durée d'une oscillation simple. En relevant ce tracé au moyen d'un appareil micrométrique muni d'un microscope, on peut construire, avec une grande précision, une courbe qui donne les parcours du canon en fonction du temps. Si l'on prend les différences premières des parcours successifs, on en déduit les vitesses de recul successives de l'affût; et, si l'on prend les différences secondes, on peut, connaissant le poids des masses mises en mouvement et abstraction

faite des résistances passives, calculer, à chaque instant, la force appliquée au système et, par suite, la pression exercée sur le fond de l'âme. La sensibilité de l'appareil est telle, que le tracé de la courbe des vitesses de recul met en évidence la nature ondulatoire du mouvement imprimé au système, phénomène qu'il faut sans doute attribuer à l'élasticité des pièces qui le composent.

Pour mesurer les durées de trajet du projectile soit dans l'âme, soit dans l'air, il suffit de placer dans le voisinage du diapason, en nombre égal à celui des signaux que l'on veut obtenir, de petits enregistreurs électriques du système Marcel Deprez (p. 558), qui sont mis en communication électrique avec des fils métalliques disposés à l'intérieur de l'âme, à la bouche de la pièce ou sur différents cadres-cibles, et destinés à être rompus par le passage du projectile : le déplacement subit du trait continu, que trace la plume de chaque enregistreur, permet de déterminer l'instant précis de la rupture correspondante. L'appareil est d'ailleurs construit de manière à donner, par une opération préalable très-simple, la valeur du retard de fonctionnement de chaque enregistreur, lequel est réduit à 0^m,0005 en moyenne; les variations de ce retard peuvent atteindre 0^m,00002, et limitent ainsi la précision de l'appareil.

Le vélocimètre peut également servir à étudier la loi du mouvement de tout corps qui reçoit une brusque impulsion : détente d'un ressort rendu subitement libre, déplacement du piston d'une machine à gaz lancé par l'explosion d'un mélange détonant, mouvements provoqués par les moteurs animés, etc.

Les expériences exécutées à la poudrerie de Sévran-Livry ont fait ressortir nettement ce fait, déjà signalé par la Commission de Gavre, que la vitesse de recul de l'affût continue à croître notablement après que le projectile est sorti de la bouche à feu, effet qui est évidemment dû à la détente des gaz restant encore dans l'âme. Ainsi, le tir du canon de 24^m ($p = 144^{\text{kg}}$, $\omega = 28^{\text{kg}}$, $v = 450^{\text{m}}$, cf. p. 508) a donné les résultats suivants :

Au bout de 0,0114 (sortie du projectile) :

Chemin parcouru par l'affût	0 ^m ,03
Vitesse de recul	3 ,80

Au bout de 0,048 (projectile à 15^m de la bouche) :

Chemin parcouru par l'affût	0 ^m ,20
Vitesse de recul (maximum).	5 ,20

Appliqué à l'étude de la loi du déplacement du projectile, pour le canon de 24^m, le vélocimètre a donné les résultats ci-après :

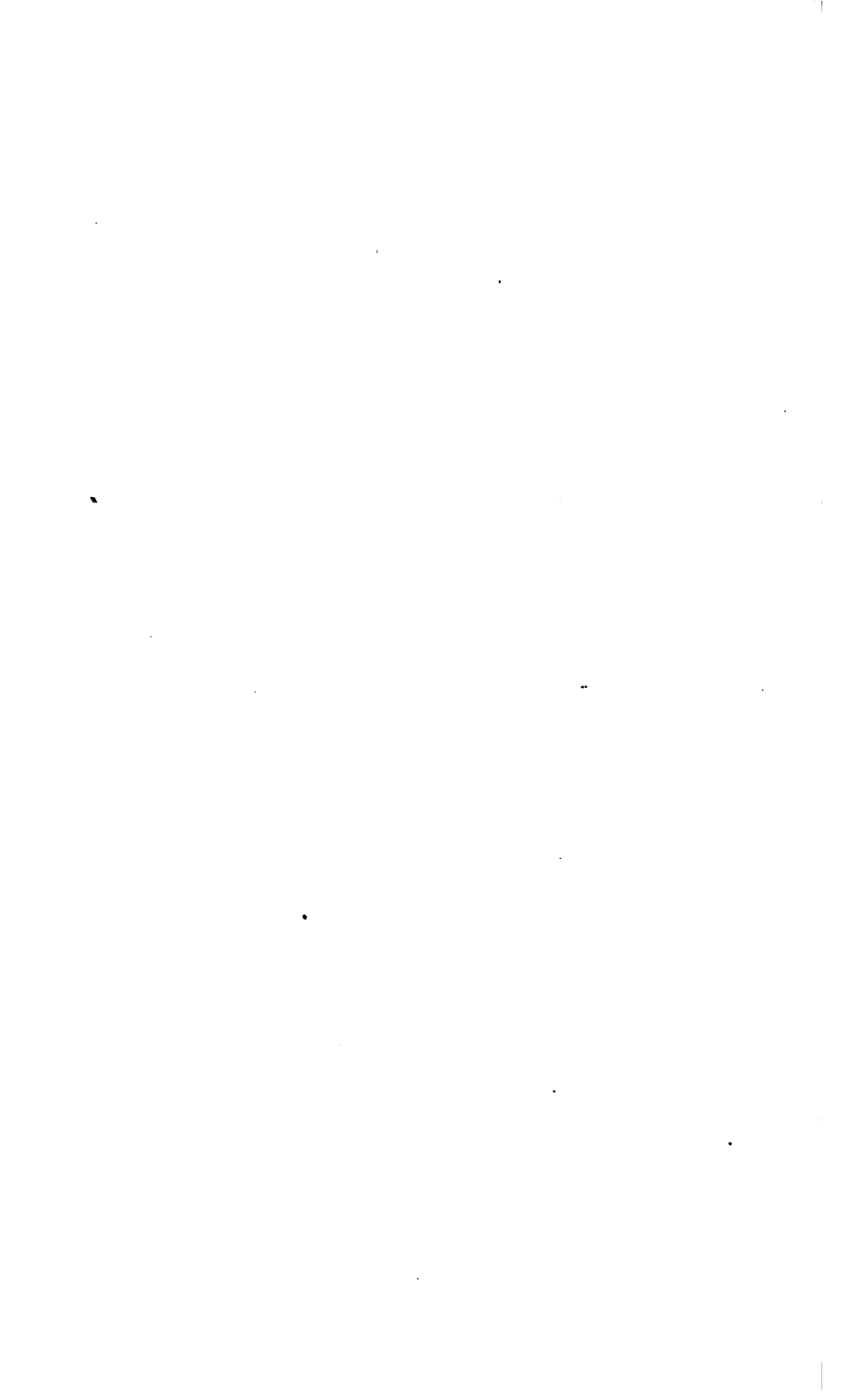
Durée du parcours du projectile dans l'âme.	0 ^o ,011 24
Durée du parcours de la bouche au premier cadre (à 33 ^m). . .	0 ,073 05
Durée du parcours du premier au second cadre (à 83 ^m). . .	0 ,112 70

Il résulte de ces valeurs que la vitesse du projectile était, à 16^m de la bouche à feu, de 451^m,2, et, à 78^m, de 443^m,2.



DEUXIÈME PARTIE

LES CORPS EXPLOSIFS



HISTORIQUE

La poudre à canon, connue en Europe depuis 500 ans, a été, pendant les trois premiers siècles, exclusivement affectée aux usages militaires : il n'y a guère plus de 200 ans qu'on a songé à l'appliquer à l'exploitation des mines.

On s'est longtemps contenté de la poudre dite *de mine* pour tous les travaux relatifs au sautage des roches, au percement des routes, etc. Depuis quelques années, on s'est mis à rechercher des compositions plus puissantes et susceptibles d'être utilisées dans les circonstances les plus défavorables; mais les diverses solutions proposées n'ont qu'imparfaitement répondu aux besoins de la pratique, jusqu'au jour où les substances explosives dérivées des corps organiques firent leur apparition.

Le coton-poudre, découvert le premier, donna lieu à un nombre incroyable d'essais destinés à déterminer les différentes conditions de son emploi dans les mines et dans les armes à feu. Bien que l'impossibilité d'utiliser ce corps dans les armes soit encore à démontrer, il n'en paraît pas moins certain que le coton-poudre et les nombreux composés nitrés qui s'en rapprochent sont spécialement appropriés aux effets de rupture : les propriétés brisantes qui en proscrirent l'emploi dans les bouches à feu constituent précisément, au point de vue de l'exploitation des mines, leur incontestable supériorité sur la poudre noire.

Parmi les corps ou mélanges explosifs dont l'usage se trouve aujourd'hui le plus répandu, les uns présentent une grande analogie avec la poudre ordinaire, dont ils conservent encore, en totalité ou en partie, les éléments constituants; les autres (ce sont à la fois les plus

nombreux et les plus puissants) résultent de l'action de l'acide nitrique sur des matières organiques.

Cette seconde partie se divisera donc en deux sections principales : la première traitera des poudres analogues à la poudre ordinaire, et la seconde des composés explosifs dérivés des substances organiques.

SECTION I.

POUDRES DÉRIVÉES DE LA POUDRE ORDINAIRE.

Les mélanges explosifs dérivés de la poudre ordinaire peuvent se partager en quatre séries distinctes, suivant qu'ils ont été obtenus :

- 1° Par une simple modification du dosage;
- 2° Par remplacement du salpêtre;
- 3° Par remplacement ou suppression du soufre;
- 4° Par remplacement du charbon.

Nous étudierons séparément ces quatre groupes de composés, en remarquant toutefois que ceux des deux dernières catégories rentrent, pour la plupart, dans les deux premières (*).

(*) Nous croyons devoir faire les plus expresses réserves au sujet des prétendus avantages de quelques-uns des mélanges explosifs que nous allons décrire. Ces composés peuvent sans doute, dans des conditions spéciales, présenter une supériorité réelle sur la poudre de mine ordinaire : considérés dans l'ensemble de leurs propriétés et de leurs usages, ils lui sont presque toujours inférieurs.

CHAPITRE I.

POUDRES OBTENUES PAR MODIFICATION DU DOSAGE.

On a depuis longtemps proposé des modifications au dosage de la poudre ordinaire, soit pour obtenir des produits moins coûteux, soit pour réaliser des effets plus puissants. Souvent même ces deux considérations sont entrées simultanément en ligne de compte.

C'est ainsi que, pour la préparation de la poudre de mine, on a diminué la proportion de salpêtre, en même temps qu'on augmentait celle du soufre et du charbon : on admettait, en effet, que les produits gazeux d'une poudre surdosée en charbon se composaient essentiellement d'oxyde de carbone et d'azote et devaient, par suite, occuper un volume plus considérable. C'était également pour augmenter la quantité de gaz et pour ralentir, en même temps, la combustion de la matière que Piobert avait recommandé de diminuer la proportion de salpêtre dans le dosage de la poudre à canon.

§ I.

POUDRE BENNET.

Bennet a proposé d'augmenter la solidité des grains de la poudre ordinaire en ajoutant à ses éléments de la chaux éteinte, du gypse ou du bon ciment.

La poudre de mine aurait la composition ci-après :

Salpêtre.	65
Soufre.	10
Charbon.	18
Chaux.	7

La matière est intimement mélangée et réduite en une pâte dure, qui est grenée. Le grain est dur et relativement sec.

Cette poudre n'a pas été soumise à des essais méthodiques.

§ II.

POUDRE NEUMEYER.

La poudre fabriquée par G. A. Neumeyer à Taucha, près de Leipzig, a donné, dans la pratique, des résultats satisfaisants; elle se distingue par un surdosage en charbon et par une diminution notable dans la proportion du soufre.

D'après le brevet pris en Angleterre (1867), le dosage de cette poudre serait le suivant :

Salpêtre.	75,00
Soufre.	6,25
Charbon.	18,75

Une communication ultérieure indique les proportions de 72 de salpêtre, 10 de fleur de soufre et 18 de charbon.

Le mélange, additionné de 40 p. 100 d'eau, est trituré pendant 14 minutes dans un cylindre en bois ou en cuivre que traverse un arbre muni de bras; la matière peut être employée après un simple séchage.

Cette poudre réalise des effets assez puissants, comme l'ont prouvé divers essais exécutés à Stassfurt, à Taucha, à Mansfeld et dans des carrières d'ardoises et de granit, en Angleterre. Elle est, en outre, économique et d'un maniement peu dangereux. Wohlfarth a constaté qu'elle ne s'enflamme ni par le choc ni par la pression; l'explosion ne se produit qu'en vase clos; de plus, dans le pétardement des roches dures, telles, par exemple, que la syénite, elle détone avec plus de force que la poudre ordinaire, tout en donnant moins de résidus et moins de fumée. Elle est enfin moins hygrométrique,

et, si on la mouille et qu'on la fasse de nouveau sécher, elle reprend toutes ses propriétés.

Ces diverses circonstances avaient fait songer à employer la poudre Neumeyer dans les armes : les expériences du capitaine Hess et divers essais exécutés au Bouchet ont paru donner des résultats favorables. On ne mesurait toutefois que les vitesses communiquées au projectile, qui se trouvaient supérieures à celles de la poudre ordinaire ; les pressions étaient laissées de côté.

Il est difficile d'expliquer les effets ainsi obtenus uniquement par la modification du dosage, qui est, en réalité, assez peu rationnelle. Quoi qu'il en soit, on avait regardé, à une certaine époque, la poudre Neumeyer comme destinée à remplacer l'ancienne poudre à canon. Ces espérances ont été déçues, et nous croyons même que cette nouvelle composition n'a été soumise à aucun essai depuis la guerre de 1870-1871.

Ce n'est d'ailleurs pas la première fois qu'on a cherché à diminuer la proportion du soufre. Une ancienne poudre, fabriquée sur les instructions de Champy, renfermait, d'après les analyses de Meyer, 76,3 de salpêtre pour 4,8 de soufre et 18,9 de charbon. Jones avait également proposé une poudre de composition analogue. On est même allé jusqu'à supprimer complètement le soufre, sans lui substituer aucune autre substance : on voulait ainsi empêcher le mélange d'attaquer le métal des pièces. Mais on obtenait ainsi des poudres dont l'emploi se trouvait très-limité, à cause du rôle important que joue le soufre dans la combustion de la poudre ; on oubliait, en outre, que cet élément est indispensable pour assurer la consistance et la bonne conservation des produits.

§ III.

HALOXYLINE.

La poudre dite *haloxyline*, livrée au commerce par les frères Fehleisen, de Gratz, était uniquement destinée aux mines.

Des documents anglais (1867) indiquent la composition suivante :

Salpêtre.	45
Charbon de bois.	3 à 5
Sciure de bois.	9
Ferriocyanure de potassium (quelquefois supprimé).	1

On choisit des charbons de bois légers. La sciure de bois, exempte de résine, est réunie au charbon et au salpêtre; on ajoute 1 litre d'eau pour 50^g de matière, et l'on opère un mélange intime. On procède au grenage et au séchage comme pour la poudre ordinaire. Le lissage est supprimé.

La haloxyline s'enflamme plus difficilement et brûle beaucoup plus lentement que la poudre de mine ordinaire; des essais exécutés à Idria et à Mansfeld semblent avoir montré que l'emploi en était avantageux. La fumée qu'elle dégage est en proportion insignifiante et moins désagréable à respirer que celle de la poudre ordinaire. L'effet produit dans un calcaire solide représente 2 fois 1/2 celui de cette dernière poudre; mais il est indispensable de bourrer énergiquement le trou de mine.

Le prix courant de la haloxyline, à Idria, est inférieur à celui de l'ancienne poudre. Il existait, en 1867, trois fabriques de haloxyline, en Styrie, en Hongrie et en Moravie; une fabrique construite ultérieurement à Prague s'ouvrit en 1869.

La poudre de Liesch paraît se composer de salpêtre et de poussier de coke.

Le chapitre suivant, qui traite des poudres où l'on a cherché à substituer au salpêtre diverses substances analogues, renferme encore plusieurs mélanges où le soufre fait défaut; mais celui-ci se trouve toujours remplacé par un autre élément destiné à jouer le même rôle.

CHAPITRE II.

POUDRES OBTENUES PAR REMPLACEMENT DU SALPÊTRE.

Dans ces vingt dernières années, le nombre des mélanges dans lesquels on a substitué au salpêtre diverses substances oxydantes est devenu extrêmement considérable. La plupart n'ont, dans la pratique, qu'une importance tout à fait secondaire; quelques-uns même n'ont été l'objet d'aucune expérience, de sorte qu'on ne peut indiquer que la nature et les proportions des éléments constituants.

On peut distinguer deux catégories distinctes de substitutions: les unes ont eu pour but de donner des produits moins coûteux ou d'une combustion plus lente (poudres aux nitrates de soude ou de baryte), tandis que les autres étaient destinées à augmenter la puissance des effets obtenus (poudres au chlorate ou au perchlorate de potasse).

Toutes ces substances sont peu appropriées au tir dans les bouches à feu, soit parce qu'elles sont brisantes et qu'elles attaquent chimiquement les parois de la pièce (poudres aux chlorates), soit parce qu'elles sont hygrométriques (poudres au nitrate de soude), soit enfin parce qu'elles donnent trop de résidus (poudres au nitrate de baryte).

Le chromate de potasse est également, dans quelques cas, employé comme corps oxydant, mais d'une manière tout à fait accessoire.

§ I.

POUDRES NITRATÉES.

I. GÉNÉRALITÉS.

Le nitrate de soude, ou salpêtre du Chili (p. 44), se distingue du nitrate de potasse par son prix peu élevé; son équivalent chimique étant, en outre, inférieur à celui du salpêtre, il en résulte qu'il renferme, à poids égal, une plus grande quantité d'oxygène. Cependant l'emploi du nitrate de soude a toujours présenté les plus grandes difficultés, au point de vue d'une conservation quelque peu prolongée de la poudre, en raison de ses propriétés hygroscopiques. Le sel parfaitement purifié semble, il est vrai, devoir être absolument stable à l'air libre; mais le nitrate du commerce renferme toujours une certaine quantité de sels étrangers (nitrates et chlorides de chaux et de magnésie), dont l'élimination est assez difficile et auxquels Gentale attribue la déliquescence du salpêtre du Chili.

Roberts et Dale ont cherché à éviter cet inconvénient en mélangeant à la poudre 10 à 18 p. 100 de sulfate de soude ou de magnésie anhydre. Craig a également proposé d'employer les nitrates de chaux et de magnésie, en revêtant les grains d'un enduit de collodion. On ne possède pas de documents certains sur ces divers essais.

Quoi qu'il en soit, les poudres à base de nitrate de soude présentent une économie notable et peuvent être employées avec avantage, malgré leur hygrométrie, dans les grandes exploitations, telles, par exemple, que les travaux du percement de l'isthme de Suez. Il résulte même des calculs de Berthelot qu'à égalité de dosage, les poudres à base de nitrate de soude ont une force qui surpasse du tiers de sa valeur environ celle des poudres similaires à base de salpêtre : cette circonstance tient surtout à la faiblesse de l'équivalent du sodium. Toutefois, on ne pourra songer sérieusement à substituer ce corps au salpêtre que si l'on démontre que le nitrate de soude pur est bien stable en présence de l'air et si l'on découvre, en outre, un procédé de raffinage vraiment économique du produit commercial. Jusqu'à présent, le salpêtre est, de tous les nitrates connus, celui qui possède au plus haut point les propriétés diverses que l'on doit rechercher pour un élément aussi important de la composition de la poudre.

Quant aux poudres barytiques, elles sont principalement destinées à produire une combustion plus lente de la charge : l'équivalent chimique du baryum est, en effet, sensiblement supérieur à celui du potassium. Vers 1865, on se servit, en Prusse, pour les pièces de gros calibres, d'un mélange composé de 8 parties de poudre ordinaire avec 2 parties de poudre au nitrate de baryte et connu sous le nom de *poudre barytique à 20 p. 100*. Les effets obtenus à cette époque furent assez satisfaisants ; mais ils ne tardèrent pas à être dépassés par ceux que l'on put réaliser au moyen des poudres à gros grains, et notamment de la poudre prismatique et de la poudre pebble. Il était naturel, en effet, suivant la remarque d'Abel, de chercher à modifier la loi de la combustion de la charge en faisant varier le dosage de la poudre, et surtout la forme et les dimensions du grain, au lieu de proposer de toutes pièces une poudre nouvelle qui, pour produire le même résultat, devait être tirée à forte charge et laisser un résidu considérable.

On pourrait enfin remplacer le salpêtre par du nitrate d'ammoniaque, dont l'équivalent chimique est inférieur à celui du nitrate de soude : le mélange ainsi formé, s'il était explosif, devrait accuser une force encore plus considérable que celle des poudres à base de ce dernier sel. — Nous mentionnerons plus loin une dynamite à base de nitrate d'ammoniaque, dont les effets sont supérieurs à ceux de toutes les autres dynamites.

II. POUDRES AU NITRATE DE SOUDE.

Parmi les poudres au nitrate de soude, les unes contiennent encore une proportion plus ou moins grande de salpêtre, les autres en sont complètement dépourvues.

A. Substitution partielle du nitrate de soude au salpêtre.

a) Pyrolithe de Matteen et pudrolithe de Poch.

E. Matteen a proposé un mélange auquel il a donné le nom de *pyrolithe* et qui se compose de :

Salpêtre.	51,5
Nitrate de soude.	16
Fleur de soufre.	20
Sciure de bois.	11
Poussier de charbon.	1,5

Matteon a plus récemment pris un brevet pour un mélange présentant la composition suivante :

Nitrate de soude.	47
Salpêtre.	18
Soufre.	17
Sciure de bois.	12
Carbonate ou sulfate de soude.	6

Les éléments de cette poudre de mine seraient combinés de manière que les produits de la combustion ne contiennent pas d'oxyde de carbone.

Le *podrolithe* de Poch, également breveté, ne renferme que 3 p. 100 de nitrate de soude, avec 68 p. 100 de salpêtre.

b) Poudres de Schwarz.

Deux poudres de mine peu inflammables, analysées par Schwarz, ont donné les résultats ci-après :

	Fabrications	
	Ancienne.	Nouvelle.
Salpêtre.	56,22	48,6
Nitrate de soude.	18,33	26,5
Soufre.	9,68	9,2
Charbon.	14,14	14,7
Eau.	1,78	1,0

c) Poudres de Schäffer et Budenberg (1863).

Schäffer et Budenberg ont fabriqué de la poudre de mine qui présentait la composition suivante :

Nitrate de soude.	40
Salpêtre.	30 à 38
Soufre.	8 à 12
Charbon de bois.	7 à 8
Poussier de houille.	3 à 4
Sel de Seignette.	4 à 6

L'utilité de ce dernier élément n'est pas indiquée et paraît difficile à imaginer.

Les mêmes inventeurs ont recommandé plus tard (1865) un mélange ne contenant pas de nitrate de soude.

d) Poudre d'Eaton (1864).

Tout ce qu'on sait de la poudre d'Eaton, c'est qu'elle renferme du

nitrate de soude, qu'elle est très-grossièrement concassée et qu'elle brûle assez lentement.

Elle a été employée dans les bouches à feu, mélangée avec de la poudre à combustion plus vive : on se proposait d'obtenir ainsi une sorte de poudre progressive, dont la combustion devait être analogue à celle de la poudre prismatique.

e) Poudres de Murtineddu.

Les poudres de Murtineddu sont des mélanges de nitrate de soude, additionné ou non de salpêtre, avec du soufre et diverses matières de peu de valeur, telles que le tan, la houille, la sciure de bois, etc.

Murtineddu a fait breveter en Angleterre (1856) la composition suivante :

Salpêtre.	100
Soufre.	100
Sciure de bois.	50
Crottin de cheval.	50
Sel marin.	10
Mélasse.	4

Ce dernier élément était destiné à donner de la cohésion au mélange.

B. Substitution complète du nitrate de soude au salpêtre.

a) Poudre de Davey.

Davey remplace une partie du charbon par du son ou par d'autres substances mucilagineuses. On réduit le mélange de nitrate de soude, de soufre, de charbon et de son en une pâte épaisse, que l'on fait passer entre des rouleaux et qui est ensuite grenée et séchée. Le produit ainsi obtenu est d'un prix peu élevé; il paraît être d'un maniement peu dangereux et donner moins de fumée que la poudre ordinaire. La fabrication en est simple et rapide.

On ne sait rien sur les proportions relatives des composants de cette poudre. On n'est pas mieux renseigné sur les avantages qui peuvent résulter de son emploi.

b) Pyronone de De Tret.

La poudre de De Tret, désignée par Reynaud sous le nom de *pyronone*, présente la composition ci-après :

Nitrate de soude.	52,5
Soufre.	20,0
Tan.	27,5

Le tan est imprégné de la dissolution bouillante du nitrate; on y ajoute le soufre, et l'on sèche le mélange.

Cette poudre est peu coûteuse et d'une manipulation facile, à cause de sa faible inflammabilité, circonstance assez importante au point de vue du bourrage du trou de mine. La matière humectée reprend ses propriétés par un simple séchage. Ce mélange est à combustion très-lente, et la force développée doit être peu considérable.

c) Poudre d'Oxland.

Oxland purifie le nitrate de soude en précipitant les sels de chaux et de magnésie par la soude et évaporant la liqueur filtrée. Le meilleur dosage paraît avoir été le suivant :

Nitrate de soude.	85
Soufre.	16
Charbon de bois.	18

On pourrait aussi employer du poussier de houille, en en prenant 20 parties et conservant d'ailleurs les proportions du soufre et du nitrate de soude.

La fabrication de cette poudre est analogue à celle de la poudre ordinaire. Le raffinage du salpêtre du Chili en élève considérablement le prix de revient.

d) Poudres de Freiberg, de Wetzlar et d'Aix-la-Chapelle.

Les poudres de mine employées à Freiberg et à Wetzlar présentaient, d'après les analyses de Streng, la composition suivante :

	Poudres	
	de Freiberg.	de Wetzlar.
Nitrate de soude.	61,66	66,68
Soufre.	17,25	11,77
Tan.	»	18,71
Charbon.	17,35	»
Eau.	»	2,81

Une autre poudre de mine, essayée à Aix-la-Chapelle, ne contient que du nitrate de soude et du poussier de houille.

III. POUDRES AU NITRATE DE BARYTE.

J. R. Wagner a, le premier, signalé la possibilité de remplacer le salpêtre par du nitrate de baryte. Il a proposé, en même temps, un procédé de préparation de ce dernier sel au moyen de la withérite, procédé analogue au mode de préparation du salpêtre par les carbonates alcalins.

a) Poudre de Newton (saxifragine, lithofacteur).

La composition de cette poudre est indiquée dans le brevet pris en Angleterre par son inventeur (1863) :

Nitrate de baryte.	77
Charbon de bois.	21
Salpêtre.	2

Le nitrate de baryte était préparé en traitant le chlorure de baryum par le nitrate de soude. Les procédés de fabrication étaient identiques à ceux de la poudre ordinaire. Pour augmenter l'inflammabilité des produits, on saupoudrait les grains encore humides de poussier de poudre.

Küp et C^{ie} ont fabriqué, à Mühlheim, une poudre de mine tout à fait analogue à celle de Newton et qui, d'après Böttger, contient 80 p. 100 de nitrate de baryte avec du soufre et du charbon.

b) Poudre de Wynants.

Le capitaine belge Wynants a imaginé de remplacer une partie du salpêtre par une quantité équivalente de nitrate de baryte; il se proposait ainsi, de même que Newton, d'obtenir une combustion des produits plus lente et plus régulière.

Wynants a fait, à Bruxelles, de nombreux essais avec une poudre dans laquelle les $\frac{4}{5}$ du salpêtre étaient remplacés par du nitrate de baryte : il reconnut qu'elle n'était pas appropriée au tir dans les armes de petit calibre, à cause de la lenteur de sa combustion, mais il put l'employer avec succès dans les canons. S'il cherchait à communiquer au projectile des vitesses analogues à celles que produit la poudre ordinaire, les parois de l'âme, le trou de lumière et la fermeture se trouvaient moins attaqués que par une charge équivalente de cette dernière poudre. L'encrassement était, il est vrai, assez con-

sidérable, et c'est cette circonstance qui a engagé Wynants à ne recommander ce nouveau produit que comme poudre de mine.

Une autre composition, proposée par le même officier et formée de 76 de nitrate de baryte pour 22 de charbon et 2 de salpêtre, diffère à peine de la saxifragine.

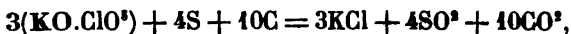
§ II.

POUDRES CHLORATÉES.

I. GÉNÉRALITÉS.

Tandis que la substitution des divers nitrates au salpêtre avait pour principal objet de diminuer le prix de revient ou la vivacité des produits, on cherchait, par l'emploi du chlorate ou du perchlorate de potasse, à augmenter l'intensité des effets obtenus. Il résulte de la comparaison des poids atomiques du salpêtre et du chlorate de potasse que ce dernier sel renferme, à poids égal, moins d'oxygène que le premier; mais il le met plus facilement et plus rapidement en liberté, et la décomposition du corps en ses éléments est complète: de là, une combustion extrêmement vive de la charge, un énorme dégagement de chaleur et des pressions initiales considérables.

D'après Berthelot, une poudre dans laquelle on remplacerait intégralement le salpêtre par du chlorate de potasse aurait une chaleur de combustion supérieure de moitié à celle des poudres de guerre ou de chasse ordinaires, et la force en serait plus que doublée. L'extrême facilité avec laquelle la poudre au chlorate détone au moindre choc est une conséquence de la grande quantité de chaleur dégagée par les premières parcelles enflammées et communiquée aux parcelles voisines (p. 501). Quant à ses propriétés brisantes, elles résultent (p. 502) de ce que les produits de la combustion sont des composés binaires très-simples et très-stables, en vertu de la réaction :



qui correspond au dosage : chlorate de potasse 75, soufre 12,5, charbon 12,5. Les poudres chloratées présentent encore l'inconvé-

nient de détériorer, par une action chimique, la paroi intérieure des canons, et le chlore qui se dégage après le tir peut être fort désagréable pour les hommes qui servent la pièce. En outre, la fabrication et le maniement de ces poudres sont loin d'être sans danger. Enfin, le prix en est relativement élevé.

Ces divers inconvénients ne sont pas compensés par la puissance détonante des mélanges au chlorate de potasse : aussi l'emploi s'en trouve-t-il restreint à quelques applications spéciales, telles que la fabrication des amorces fulminantes.

Le nombre de ces compositions n'en est pas moins très-considérable. On leur donne souvent le nom de *poudres muriatiques*, sous lequel on désignait autrefois la *poudre fulminante de Berthollet* : celle-ci ne diffère de la poudre ordinaire que par la substitution du chlorate de potasse au salpêtre.

II. POUDRES AU CHLORATE ET AU PERCHLORATE DE POTASSE.

a) Poudres de Kellow et Short (1866).

Kellow et Short recommandent, pour différents usages, les compositions suivantes :

Chlorate de potasse.	12	6	10
Nitrate de soude.	30	36	10
Salpêtre.	8	4	20
Soufre.	10	10	"
Tan et sciure de bois.	46	50	46

Les divers sels sont dissous dans l'eau et mélangés avec le tan et la sciure de bois ; on ajoute ensuite le soufre et on sèche la masse. Les inventeurs ne disent pas si la matière doit être grenée.

b) Poudre de Knaffl.

Ce mélange, qui détone violemment par le frottement ou par le choc d'un marteau, présente la composition suivante :

Chlorate de potasse.	46
Salpêtre.	26
Soufre.	15
Ulmate d'ammoniac.	10

Ce dernier sel s'obtient en dissolvant dans l'ammoniac de l'acide ulmique, que l'on produit en traitant du sucre de raisin par la po-

lasse caustique. Les matières sont triturées séparément, mélangées avec un mucilage gommeux et réduites à l'état de pâte; celle-ci est ensuite grenée et séchée avec les plus grandes précautions.

c) Poudre de Spence.

Spence a fait breveter en Angleterre 4 nouveaux mélanges, spécialement destinés au tir dans les armes à feu et présentant les compositions ci-après :

	Canons.		Armes à feu portatives.	
	20	10	10	10
Chlorate de potasse.		10	10	10
Houille.	2	0,75	1	1,25
Bicarbonate de soude.	3 à 4	3 à 4	»	0,75
Sciure de bois.	7	3,5	»	»
Charbon de bois.	2	1	2 à 3	1,25
Farine de froment.	»	»	2	2,5
Salpêtre.	»	»	»	0,25

Ces éléments, dont l'emploi ne paraît pas toujours suffisamment justifié, sont traités par l'eau et portés à l'ébullition, puis séchés à la vapeur dans des chaudières découvertes, et enfin grenés.

On peut remplacer le bicarbonate de soude par du salpêtre ou par du nitrate de plomb.

d) Poudres d'Ehrhardt (1865).

Ehrhardt recommande les compositions suivantes :

	Poudre d'artillerie.	Poudre de mine.	Poudre à bombes.
Chlorate de potasse.	1	1	1
Salpêtre.	1	1	»
Charbon de bois.	»	4	»
Acide tannique (cachou).	1	2	1

e) Poudre de Sharp et Smith (1866).

Sharp et Smith ont imaginé la composition assez étrange qui suit :

Chlorate de potasse.	2
Salpêtre.	2
Soufre.	2
Bitartrate de potasse (tartre).	1
Ferricyanure de potassium.	1

f) Papier-poudre de Melland.

Cette poudre diffère sensiblement des précédentes. Pour la pré-

parer, on fait bouillir pendant 1 heure, dans 79 parties d'eau, les substances suivantes :

Chlorate de potasse.	9	parties
Salpêtre.	4,5	—
Prussiate jaune de potasse.	3,25	—
Charbon de bois.	3,25	—
Amidon.	1/21	—
Chromate de potasse.	1/16	—

On plonge dans la liqueur du papier non collé, qu'on enroule en forme de cartouches et qu'on sèche à 100°. Pour le mettre à l'abri de l'humidité, on le revêt d'un enduit formé de 1 partie de xyloïdine (p. 623 et 670) dissoute dans 3 parties d'acide acétique (densité 1,04).

Le papier-poudre est d'une fabrication simple, peu dangereuse et peu coûteuse; il donne peu de fumée et un résidu peu abondant, qui n'encrasse pas les armes. Sa force est supérieure à celle de la poudre ordinaire.

La composition connue sous le nom de *poudre-gas* paraît n'être qu'une modification de celle de Melland.

g) Poudres de Nisser.

Nisser a fait récemment breveter (1870) un mélange qui renferme 55 à 60 parties de chlorate de potasse et 45 à 55 de tartre, avec un peu de prussiate jaune de potasse.

Deux compositions proposées antérieurement (1866) contenaient les éléments suivants :

Chlorate ou perchlorate de potasse. . .	10,5	15,75
Prussiate jaune ou rouge de potasse. .	1,5	2,25
Nitrate de potasse ou de soude. . . .	44,5	53,50
Substance phytogène.	6,5	10,00
Houille.	19,5	4,75
Soufre.	15,5	9,50

Nous nous contenterons de signaler un autre mélange de Nisser, assez semblable aux précédents, dont la valeur pratique est à démontrer; la même remarque s'applique à ceux dont nous avons indiqué la composition.

h) Poudres blanches d'Augendre et de Pohl (1849).

Parmi les poudres qui, à côté du chlorate de potasse, ne renferment aucun nitrate, il faut mentionner spécialement la poudre

blanche d'Augendre, appelée aussi *poudre blanche allemande ou américaine*.

Le dosage primitif d'Augendre était le suivant :

Chlorate de potasse.	50
Prussiate jaune de potasse.	25
Sucre de canne.	25

Les substances étaient humectées, mélangées dans des mortiers de bronze et grenées à la manière ordinaire.

Pohl, qui a soumis la poudre blanche d'Augendre à de nombreux essais, a modifié comme il suit la composition précédente :

Chlorate de potasse.	49
Prussiate jaune de potasse.	28
Sucre de canne.	23

soit, en équivalents, 3 de chlorate pour 4 de prussiate et 4 de sucre.

Pohl admet que les produits gazeux de la combustion de cette poudre se composent exclusivement d'azote, d'oxyde de carbone, d'acide carbonique et d'eau, tandis que le résidu solide contiendrait du chlorure de potassium, du cyanure de potassium et un carbure de fer (FeC). D'après ses calculs, 100^{gr} de poudre donnent 52^{gr},56 de produits solides et 47^{gr},44 de gaz; ceux-ci occupent, à 0° et 0°,760, un volume de 40 680^{cc},4, et, à la température de combustion, évaluée à 2604°,5, un volume de 431 162^{cc}.

Les conclusions que Pohl tire de ces hypothèses, dont aucune n'a encore été vérifiée, sont tout à l'avantage de la poudre blanche. 60 parties en poids de cette dernière (ou 77,4 en volume) équivalent à 100 parties de la poudre noire ordinaire, et ne donnent que 31,53 parties de résidus solides, tandis que les 100 parties de poudre noire en donnent 68, d'après Bunsen et Schischkoff (p. 466). En outre, la température des gaz est moins élevée pour la poudre blanche, ce qui permet de tirer un plus grand nombre de coups sans échauffer l'arme outre mesure; le rapport de cette température à celle qui correspondrait à un poids égal de poudre noire serait celui de 0,779 à 1. — L'évaluation de la température des gaz est fondée sur l'hypothèse relative à la forme de la réaction et sur le calcul de la température de combustion, dont l'exactitude n'est pas démontrée. Si d'ailleurs les choses se passaient rigoureusement comme Pohl l'a supposé, on s'expliquerait difficilement l'action de la poudre blanche sur l'âme des canons, dont elle attaque les parois.

Augendre et, après lui, Pohl attribuent encore d'autres avantages à cette poudre : elle se conserve parfaitement à l'air libre, s'enflamme facilement par une étincelle et peut être employée sans grenage préalable ; enfin, elle est d'une fabrication simple et d'un prix peu élevé. D'après Pohl, la manipulation de cette poudre ne présenterait absolument aucun danger, si les substances employées étaient bien pures et ne contenaient aucune particule de soufre ou de charbon ; l'explosion ne se produirait que par le choc de fer sur fer et jamais par le frottement.

L'expérience ne confirme pas ces assertions. On connaît plusieurs cas d'explosions qui se sont produites au moment où l'on procédait avec précaution au mélange des matières ; on sait même qu'une bouteille remplie de poudre blanche et exposée au soleil de juin a fait explosion. D'après Hudson, cette poudre détone par le choc d'un marteau sur un support en pierre, et elle devient plus explosive lorsque les éléments ont été triturés à l'état humide, sans doute à cause du mélange plus intime et plus uniforme qui en résulte.

Il n'est donc en aucune façon démontré que la fabrication de la poudre blanche soit exempte de dangers ; du reste, il n'a pas encore été fait d'essais méthodiques à ce sujet. Zaliwsky a proposé (1870) de mélanger préalablement le chlorate de potasse avec de l'acide oxalique, puis d'ajouter au mélange du soufre, du charbon ou toute autre substance analogue. Cette idée paraît mériter d'être mise en pratique.

Si les dangers incontestables que présentent les manipulations de la poudre blanche en ont arrêté l'extension, les actions mécaniques et chimiques qu'elle exerce sur les parois de l'âme des bouches à feu n'ont pas moins contribué à en proscrire l'emploi.

Uchatius a montré, à l'aide de son éprouvette (p. 566), que la poudre blanche est éminemment brisante. Au point de vue balistique, 0^m,93 de cette poudre étaient équivalents à 1^m,82 de poudre à canon autrichienne, c'est-à-dire que ces deux charges communiquaient la même vitesse initiale à des projectiles de même poids ; mais les pressions exercées sur le fond de l'éprouvette étaient de 839^{mm} pour la première poudre, et de 458^{mm} pour la seconde.

Quant aux actions chimiques oxydantes, elles paraissaient s'exercer de préférence sur la fonte et sur l'acier ; aussi a-t-on proposé de restreindre l'usage de la poudre blanche au tir dans les pièces de bronze et surtout au chargement des projectiles creux, auquel elle

semble tout spécialement appropriée. D'après Hudson, on introduit la poudre dans le projectile avec des billes de verre remplies d'acide sulfurique concentré : le choc qui se produit, au moment où le projectile pénètre dans l'obstacle à détruire, suffit pour briser les billes et pour provoquer l'inflammation de la matière au contact de l'acide sulfurique. L'inflammation des torpilles de contact est fondée sur le même principe : la charge se compose de poudre ordinaire, et l'on met le feu au moyen d'acide sulfurique et de poudre blanche.

Nous signalerons enfin une remarquable application industrielle de la poudre d'Augendre. Shaw a construit, à Philadelphie, un marteau-pilon qui est mis en mouvement par la force de cette substance : la poudre blanche est employée sous forme de cartouches, qui sont enflammées par la chute du marteau; on a soin d'ailleurs de ne pas dépasser une certaine limite de pression. Plus récemment, Shaw a installé, sur le même principe, un mouton destiné à établir les fondations des quais d'atterrissage du port de League Island. Cet appareil a fonctionné avec un plein succès : 800 pieux de 10 pouces ont été enfoncés, à raison de 4 ou 5 par heure, jusqu'à une profondeur de 6^m environ, dans un terrain très-dur; aucun d'eux n'était endommagé.

Une poudre blanche entièrement analogue à celle de Pohl nous est récemment venue d'Angleterre sous le nom de *poudre de Reveley*. Les éléments doivent être mélangés sans frottement au moyen d'un tamis conique. Cette poudre coûte 215^{fr} les 100^{kg}.

i) Poudres de Hafenegger.

Hafenegger a fait breveter, en Angleterre, 6 espèces de poudres à tirer ou de poudres de mine, qui se rapprochent plus ou moins de la poudre blanche d'Augendre :

Chlorate de potasse.	9	2	4	4	1	11
Soufre.	0,25	»	»	0,25	»	0,25
Charbon de bois.	0,25	»	0,25	0,25	»	0,25
Prussiate jaune de potasse. . .	»	1	1	»	»	»
Sucre.	»	1	1	4	1	»

j) Poudre de Hahn.

Hahn recommande le mélange suivant :

Chlorate de potasse.	367,5
Sulfure d'antimoine.	168,3
Charbon.	18
Spermaceti.	46

Les trois dernières substances sont mélangées à part, et l'on n'y joint le chlorate de potasse qu'au moment de l'emploi.

k) Poudre gallique de Horsaey.

Cette poudre se compose de :

Chlorate de potasse.	9
Noix de galle pulvérisée.	3

Le mélange n'est pas grené.

L'application de cette poudre, essayée en Autriche pour les amorces du fusil d'infanterie, ne paraît pas avoir réussi.

l) Poudre de Callou.

La poudre de mine de Callou ne contient que du chlorate de potasse et de l'orpiment (trisulfure d'arsenic).

CHAPITRE III.

POUDRES OBTENUES PAR REMPLACEMENT OU SUPPRESSION DU SOUFRE ET PAR REMPLACEMENT DU CHARBON.

§ I.

REMPLACEMENT OU SUPPRESSION DU SOUFRE.

L'addition du soufre au mélange de salpêtre et de charbon paraît avoir pour unique effet d'en accélérer la combustion, sans modifier d'une manière sensible la quantité de chaleur dégagée ni le poids des produits gazeux. On pourra donc supprimer le soufre dans tous les cas où la rapidité d'inflammation ne présente pas d'avantage marqué; nous avons donné plusieurs exemples de mélanges dans lesquels l'élimination du soufre est plus ou moins complète (p. 604, 602, 610 et 612-618).

Au surplus, on ne connaît aucun corps capable d'être substitué au soufre dans la composition de la poudre, de manière à remplir le même rôle au double point de vue de la conservation des produits et de leur emploi ultérieur.

§ II.

REMPLACEMENT DU CHARBON.

Nous avons cité, dans les chapitres précédents (p. 602, 606-609 et 612-618), un certain nombre de mélanges dans lesquels le charbon

se trouve remplacé par divers éléments plus ou moins riches en carbone, qui ont pour résultat ou pour but de diminuer l'inflammabilité de la poudre et d'en ralentir la combustion. La plupart de ces corps laissent un résidu notable, et rendent la composition dans laquelle ils entrent impropre au tir des armes à feu.

Nous nous contenterons d'énumérer les substances qui ont été le plus souvent proposées pour remplacer le charbon :

- 1° Houille, coke;
- 2° Acides ulmique, tannique et gallique;
- 3° Sucre, sciure de bois, tan, son;
- 4° Gélatine, dextrine, colle d'amidon, gomme;
- 5° Prussiate jaune et prussiate rouge de potasse, tartre, sel de Seignette;
- 6° Acétate de soude.

La découverte du mélange détonant de salpêtre et d'acétate de soude est due à Violette (1871).

Ce mélange, fondu, détone au contact d'un corps en ignition ou par une élévation de température jusqu'à 350° environ; refroidi et concassé en grains fins, il déflagre lentement par l'action d'une étoupe ordinaire. Le produit le plus explosif se compose de 62,5 de salpêtre fondu pour 37,5 d'acétate de soude fondu; l'addition de 1/10 de soufre rend la déflagration plus vive et plus lumineuse. On obtient les mêmes résultats en opérant à froid le mélange des deux sels.

La substitution de l'acétate de soude au charbon dans la poudre noire ordinaire paraît donner, toutes choses égales d'ailleurs, une matière dont la déflagration est à la fois plus vive et plus lumineuse, mais qui est notablement plus hygrométrique : Violette a proposé d'obvier à cet inconvénient en recouvrant, par le procédé de l'agglomération, le grain de poudre blanche d'une enveloppe de poudre noire. Le produit ainsi obtenu pourrait être employé soit dans les mines, soit dans les artifices.

SECTION II.

CORPS EXPLOSIFS DÉRIVÉS DES MATIÈRES ORGANIQUES.

La grande classe des composés explosifs obtenus en traitant les substances organiques par l'acide azotique, et dont les principaux sont le coton-poudre, la nitroglycérine et le fulminate de mercure, a pris, depuis quelques années, une importance tout exceptionnelle. La plupart de ces corps ont pu, en raison de la puissance de leurs effets, être employés concurremment avec la poudre noire pour les travaux de mine, le chargement des projectiles creux, etc., et plusieurs même lui sont quelquefois préférés.

Les premiers perfectionnements ont dû porter sur l'instabilité de l'équilibre moléculaire de pareilles substances. Les obstacles que l'on jugeait, dans les débuts, devoir s'opposer absolument à l'emploi du coton-poudre et de la nitroglycérine paraissent aujourd'hui presque complètement surmontés, au moins pour le premier de ces deux corps.

Les substances explosives décrites dans cette section, bien que dérivant toutes de l'acide azotique, ne présentent pas le même caractère chimique. L'acide picrique et le fulminate de mercure sont des *composés nitrés*, en ce sens qu'un ou plusieurs équivalents d'hydrogène de la substance primitive se trouvent remplacés par le même nombre d'équivalents d'acide hypoazotique (AzO^4). Tous les autres composés, à l'exception de la classe spéciale des combinaisons diazotées, sont des *éthers de l'acide nitrique*. Dans les deux cas, la détonation donne lieu à une production d'eau, sauf pour le fulminate de mercure, dont le mode de décomposition n'est encore aujourd'hui qu'imparfaitement connu.

Nous commencerons par décrire les *pyroxyles* (*), dérivés des substances ligneuses, dont le nombre s'est accru dans des proportions considérables, à cause de la facilité avec laquelle ces substances organiques se transforment en corps explosifs par l'action de l'acide nitrique concentré et du prix relativement peu élevé des matières premières. Aux pyroxyles nous rattacherons les composés nitrés, moins nombreux et moins importants, qui dérivent du sucre. Nous aborderons ensuite l'étude de la *nitroglycérine* et des *dynamites*. Nous terminerons par l'examen des principaux mélanges à base d'*acide picrique* ou de *picrates* et par la description des *fulminates*.

(*) Le nom de *pyroxyte* ou *pyroxytol*, proposé par Pelouze, devait s'appliquer, à l'origine, à tous les dérivés nitrés des substances ligneuses (papier, coton, paille, sciure de bois, etc.). Aujourd'hui, on désigne quelquefois sous ce nom le coton-poudre; le colodion est alors appelé *pyroxyte soluble*.

Nous préférons comprendre sous le terme collectif de *pyroxytes* l'ensemble des dérivés nitrés des matières ligneuses, encore bien qu'ils ne présentent pas toujours la même constitution chimique.

CHAPITRE I.

PYROXYLES.

A.

COTON-POUDRE.

§ I.

HISTORIQUE.

En 1832, le chimiste français Braconnot, de Nancy, découvrit que l'amidon, les fibres ligneuses et autres substances analogues, peuvent se changer, par l'action de l'acide nitrique concentré, en un corps léger et combustible auquel il donna le nom de *xyloïdine*. Pelouze reprit ces expériences en 1838, et constata que la xyloïdine s'enflammait à 180°, soit par le choc, soit par une forte pression; il reconnut, en outre, que le coton, le papier et toutes les substances végétales étaient généralement propres à la préparation de ce corps, et il en recommanda l'emploi dans la pyrotechnie. Dumas obtint également, à l'aide du papier ou du carton, un composé explosif qu'il appela *nitramidine* et qu'il proposa d'utiliser pour la confection des gargousses.

Ces divers essais restèrent sans résultats pratiques, parce que l'on ne savait encore fabriquer que des produits irréguliers et d'une stabilité insuffisante : c'est Schönbein, de Bâle, qui, le premier, a préparé une matière d'une manipulation relativement sûre. Sa découverte, qu'il annonça vers la fin de 1845 et dont il garda d'abord le secret, consistait à traiter le coton par un mélange d'acides nitrique et sulfurique, pendant un temps assez court pour que la structure

fibreuse de la substance ne fût pas altérée. Le nouveau produit (en Allemagne, *Schiesswolle*, *Schiessbaumwolle*; en Angleterre, *guncotton*; en France, *coton-poudre*, *poudre-coton*, *fulmicoton*, *coton fulminant*, *pyroxyle*) fut appliqué avec succès à des expériences de sautage des mines et de tir dans les bouches à feu. En août 1846, Böttger, de Francfort, trouva de son côté la préparation du coton-poudre, tenue secrète par Schönbein : les deux savants s'associèrent et soumièrent leur découverte commune à la Confédération germanique. Le prix proposé par celle-ci devait s'appliquer à un produit explosif qui non-seulement pût remplacer la poudre sous les diverses formes de son emploi, mais encore présentât sur elle des avantages marqués; une commission fut nommée pour essayer le coton-poudre de Schönbein et de Böttger, mais la publication de la nouvelle méthode de préparation fut encore ajournée.

Cependant Otto, de Brunswick, donnait, dans l'*Allgemeine Zeitung* d'Augsbourg (5 oct. 1846), la description d'un procédé de fabrication qu'il venait de découvrir et qui consistait à plonger, pendant 1/2 minute environ, du coton purifié dans de l'acide nitrique très-concentré, puis à le laver et à le dessécher avec soin : le produit ainsi obtenu présentait la plus grande analogie avec celui de Schönbein. Presque en même temps (1847), W. Knop, à Leipzig, Heeren et Karmarsch, à Hanovre, Taylor, en Angleterre, découvraient le mode de préparation par le mélange des acides nitrique et sulfurique : Schönbein et Böttger firent alors connaître que c'était précisément là leur procédé. L'emploi simultané des deux acides présente cet avantage, que l'eau produite pendant la réaction est absorbée par l'acide sulfurique, en sorte que l'acide nitrique conserve sa concentration; en outre, le volume plus considérable de la dissolution employée permet d'humecter le coton d'une manière à la fois plus complète et plus régulière. Millon et Gaudin ont proposé plus tard une simplification consistant à employer un mélange fraîchement préparé de salpêtre et d'acide sulfurique.

A partir de ce moment, on se livra, en France, en Angleterre et en Russie, à une série d'essais qui ne furent pas plus heureux que ceux de la commission allemande. La difficulté était d'obtenir un produit stable, non susceptible de décomposition spontanée; or, il semble que l'on ait d'abord attaché trop peu d'importance à la perfection des lavages et surtout à la purification du coton, dont les matières grasses prenaient part à la nitrification en donnant nais-

sance à une substance explosive instable. Telle paraît avoir été l'origine de plusieurs explosions de coton-poudre qui se produisirent sans cause extérieure apparente, en France et en Angleterre, à Vincennes, au Bouchet et à Faversham (1847-1848). La coïncidence de ces accidents et des événements politiques de 1848 fit abandonner pour quelque temps l'étude de la question du coton-poudre.

Les travaux furent bientôt repris en Allemagne. Von Lenk avait réussi à obtenir un produit qui, d'après cet officier, se distinguait des précédents par sa stabilité et par une grande régularité d'effets. Les essais entrepris de 1849 à 1852 furent favorables au procédé de Lenk, et, dès 1853, le gouvernement autrichien passait avec Schönbein et Böttger une convention en vertu de laquelle ces inventeurs lui cédaient leur brevet. La fabrique de Hirtenberg, près de Wiener-Neustadt, fut alors installée sous la direction de Lenk et fonctionna jusqu'à la fin de 1865, époque à laquelle la fabrication du coton-poudre fut officiellement interdite en Autriche, malgré les nouveaux perfectionnements qui venaient d'y être apportés, à la suite de deux explosions de magasins survenues à Simmering (1862) et à Steinfeld (1865), sans qu'on ait pu en déterminer les causes d'une manière certaine. Pendant cet intervalle de temps (1852-1865), on avait fait de nombreuses tentatives pour appliquer le coton-poudre au tir dans les bouches à feu; Lenk parvint même à créer un système de *batteries à coton-poudre*, qui parurent donner d'excellents résultats. Mais l'accident de 1862 et la crainte de produire des pressions exagérées à l'intérieur des armes firent déclasser le coton-poudre, dont l'emploi fut réservé, jusqu'en 1865, aux travaux du génie et au chargement des shrapnels et des torpilles.

A peu près vers la même époque, Lenk faisait breveter son procédé en Angleterre (1862), et les frères Prentice installaient, sur le modèle de la fabrique de Hirtenberg, la grande fabrique de Stowmarket, où l'on appliquait la méthode de Lenk (1864). Bientôt, le chimiste anglais Abel prit un brevet (avril 1865) pour un procédé de fabrication du coton-poudre réduit en pâte et comprimé : les frères Prentice firent l'acquisition du brevet, et la fabrication reçut dès lors un développement considérable, qui a simplement subi un temps d'arrêt au moment de l'explosion de Stowmarket (août 1871), dont la cause a pu être attribuée à la malveillance.

En France, la fabrication du coton-poudre, installée au Bouchet dès 1846, a dû être suspendue par suite de la difficulté d'obtenir des

produits stables et réguliers; elle a été reprise depuis quelques années au Moulin-Blanc, près de Brest.

En résumé, le coton-poudre constitue aujourd'hui un produit parfaitement approprié aux travaux de mines et à quelques autres usages pyrotechniques; et, s'il ne peut être encore, dans tous les cas, avantageusement substitué à la poudre ordinaire, il n'en doit pas moins figurer au premier rang des substances explosives qui composent cette section. Pelouze a, le premier, réalisé la transformation du coton en une substance détonante; à Schönbein revient le mérite d'avoir obtenu une matière stable; enfin, Lenk et Abel ont successivement apporté à la préparation de ce corps des perfectionnements qui en ont fait un produit industriel.

§ II.

FABRICATION DU COTON-POUDRE.

I. GÉNÉRALITÉS.

a) Matières premières.

Les matières premières nécessaires pour la fabrication du coton-poudre sont d'une grande simplicité et d'un approvisionnement facile : elles comprennent une substance végétale (le coton) et deux acides minéraux (les acides nitrique et sulfurique).

Le coton le plus généralement employé est produit par un arbrisseau appartenant à la famille des malvacées (*gossypium arboreum* et *gossypium herbaceum*) (*): cette substance se recommande par la pureté de la cellulose qu'elle renferme, aussi bien que par la délicatesse et la finesse de ses filaments, d'où résulte une action plus complète et plus facile des acides sur les tissus. L'espèce de coton que l'on préfère est connue sous le nom de *Sea Island* : elle doit être préalablement débarrassée, dans les filatures, des impuretés qu'elle contient; telles que du sable, des coquilles de grains, etc.; elle est ensuite

(*) Bérard emploie également les tontisses (*Scherflocken*). Le fil de jute (*corchorus capsularis* et *corchorus olitorius*), qu'on a souvent proposé pour remplacer le coton, n'est pas encore entré dans la pratique.

cardée ou simplement retordue, et livrée sous la forme d'une masse spongieuse. La purification du coton est d'une grande importance au point de vue de la fabrication du produit explosif : on procède au désuintage de la matière d'après les meilleurs procédés connus, puis on la fait complètement sécher.

L'acide nitrique, d'une densité de 1,45 à 1,50, doit être aussi pur que possible, et surtout exempt de chlore : la présence de ce corps serait, en effet, d'après Bley, une cause de diminution du rendement. L'acide sulfurique employé est de l'acide anglais, d'une densité de 1,85 environ. La qualité des produits dépend essentiellement du degré de concentration des acides qui est, en général, assez élevé. Si l'on opère avec de l'acide nitrique étendu et qu'il se produise un échauffement modéré, il se formera du collodion, substance soluble dans l'éther de l'alcool vinique, moins explosive et qui brûle en laissant un résidu.

Les proportions relatives dans lesquelles sont employées les matières premières varient suivant les procédés. On s'est longtemps attaché à traiter le coton par un assez grand volume du mélange des acides, afin de rendre moins sensible le défaut de concentration de la liqueur résultant de l'eau produite par la réaction. D'après la méthode actuellement usitée, la liqueur de trempage conserve son degré de concentration, le coton n'y restant pas plongé assez longtemps pour que la réaction puisse s'y opérer.

b) Opération.

La durée de la réaction, extrêmement variable suivant les procédés, paraît avoir moins d'importance que le maintien d'une température modérée. Si le mélange s'échauffe, la décomposition se poursuit, le coton est plus ou moins oxydé, et l'on n'obtient pas de produit explosif.

La matière brute doit être ensuite complètement débarrassée des acides qu'elle renferme; c'est là un point essentiel de la fabrication, d'où dépend la stabilité du coton-poudre.

Le séchage, qui doit s'effectuer à une température au plus égale à 50 ou 60°, exige les plus grandes précautions et constitue la seule partie dangereuse de l'opération.

Pour une fabrication bien conduite, le rendement final en coton-poudre se rapproche suffisamment du rendement théorique, qui est de 183,3 de coton-poudre p. 100 de coton. En opérant sur de petites

quantités, Abel a obtenu 182,5 p. 100, tandis que le rendement normal des fabriques de Hirtenberg, du Bouchet et de Stowmarket variait de 150 à 176 p. 100.

Ces principes généraux de la fabrication du coton-poudre se retrouvent d'une manière plus ou moins nette dans les nombreux procédés qui ont été successivement proposés; nous allons donner sur chacun d'eux des développements proportionnés à son importance propre.

II. PROCÉDÉS DE FABRICATION.

a) Procédé d'Otto.

Le premier procédé publié, celui d'Otto, consiste à plonger le coton pendant 1/2 minute dans de l'acide nitrique concentré, obtenu en traitant 10 parties de salpêtre par 6 parties d'acide sulfurique anglais. Le produit est ensuite lavé, trié et desséché avec soin.

b) Procédé de Schönbein.

Schönbein employa le premier un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique, dans les proportions suivantes :

Acide nitrique (densité 1,45 à 1,50) 1 partie en poids. . . . 1 volume.
Acide sulfurique (densité 1,85) 3 parties en poids. . . . 2,3 volumes.

Le mélange ayant été fait dans un vase en verre ou en porcelaine et se trouvant à une température de 10 à 15°, Schönbein y plongeait le coton dans la proportion de 1 partie pour 20 à 30 de la liqueur. Au bout de 1 heure, il vidait le vase et lavait le produit, d'abord à grande eau, puis avec une solution étendue de potasse, pour enlever les dernières traces d'acides, et finalement avec de l'eau pure, pour dissoudre les sels formés. La matière était ensuite comprimée, imprégnée d'une solution faible de salpêtre à 0,6 p. 100, soumise de nouveau à une forte compression et séchée à la température de 65°.

Ce procédé primitif de Schönbein, qui est aussi celui de Böttger, a été breveté en Angleterre sous le nom de Th. Taylor, avec cette seule différence qu'on plongeait 1 partie de coton dans 14 parties d'un mélange à volumes égaux des deux acides.

Gladstone a obtenu, en appliquant le procédé de Schönbein, un rendement de 173 à 175 p. 100.

c) Procédés de Karmarsch, de Heeren et de Knop.

Ces procédés consistent à faire digérer le coton pendant 4 à 5 minutes dans le mélange des acides.

Ce mélange se compose, d'après Karmarsch et Heeren, de 1 partie d'acide nitrique fumant pour 2 parties d'acide sulfurique anglais; d'après Knop, il est formé de volumes égaux des deux acides.

d) Procédé de Walter Crum.

W. Crum commence par purifier le coton cardé en le faisant bouillir avec une dissolution faible de soude caustique; il le blanchit par le chlorure de chaux, et, après une courte immersion dans de l'acide nitrique étendu, il le lave à grande eau. Le coton soumis à ce traitement perd 5,6 p. 100 de son poids, et, quand on le brûle, il ne donne plus que 0,09 p. 100 de cendres. Il est finalement desséché à la vapeur.

On traite 1 partie de coton par 48 parties d'un mélange de 3 volumes d'acide nitrique (densité 1,517) et de 1 volume d'acide sulfurique (densité 1,84). Le produit est lavé avec soin et séché à l'air libre.

Le rendement obtenu par Crum était de 178 p. 100 de coton séché.

e) Procédé de Kerkhoff et Reuter.

D'après Kerkhoff et Reuter, on fait digérer 1 partie de coton dans 48 parties d'un mélange par parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique concentrés.

Le rendement est de 176 p. 100.

f) Procédé du Bouchet.

Le coton-poudre a été fabriqué, pendant plusieurs années, à la poudrerie de Bouchet; il était destiné aux travaux du génie et au tir dans les bouches à feu.

Le coton était pris à une usine voisine et livré sous forme de ouate. On effectuait le mélange des acides dans un atelier spécial; d'après Pelouze et Maurey, les proportions les plus convenables étaient les suivantes :

Acide nitrique (densité 1,500).	1	partie en poids.	3	volumes.
Acide sulfurique anglais.	2,86	parties en poids.	7	volumes.

On versait 1 litre du mélange dans une terrine en grès de 0^m,20 de diamètre sur 0^m,14 de hauteur, et l'on y trempait rapidement en 4 ou 5 fois 100^{gr} de coton; on versait un second litre, et l'on traitait de même 100 nouveaux grammes de matière; puis on couvrait la terrine avec un obturateur en verre, et on laissait le trempage se faire pendant 1 heure. Les produits étaient mis par lots de 4^l sous une presse, qui exprimait les 0,7 des acides; ces derniers, dits acides n° 2, étaient recueillis et servaient à fabriquer des fulmicotons inférieurs. On jetait ensuite les matières dans des paniers d'osier, qu'on mettait en suspension dans des eaux courantes pendant 1^h 1/2 à 2^h; elles étaient ensuite soumises à un second pressage, pour faire disparaître l'eau, à un lavage alcalin, pour éliminer les dernières traces d'acides, à un lavage à l'eau pure, pour chasser l'alcali restant, et à un dernier pressage, pour chasser l'eau. Le séchage au soleil ou à la sécherie artificielle avait été abandonné et remplacé par un simple séchage à l'air froid, sous l'action d'un courant d'air permanent. La matière séchée, qui contenait encore 1 à 2 p. 100 d'humidité, était triée brin à brin et mise en caisses ou en barils.

On obtenait ainsi un rendement moyen de 165,25 p. 100 de coton sec; le prix de revient était d'environ 7^{fr} le kilogramme.

D'après Melsens, la compression des matières imprégnées d'acides présente l'inconvénient de rendre très-difficiles les lavages ultérieurs.

g) Procédé de Lenk.

Lenk a cherché à éviter une compression trop énergique; il avait, en outre, reconnu l'influence de la pureté du coton employé et de la régularité du trempage et des lavages ultérieurs sur la qualité des produits. Sa méthode, qui a donné, dès les débuts, les meilleurs résultats dans les expériences de tir et de sautage, constitue encore aujourd'hui la base du procédé d'Abel. Elle a été appliquée simultanément à Hirtenberg (pour les usages militaires) et dans la fabrique de Reny, à Vienne.

Le coton est débarrassé des matières grasses par une immersion de 2 à 3 minutes dans une solution bouillante de potasse caustique (densité 1,02), où on le suspend à des crochets en écheveaux filés de 85^{gr}. Dès que la saponification est achevée, on retire les écheveaux et on élimine la liqueur potassique à l'aide d'un hydro-extracteur. Le coton est ensuite lavé à l'eau pure dans des paniers en zinc, soumis de nouveau à l'essorage, et enfin fortement séché.

L'acide nitrique, ayant au moins 1,48 à 1,49 de densité à la température de 17°,5, et l'acide sulfurique, ayant 1,835 de densité, s'écoulent en filet mince, par des robinets, dans un réservoir commun en grès, où ils se mélangent dans la proportion de 1 à 3 (en poids). La liqueur n'est employée qu'après refroidissement.

Deux des écheveaux, préalablement purifiés et séchés, sont traités par 300 fois leur poids du mélange des acides, qui se trouve dans une cuve de trempage en fonte; on rend le contact aussi intime que possible à l'aide d'une pelle avec laquelle on remue la liqueur, et l'on exerce une légère pression sur le coton. On reconnaît que celui-ci est complètement imprégné à son apparence graisseuse. Dès que le point de saturation est atteint, au bout de quelques minutes, on place les écheveaux sur un grillage disposé au-dessus de la cuve, pour laisser égoutter les acides en excès; on peut accélérer l'opération en comprimant légèrement la matière. Par ce premier traitement, 1 partie de coton doit s'être accrue d'au moins 9,5 parties. Les acides qui ont servi au trempage de 2^e de coton environ doivent être complètement renouvelés.

Quand on a préparé 6 écheveaux, pesant ensemble 5^l,25, on les laisse séjourner pendant 24 à 48 heures dans un pot en grès contenant un disque de drap, qui repose sur les écheveaux et qui est soumis à une légère pression; le coton se trouve ainsi recouvert d'une partie des acides dont il était imprégné. Pendant ce temps, la nitrification se poursuit; les pots sont placés dans un local dont la température doit rester comprise entre 5 et 25°. On est obligé, en hiver, d'échauffer les appareils, et parfois, en été, de les rafraîchir (par un courant d'eau): dans le premier cas, on doit surveiller les pots pendant les 6 ou au moins pendant les 2 premières heures, afin de pouvoir obvier à temps aux suites d'un échauffement trop rapide. La pression est réglée de telle sorte que, au sortir des pots, la matière ne contient plus que 1^l,05 d'acides.

Le coton-poudre brut est alors débarrassé des 3/4 des acides restants au moyen de l'essoreuse, puis agité avec une grande quantité d'eau dans des tambours en cuivre, et finalement plongé pendant 3 à 6 semaines au milieu de l'eau courante dans des caisses de lavage spéciales. La matière est ensuite traitée par une solution bouillante de potasse (densité 1,02), essorée de nouveau, repassée dans l'eau, soumise à un troisième essorage, et enfin séchée à l'air libre à la température de 25°.

Les dernières traces d'acides se trouvant ainsi éliminées, on plonge le coton-poudre pendant quelque temps dans une solution de silicate de soude (densité 1,072), on le retire, on le fait essorer et on l'expose pendant 3 jours à l'air libre : le silicate soluble est décomposé par l'acide carbonique de l'atmosphère, et il se forme un précipité de silice ou de silicate insoluble qui se dépose sur les filaments du coton et qui en diminue l'inflammabilité (procédé de la silicatisation).

Finalement, la matière est de nouveau soumise à un courant d'eau aussi douce que possible, essorée et séchée soit à l'air libre, soit dans une chambre dont la température ne dépasse pas 35°; les rayons directs du soleil doivent être évités.

Les rendements moyens, correspondant à plusieurs années de fabrication, ont varié de 165 à 167 p. 100 de coton sec.

Le coton-poudre ainsi fabriqué était l'objet d'un examen minutieux relativement à sa structure. On le tirait ensuite dans l'éprouvette à crémaillère (p. 523) : il devait donner 42° à la charge de 0^m,39; les produits dont les indications n'atteignaient pas ce chiffre étaient réservés aux travaux de mine. L'aspect extérieur devait être celui du coton-poudre réglementaire; on écartait tous les écheveaux qui présentaient des fils rompus.

4) Procédé d'Abel.

Abel a apporté au procédé de Lenk une série de perfectionnements que nous allons passer en revue, en décrivant successivement la fabrication du coton-poudre comprimé à Stowmarket et à Waltham-Abbey.

Fabrication de Stowmarket. — Toute la première partie des opérations est empruntée à la méthode de Lenk. Le coton est choisi parmi les déchets de manufacture, triés et blanchis à la filature même; il renferme 12 p. 100 d'eau et coûte 1^m,41 le kilogramme sec : s'il est trop enchevêtré, il subit un hâchage spécial. Le cardage, qui se fait à l'aide de plusieurs cylindres munis de pointes, permet de l'obtenir sous la forme d'une feuille continue de 0^m,01 d'épaisseur qui s'enroule sur un tambour. Le séchage s'opère simultanément sur 3 rouleaux, ayant 1^m de largeur sur 0^m,50 de diamètre et pesant 12 à 13^l chacun, placés dans un cylindre vertical à double paroi avec circulation de vapeur (longueur 3^m,20, diamètre 0^m,50) : un ventilateur aspirant produit une dépression de 0^m,50 d'eau; l'opération dure

40°, à la température de 85 à 90°, et ramène l'humidité de la matière à moins de 0,5 p. 100. Le refroidissement se fait, pendant la nuit, dans de grandes bouteilles en zinc ou en tôle galvanisée, qui reçoivent le contenu d'un cylindre (37^l). — Le mélange des acides se compose de 3 parties d'acide sulfurique (densité 1,845 à 1,850) pour 1 d'acide nitrique (densité 1,500). L'appareil employé consiste en un double entonnoir en fonte, surmontant un vase cylindrique en fonte dans lequel se meut un arbre à palettes; l'opération dure 45^{min}, et la température s'élève de 20° environ. Le mélange est ensuite refroidi pendant 1 ou 2 jours dans des vases hémisphériques en fonte à couvercle boulonné (diamètre 1^m,50), d'où il est amené, par un tuyau collecteur en fonte, dans la chambre de trempage.

L'atelier de trempage se compose de 2 rangées renfermant chacune 12 auges en fonte, séparées de 3 en 3 par une auge servant de réservoir (dimensions 0^m,35, 0^m,80, 0^m,40) et munies d'une double enveloppe dans laquelle circule un courant d'eau froide; une grille en fonte, que doit affleurer le niveau du liquide, est disposée à la partie postérieure de chacune d'elles. La charge d'une auge est de 230 livres (105^{kg}) du mélange acide : on y plonge 1 livre (0^{kg},453) de coton, qui est agité pendant 4 à 5^{min} à l'aide d'une fourchette en fer, égoutté sur la grille et pressé au moyen d'une plaque à stries manœuvrée par un levier; puis on l'arrose avec 100^{cc} d'acides, et on l'introduit dans un pot en grès avec couvercle, lequel est placé sur un wagonnet qui reçoit 8 pots semblables. Le contenu de l'auge est revivifié par l'addition de 11 livres environ (5^{kg}) d'acides neufs. — Les pots sont alors disposés dans les fosses de réfrigération et de réaction, où la nitrification se continue pendant 24^h : ce sont de vastes bassins plats avec enduit imperméable en ciment, parcourus par un courant d'eau froide dont le niveau se maintient à quelques centimètres du couvercle des pots.

La matière, renfermant 11 parties d'acides pour 1 de coton, est soumise à l'action de 10 turbines, dont chacune reçoit le contenu de 6 pots (5^{kg} de coton-poudre). L'opération, qui dure 4 à 5^{min}, permet d'extraire 7 parties d'acides : sur les 4 restantes, 1/2 partie est combinée au coton, 3 parties 1/2 sont simplement mélangées. — Le contenu d'une turbine est versé dans une grande cuve en bois, munie d'un faux-fond destiné à retenir la matière et parcourue de haut en bas par un courant d'eau rapide. Le coton-poudre est remué pendant 10^{min} avec un râteau en bois, puis introduit dans une

auge en bois : il ne présente plus qu'une acidité peu sensible au goût. — La matière est ensuite soumise, pendant 10^{min}, à l'action de 3 turbines, et ramenée à une proportion d'humidité constante de 30 p. 100. — On procède enfin à un lavage à l'eau chaude dans 2 cuves cylindriques en bois, ayant 2^m,50 de hauteur sur 1^m,50 de diamètre et pouvant recevoir jusqu'à 1200 livres (500^l) de matières : l'eau, additionnée de 0^l,453 de carbonate de soude pour chaque cuve, est portée à l'ébullition au moyen de tubes de vapeur. Au bout de 4^h, l'eau est changée, et l'opération se prolonge encore pendant 4 à 24^h.

Le déchiquetage et la réduction en pâte s'effectuent dans 8 piles raffineuses (*rag engine*) identiques aux piles à papier ; chacune d'elles reçoit environ 100^l de coton-poudre. L'opération dure 4^h. — La pâte sortant des piles se rend dans 6 grands laveurs à fond plat (*poaching machine*), munis d'une roue à palettes et pouvant recevoir 600^l de matière. L'opération dure de 30 à 100^h, jusqu'à ce que l'épreuve de chaleur (p. 662) soit satisfaisante ; l'eau est renouvelée 4 à 5 fois. La pulpe, retenue par une toile à mailles serrées, se dépose au fond et sur les parois à l'état de bouillie très-aqueuse. — La matière est alors soumise à l'action de 3 turbines, qui la ramènent au taux constant de 31 à 32 p. 100 d'humidité ; elle présente l'aspect d'une pâte ferme et peut se mouler sous la pression des doigts.

Le coton-poudre est ensuite pesé par lots de 21^{kg}, pour les cartouches de mine (cylindres de 0^m,03 de diamètre sur 0^m,03 de hauteur), ou de 250^g, pour les disques (cylindres de 0^m,08 de diamètre sur 0^m,05 d'épaisseur) ; puis il subit un moulage préliminaire, soit à bras au moyen d'un levier, soit à l'aide d'une presse hydraulique. On moule de la même manière des cylindres d'amorces, des feuilles minces pour former par enroulement des cartouches de fusil de chasse, etc. Les logements des amorces sont pratiqués ultérieurement avec une machine à percer. — On opère le moulage définitif au moyen de presses horizontales, en exerçant successivement, à l'aide d'accumulateurs différemment chargés, des pressions de 100^{kg} et de 630^{kg} par centimètre carré de coton-poudre ; l'épaisseur des disques est ainsi ramenée de 0^m,12 à 0^m,05. Ces derniers sont alors imprégnés d'une quantité d'eau suffisante pour que leur proportion d'humidité s'élève à 25 p. 100 environ. Les cartouches que l'on veut sécher (p. 660) sont exposées à un courant d'air chaud sur des plaques en fer : c'est la seule partie de la fabrication qui présente quelque danger.

Les disques ou les cartouches sont disposés dans des caisses en bois blanc mince, contenant 12^l,5 environ à l'état sec ; les couvercles ne sont maintenus que par une seule vis jusqu'au jour de l'expédition. Ces caisses sont empilées dans de grandes cuves en bois (diamètre 1^m,50, hauteur 2^m,50), placées à 20^m d'axe en axe, pouvant recevoir 1000^l de coton-poudre, enterrées jusqu'au ras du bord et munies d'un faux fond qu'on peut relever au moyen de chaînes s'enroulant sur un treuil ; ces cuves sont protégées par un couvercle légèrement conique en tôle galvanisée, fixé à l'aide de 3 cadenas.

Le rendement obtenu par ce procédé varie de 150 à 171 p. 100.

Fabrication de Waltham-Abbey. — Cette fabrication se distingue en plusieurs points de la précédente : nous signalerons les principales différences.

Le coton sort de la machine à carder en masse floconneuse. Le séchage se fait sur une série de 5 toiles sans fin, animées d'un mouvement très-lent et superposées à l'intérieur d'une grande caisse prismatique (6^m de long sur 2^m de large et 4^m de haut), dans laquelle circule un courant d'air en sens inverse du mouvement des toiles ; celles-ci s'appuient sur des cylindres horizontaux chauffés à la vapeur. La température de la caisse est ainsi maintenue à 95° ; l'opération dure 6^h. Le coton se refroidit dans de petites boîtes en zinc.

Pour le trempage et pour la réaction en pots, on opère sur des quantités de matières supérieures de 1/4 à celles que l'on emploie à Stowmarket.

Le turbinage est identique. L'immersion se fait dans une grande cuve analogue aux laveurs de pâte, munie d'une roue à palettes à rotation rapide, qui plonge à moitié dans l'eau de la cuve et entre les aubes de laquelle on engage le coton par portions de 200 à 300^{gr} ; l'eau est renouvelée continuellement. Après un second turbinage, le coton-poudre est soumis à 4 lavages successifs, de 8^h chacun, dans de grandes cuves rectangulaires : le premier se fait à l'eau froide, les trois autres à l'eau chauffée à 60 ou 70°.

Le déchetage s'effectue sur 80^l de matière, avec addition de 2 à 3 p. 100 de carbonate de soude, et dure 4^h 1/2. Le lavage se fait sur 7 charges de piles (560^l) et dure environ 4^h.

Le liquide laiteux est aspiré directement, à l'aide d'une pompe pneumatique, dans un grand réservoir distributeur, d'où partent des tuyaux flexibles qui le conduisent dans des machines à mouler spéciales. Il subit alors une compression préliminaire très-faible,

après laquelle la hauteur du cylindre est supérieure de $\frac{1}{3}$ à sa valeur finale; pour les cartouches de mine, on procède comme à Stowmarket. On opère le moulage définitif à l'aide de presses verticales, sur un seul gâteau à la fois; la pression exercée est de 600^r par centimètre carré.

La méthode de Waltham-Abbey diffère de celle de Stowmarket surtout par le lavage des produits qui précède immédiatement le déchiquetage: l'emploi d'une eau alcaline bouillante (p. 634) paraît devoir amener la dénitrification d'une partie du coton-poudre, avec formation d'azotate de soude et de pyroxyle moins nitré. On peut s'expliquer ainsi la supériorité de près de 5 p. 100 du rendement obtenu à Waltham-Abbey.

Fabrication du Moulin-Blanc. — Le procédé de fabrication du coton-poudre au Moulin-Blanc, près de Brest, présente la plus grande analogie avec les procédés anglais.

§ III.

PROPRIÉTÉS DU COTON-POUDRE.

I. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

a) Aspect extérieur.

Le coton-poudre fabriqué par les divers procédés que nous venons d'exposer, sauf celui d'Abel, a complètement conservé l'apparence extérieure du coton ordinaire: il est difficile de distinguer, au microscope, aucune différence appréciable. Toutefois, les brins sont devenus un peu moins flexibles, plus rudes au toucher et plus cassants; ils font entendre un léger craquement quand on les presse, et ils prennent, par simple frottement entre les doigts, un état électrique tel, que les filaments adhèrent à la main quand elle est bien sèche. Si l'on frotte dans l'obscurité le coton-poudre, après l'avoir desséché, il devient lumineux, tandis que le coton ordinaire reste sombre; enfin, les fils du premier, vus au microscope, à la lumière polarisée, ont l'aspect mat ou faiblement coloré, tandis que ceux du second paraissent brillants et irisés.

Le coton-poudre comprimé se présente en masses d'un blanc lé-

gèrement jaunâtre et possède une consistance comparable à celle du carton. Sa dureté varie avec le degré de la compression qu'il a subie.

Le coton-poudre bien préparé est inodore, insipide, sans aucune acidité.

b) Solubilité.

Le coton-poudre est complètement insoluble dans l'eau, froide ou chaude; c'est sur cette propriété que reposent les lavages destinés à éliminer les acides. Il en résulte, en outre, qu'un excès d'humidité n'altère pas la constitution du produit, et qu'un séchage convenable suffirait à lui rendre ses propriétés, si celles-ci se trouvaient altérées (p. 642 et 659).

Le coton-poudre parfaitement pur est également insoluble dans l'alcool et dans l'éther. Toutefois il renferme toujours, en petites quantités, des produits accessoires qui s'y dissolvent: d'après Abel, la portion de la matière qui se dissout dans un mélange de 1 partie d'alcool et 2 d'éther est toujours d'au moins 0,75 à 1,5 p. 100. Cette solubilité, qui est due à la formation d'un composé nitré spécial, paraît favorisée par l'élévation de température et surtout par le défaut de concentration du mélange acide.

L'insolubilité du coton-poudre dans l'éther de l'alcool vinique permet de le distinguer du collodion. Quant à l'*alcolen* de Lutton, qu'on obtient en faisant digérer pendant 5 minutes du coton en flocons dans un mélange de 3 parties d'acide nitrique et de 4 parties d'acide sulfurique concentré, porté à la température de 80°, il se dissout complètement dans l'alcool absolu.

c) Densité.

La densité varie avec le mode de préparation et le degré de la compression. Elle est, en moyenne, de 0,4 à 0,3 pour le coton-poudre en flocons ou en écheveaux filés, et elle atteint 1,05 pour le coton-poudre comprimé d'Abel.

Des expériences exécutées à l'École de pyrotechnie de Toulon (1870) ont montré que la compression exercée sur le coton-poudre augmente beaucoup plus rapidement que la densité obtenue, d'où résulte une limite pratique de densité qui ne doit pas dépasser 1,4 à 1,5.

d) Humidité.

Le coton-poudre est moins hygrométrique que le coton ordinaire et que la poudre à canon. Son humidité normale varie de 1,5 à 2 p. 100; elle ne s'accroît, par une exposition prolongée dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau, que de 2,75 p. 100 environ, ce qui ne paraît pas influer d'une manière sensible sur l'inflammabilité de la matière.

D'après Beckerhinn, un accroissement de la proportion d'humidité produit un abaissement plus rapide des pressions que des vitesses initiales : de là résulterait un moyen de paralyser l'effet brisant du coton-poudre dans les armes, tout en lui laissant une puissance balistique supérieure à celle de la poudre ordinaire.

II. PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

a) Analyse chimique.

Les chimistes qui se sont occupés de l'analyse du coton-poudre ont eu le plus souvent à surmonter deux difficultés spéciales : le défaut d'homogénéité et l'instabilité du produit sur lequel ils opéraient. Ces difficultés expliquent les écarts, parfois considérables, accusés dans les différentes expériences, dont les principales sont résumées dans le tableau ci-après :

ÉLÉMENTS.	COMPOSITION du coton-poudre normal C ₁₂ H ₁₆ O ₆ .	COMPOSITION DU COTON-POUDRE DE (nom du chimiste ou de la fabrique)																
		Schubel.	Pelouze.	Fehling.	Kerkhoff et Reuter.	Schmidt et Hecker.	Grum.	Hirtenberg.					Redtenbacher, Schrotter et Schneider.	Beckerhinn (*).				
																a	b	c
Carbone. . . .	24,24	27,43	25,2	25,9	24,6	24,80	24,7	25,6	26,8	26,1	27,7	25,1	23,6 à 25,1	24,47	24,58	24,57		
Hydrogène. . .	2,37	3,54	2,9	3,7	2,6	2,75	2,5	2,9	3,1	3,1	2,6	3,0	2,3 à 3,0	2,56	2,48	2,44		
Azote.	14,14	14,26	12,6	10,0	14,3	13,50	13,8	12,3	12,5	13,5	11,4	12,4	•	13,72	13,65	13,94		
Oxygène. . . .	59,25	54,77	59,3	60,4	58,5	58,95	59,0	59,2	57,6	57,3	58,3	59,5	•	59,25	59,29	59,18		
Accroissement de poids p. 100.	83,33	•	75	•	76,2	69	77,9	73,3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

(*) a, b, c, sont respectivement les moyennes de deux analyses : a = échantillon conservé sous terre, sans enveloppe, pendant 5 ans; b = conservé pendant le même temps sous l'eau; c = conservé à l'état sec.

Les procédés d'analyse employés présentaient d'assez notables différences.

Kerkhoff et Reuter pesaient la substance dans de petites boules de verre qui étaient successivement introduites, à l'aide d'un robinet spécial, dans un tube à combustion rempli de cuivre et d'oxyde de cuivre, où elles faisaient explosion.

Pelouze faisait également passer les produits de la combustion de la matière, effectuée par petites portions, sur un mélange de cuivre et d'oxyde de cuivre porté au rouge : il pesait l'acide carbonique et l'eau, et mesurait l'azote mis en liberté ; l'oxygène était dosé par différence.

Fehling ajoutait à l'oxyde de cuivre du chlorate de potasse.

W. Crum effectuait la combustion en présence du chromate de plomb, et dosait l'acide carbonique produit en l'absorbant, dans un eudiomètre, par la potasse caustique. Il déterminait l'azote par une méthode spéciale. Le coton-poudre était agité dans un tube gradué, rempli de mercure, avec 20 fois son poids d'acide sulfurique concentré : l'acide nitrique mis en liberté dissolvait le mercure et se transformait en bioxyde d'azote ; la réaction étant terminée, on lisait le niveau du mercure, on introduisait une solution de sulfate de protoxyde de fer, qui absorbait le bioxyde d'azote, et l'on faisait une nouvelle lecture (2 vol. de bioxyde correspondent à 1 vol. d'azote).

L'eau hygrométrique se déduit d'une dessiccation à la température de 60°.

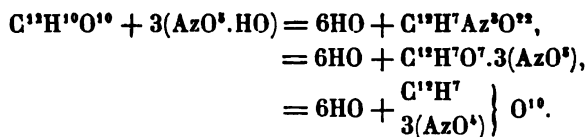
Enfin, on obtient la quantité de cendres en dissolvant la matière dans de l'acide nitrique concentré, évaporant et calcinant le résidu, qui doit varier, d'après Abel, de 0,63 à 1,14 p. 100.

Il est certain que, dans la pratique, le coton-poudre est toujours accompagné d'une certaine proportion de produits étrangers, qui en diffèrent sensiblement par leur solubilité dans l'éther et par leur composition chimique. La formation de ces produits provient, nous l'avons dit (p. 627), de l'élévation de température et surtout du défaut de concentration du mélange des acides. C'est ce qui résulte nettement des expériences suivantes de Hadow :

ÉQUIVALENTS D'EAU AJOUTÉS AU MÉLANGE à équivalents égaux des deux acides.	RENDEMENT p. 100.	PROPRIÉTÉS DU PRODUIT.
0	177,0	Insoluble dans l'éther.
1	176,0	Insoluble.
1 $\frac{1}{2}$	171,7	Peu soluble.
1 $\frac{2}{3}$	166,4	} Complètement soluble.
1 $\frac{3}{4}$	160,5	
2	157,0	Facilement soluble.
2 $\frac{1}{2}$	140,0	Très-facilement soluble.

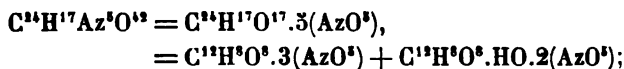
b) Formule et constitution chimiques.

La cellulose a pour formule $C^{12}H^{10}O^{10}$, de même qu'un grand nombre de produits végétaux d'apparence entièrement différente, tels que l'amidon, les gommés, la dextrine, etc. Le coton-poudre dérive de la cellulose, qui constitue le coton ordinaire, par la substitution de 3 équivalents d'acide nitrique à 3 équivalents d'eau, ou plutôt de 3 équivalents d'acide hypoazotique à 3 équivalents d'hydrogène, de sorte que la formule de la réaction peut s'écrire :



Cette formule résulte des analyses exécutées sur le coton-poudre de Lenk et sur celui d'Abel, et concorde avec les rendements obtenus en opérant sur de petites quantités de matière (p. 628).

D'après les analyses faites au Bouchet, Pelouze attribuait au coton-poudre la formule :



mais il avait probablement opéré sur un produit impur.

Károlyi indique, pour le coton-poudre qui lui a servi à déterminer les produits de l'explosion (p. 646), la formule empirique $C^{12}H^{17}Az^3O^{12}$.

Schmidt et Hecker donnent la formule $C^{12}H^{15}Az^3O^{10}$.

Quant aux produits accessoires qui prennent naissance dans les circonstances que nous avons indiquées (p. 639), Hadow croit pou-

voir leur attribuer les formules suivantes, déduites de 3 équivalents de cellulose $C^6H^{10}O^{10}$:



La constitution chimique du coton-poudre est restée longtemps incertaine. On voyait autrefois dans ce corps un simple composé azoté : Béchamp a démontré qu'il représente un véritable éther de l'acide nitrique. Cette opinion repose sur un grand nombre de réactions du coton-poudre. L'acide sulfurique concentré, même à froid, provoque une lente décomposition et met l'acide nitrique en liberté. Des solutions alcalines moyennement concentrées déterminent une formation, lente à la température ordinaire, très-rapide à 60 ou 80°, de nitrates alcalins avec régénération du coton. D'après Béchamp et Guignet, une dissolution d'ammoniaque produit les mêmes résultats; d'après Blondeau, des amides prendraient naissance dans cette dernière réaction. Le protochlorure de fer, d'après Béchamp, les sulfhydrates de potasse et d'ammoniaque, d'après Hadow et Pettenkofer, régénèrent également le coton, tandis que l'acide azotique mis en liberté oxyde le chlorure et transforme les sulfhydrates en nitrates. Ces diverses réactions ne sont compatibles qu'avec l'hypothèse qui fait du coton-poudre un éther de l'acide nitrique.

III. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.

a) Inflammation et décomposition spontanée.

Le coton-poudre a donné lieu, à différentes époques, à des phénomènes de décomposition spontanée qui ont amené des explosions. Les causes de cette instabilité chimique ne sont encore qu'imparfaitement connues, mais il est permis de les rapporter en grande partie à l'impureté de la matière. Il n'est pas douteux que l'on obtient des produits plus stables depuis que l'on a perfectionné le désuintage du coton et les lavages du coton-poudre : il paraît prouvé, en effet, que des traces d'acides et de petites quantités de produits accessoires constituent des germes de décomposition.

Plusieurs observateurs ont cru que du coton-poudre parfaitement pur pouvait se décomposer par suite d'une faible élévation de température. C'est ainsi que de Luca, opérant sur du coton-poudre français, arriva aux résultats les moins favorables : tous les échan-

tillons commençaient à se décomposer à la lumière solaire; la décomposition, une fois commencée, ne pouvait être arrêtée; elle était accélérée, si l'on chauffait légèrement la matière. D'après de Luca, il se dégageait d'abord des gaz, en particulier de l'acide nitreux, la masse diminuait notablement de volume, et le résidu contenait, avec de petites quantités d'une substance azotée et des traces d'acides formique et acétique, un mélange de glucose, d'acide oxalique et de gummosse. A. W. Hofmann fit des observations analogues sur du coton-poudre préparé depuis 43 ans. Ces phénomènes de décomposition semblent dus aux impuretés de la matière, qui se trouvent presque complètement éliminées par les procédés de fabrication actuellement en usage.

Des expériences nombreuses et concluantes ont, en effet, démontré que le coton-poudre de Lenk ou d'Abel jouit d'une grande stabilité. On doit à Abel une remarquable série d'expériences qui ont montré que le coton-poudre de Lenk, exposé à la lumière solaire, ne se décompose jamais : on peut même l'échauffer jusqu'à 90° et le maintenir quelque temps à cette température, sans qu'il subisse aucune altération; des caisses pleines de coton-poudre ont été chauffées pendant 6 mois à 50°, sans que l'on pût observer aucune trace de décomposition. Les expériences de Trauzl ont confirmé ce dernier fait. Abel regarde la question de la stabilité du coton-poudre comme résolue, étant admis que celle-ci est intimement liée à la pureté du produit.

On s'est toutefois constamment préoccupé d'augmenter la stabilité de cette substance, et l'on peut attribuer en grande partie cette préoccupation aux nombreuses explosions qui, à différentes époques (1848-1871), se sont produites avec des matières considérées comme pures.

A cet effet, Abel a conseillé de conserver le coton-poudre à l'état humide (environ 20 p. 100 d'eau) : la manipulation en devient alors absolument inoffensive (Brown), la matière se conserve intacte pendant des années, et il suffit de la soumettre à un nouveau séchage pour lui rendre toutes ses propriétés explosives (p. 637 et 659).

L'emploi du silicate de soude, d'après le procédé de Lenk, donne également une matière plus stable (p. 632).

Une addition de soude caustique produit le même effet : l'acide nitrique mis en liberté se combine avec cette base et la décomposition se trouve arrêtée dès le début. Du coton-poudre, imprégné de

1 p. 100 de soude et exposé 7 heures par jour, pendant 3 mois, à une température de 95 à 100°, n'a pas manifesté la moindre trace d'altération.

Au moment de la fabrication, Prentice imbibait les écheveaux de coton avec de la paraffine; il se servit, plus tard, d'une solution de caoutchouc (on ignore le dissolvant).

Enfin, Bleekrode a proposé un procédé peu pratique, sans doute, mais qui n'en est pas moins remarquable. Ce chimiste avait observé que, si l'on humecte du coton-poudre avec du sulfure de carbone, de la benzine, de l'alcool ou de l'éther, pour en faciliter l'inflammation par l'étincelle électrique, les liqueurs employées seules prennent feu : le coton-poudre offre alors l'aspect d'une masse de neige en fusion. Bleekrode recommande, par suite, d'imprégner le coton-poudre de ces substances, que l'on évapore au moment de l'emploi.

Un produit stable a seul quelque chance de pouvoir être employé avec succès dans la pratique, car de la stabilité de la matière dépendent essentiellement la sécurité des opérations et la régularité des effets obtenus, lorsqu'on en provoque l'explosion.

On peut déterminer l'inflammation ou l'explosion du coton-poudre soit par le choc de deux corps durs, soit par le contact de corps enflammés (p. 645), soit par une élévation de température.

Du coton-poudre progressivement échauffé ne s'enflamme pas au-dessous de 130°, et souvent même dépasse cette température sans prendre feu. En échauffant lentement du coton-poudre placé dans un bain d'huile, Horsley a produit l'inflammation à 163° pour une première espèce, et à 220° pour une seconde. Si l'on chauffe rapidement, la température de l'explosion reste comprise entre 136 et 180°; cette température et la rapidité de la décomposition sont d'ailleurs variables avec la structure du coton-poudre. A Stowmarket, l'explosion à une température supérieure à 172° constitue l'une des conditions de recette des échantillons (p. 661).

δ) Explosions et détonation.

Le coton-poudre possède, comme la plupart des substances explosives (p. 494), les deux ordres d'explosion : dès 1868, Abel constatait l'action du fulminate de mercure sur le coton-poudre comprimé, action déjà signalée par Nobel au sujet de la nitroglycérine (1864). Plus tard, Roux et Sarrau ont montré qu'elle s'appliquait à toutes

les variétés de coton-poudre. Le fulminate d'argent peut également produire la détonation de ce corps.

L'École de pyrotechnie de la marine, à Toulon, a déterminé les conditions de la détonation du coton-poudre par le fulminate de mercure (1870), en opérant sur de petits cylindres de fulmicoton, de poids, de diamètre et de densité variables, au centre desquels on introduisait le fulminate avec ou sans interposition d'enveloppes de nature diverse, et en cherchant, dans chaque cas, la valeur de la charge nécessaire pour produire la détonation. Il résulte de ces expériences que la charge de fulminate décroît à mesure que la densité augmente et que l'épaisseur des parois diminue, de sorte qu'il y a avantage à employer du coton-poudre aussi dense que possible et des cylindres de petites dimensions. En outre, l'interposition d'un tube de clinquant ne paraît pas influencer sur la détonation; un tube en papier d'étain la retarde, et un tube en plume l'empêche absolument.

On a cherché différentes explications de ces phénomènes. D'après Abel, on ne peut en attribuer l'origine ni à la quantité de chaleur développée par le fulminate, ni à une action mécanique quelconque. ni à la soudaineté de l'explosion du fulminate, ni à la grandeur de la force de ce corps. En effet :

1° La détonation du coton-poudre ne peut être produite par des mélanges qui dégagent plus de chaleur que le fulminate; la nitroglycérine, qui se décompose à une température plus élevée, exige moins de fulminate pour détoner à l'air libre; enfin, la détonation par le fulminate a pu être reproduite sous l'eau, en plaçant le coton-poudre à l'abri du contact des gaz enflammés.

2° Si l'on frappe avec un marteau une masse de coton-poudre déposée sur une enclume, on enflamme la partie directement choquée, sans que l'inflammation se communique aux parties avoisinantes.

3° Le fulminate d'argent, dont la détonation propre est plus soudaine que celle du fulminate de mercure, ne produit pas un effet supérieur à celui du fulminate de mercure; l'iodure d'azote, dont l'impressionnabilité est encore plus grande, ne paraît pas pouvoir faire détoner le coton-poudre, et le chlorure d'azote ne réalise la détonation qu'avec une charge 10 fois supérieure à la charge de fulminate.

4° La nitroglycérine, dont la force est au moins égale à celle du fulminate d'argent, ne peut produire la détonation du coton-poudre.

Abel admet que la cause déterminante de la détonation d'un

corps explosif, sous l'action d'un corps placé à côté, réside dans la corrélation ou le synchronisme entre les vibrations produites par le corps qui provoque la détonation et celles que produirait en détonant le premier corps, qui se trouve à un degré élevé de tension chimique : si ce synchronisme est mal réalisé, une plus forte charge est nécessaire pour produire la détonation.

Cette théorie, dite *des vibrations synchrones*, a été pleinement confirmée par les récentes expériences de Champion et Pellet. De l'iodure d'azote, placé sur les cordes d'une contre-basse, n'a détoné que lorsqu'on faisait rendre à celles-ci des sons supérieurs à une note déterminée, d'où l'on a pu conclure qu'il faut, pour la détonation, un minimum de 60 vibrations à la seconde; l'expérience répétée avec des tam-tams chinois a donné les mêmes résultats. Enfin, deux miroirs ayant été disposés en regard à 2^m,50 l'un de l'autre, avec quelques centigrammes de nitroglycérine ou d'iodure d'azote à l'un des foyers et une pareille charge au milieu de l'intervalle, on a fait détoner à l'autre foyer une forte goutte de nitroglycérine : on a ainsi obtenu l'explosion de la charge placée au premier foyer, sans que celle du milieu fût influencée; les radiations calorifiques étaient d'ailleurs absorbées par une couche de noir de fumée qui recouvrait la surface des deux miroirs.

D'après l'hypothèse d'Abel, on peut interpréter les résultats des expériences de Toulon, en admettant qu'un tube en plume ne transmet pas les vibrations du fulminate de mercure, lesquelles sont, au contraire, transmises partiellement par un métal mou, comme l'étain, et intégralement par un métal plus dur, comme le clinquant. Cette théorie permet, en outre, d'expliquer la transmission à distance de la détonation (p. 656).

c) Combustion.

Si l'on enflamme le coton-poudre à l'air libre, par une élévation brusque de température ou par le contact d'un corps en ignition, il brûle sans explosion avec une longue flamme jaune. La vitesse d'inflammation et de combustion est évaluée par Piobert à 8 fois celle de la poudre ordinaire; on peut faire brûler une couche de coton-poudre sur de la poudre à canon, sans que celle-ci ait le temps de s'enflammer. Le coton-poudre brûle sans résidu apparent et sans fumée sensible. La combustion du coton-poudre dans le vide ou sous les pressions faibles présente une grande analogie avec celle

de la poudre dans les mêmes circonstances (p. 457) : Bianchi avait observé que le coton-poudre, brusquement chauffé dans le vide, se consume lentement sans explosion; les expériences de Heeren et d'Abel ont confirmé les résultats de Bianchi et les ont étendus à un grand nombre de substances explosives.

Le dégagement gazeux produit par la combustion du coton-poudre est considérable et explique la puissance des effets obtenus. Quant à la composition des gaz, elle dépend essentiellement des conditions mêmes de l'explosion, comme l'ont montré les diverses analyses qui en ont été faites.

Les expériences les plus récentes et les plus complètes, relatives aux produits de la combustion du coton-poudre, sont dues à Károlyi. Avant lui, Hecker et Schmidt, Teschenmacher et Porret avaient analysé les produits de la combustion effectuée dans le vide : leurs résultats s'écartent notablement de ceux de Károlyi. Ce dernier se proposa de comparer les produits obtenus dans le vide et sous les pressions élevées. Dans le premier cas, il se servait d'un eudiomètre ayant environ 1^m de longueur et muni, à sa partie supérieure, d'un fil de platine auquel étaient assujettis 0^m,015 à 0^m,020 de coton-poudre : il y mettait le feu au moyen de l'étincelle électrique, puis il analysait directement les gaz formés. Dans le second cas, le coton-poudre était introduit dans un petit cylindre en fonte à fermeture hermétique, que l'on plaçait à l'intérieur d'une bombe de 60 livres, d'une capacité de 5^l,216, dans laquelle on avait fait le vide : la charge était enflammée par l'étincelle électrique, le cylindre éclatait à l'intérieur de la bombe, et un tube muni d'un robinet permettait de faire passer les produits gazeux dans un eudiomètre, où ils étaient analysés; des essais préliminaires avaient indiqué la charge de 10^{gr} comme la plus convenable.

La combustion de 1^{gr} de coton-poudre a donné, dans les diverses expériences, les volumes suivants de gaz ramenés à 0^m et 0^m,760 :

Hecker et Schmidt (dans le vide).	588 ^{cc}
Teschenmacher et Porret (dans le vide).	483
Károlyi (sous les pressions élevées).	735

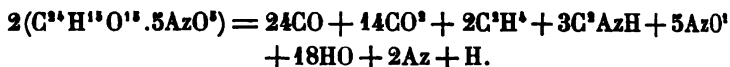
Le tableau suivant présente, en volumes, la composition des produits correspondant à la combustion de 100 parties de coton-poudre. D'après les premiers observateurs, la totalité de ces produits serait gazeuse; d'après Károlyi, on aurait un faible résidu provenant d'une portion du carbone non comburée.

PRODUITS DE LA COMBUSTION.	HECKER ET SCHMIDT.	TESCHEN- MACHER ET PORRET.	KÁROLYI.	
			a	b
	Dans le vide.			Sous les pressions élevées.
Oxyde de carbone.	37,91	19,02	28,55	28,95
Acide carbonique.	13,32	7,63	19,11	20,82
Hydrogène protocarboné (gaz des marais).	»	»	11,17	7,24
Hydrogène bicarboné (gaz oléifiant).	4,63	»	»	»
Cyanogène.	»	3,79	»	»
Bioxyde d'azote.	15,35	18,08	8,83	»
Azote.	4,03	3,82	8,56	12,67
Vapeur d'eau.	24,76	47,66	21,93	25,34
Hydrogène.	»	»	»	3,16
	100,00	100,00	98,15	98,18

La conclusion générale à tirer des analyses de Károlyi est que la nature et la composition des produits gazeux dépendent des conditions de la déflagration, et spécialement de la pression à laquelle ils sont soumis. — Le bioxyde d'azote, dont la présence serait très-nuisible au point de vue de la conservation des armes et à cause de ses propriétés toxiques, disparaît entièrement quand on opère sous les pressions élevées : Károlyi admet qu'à une haute température, le gaz des marais réduit le bioxyde d'azote pour former de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone et de l'eau. Les proportions de ces trois corps semblent, en effet, augmenter avec la pression, tandis que celle de l'hydrogène protocarboné diminue. — L'oxyde de carbone, gaz éminemment délétère, et l'acide carbonique figurent pour moitié environ dans les produits de la combustion : il en résulte que les gaz du coton-poudre sont plus incommodants que ceux de la poudre ordinaire dans l'intérieur des casemates, conclusion confirmée par les expériences de Comorn, en Autriche. — Le résidu solide est, au plus, de 2 p. 100; les produits gazeux se composent principalement d'oxyde de carbone, d'acide carbonique et de vapeur d'eau.

D'après Berthelot, si l'on admet pour le coton-poudre la formule $C^{14}H^{18}O^{18} \cdot 5AzO^5$, qui paraît peu probable (p. 640), on pourrait écrire

la réaction comme il suit :



d) Chaleur de combustion et force.

Nous nous bornerons à extraire des théories générales que nous avons résumées (p. 477-500) les résultats qui se rapportent spécialement au coton-poudre.

Roux et Sarrau ont trouvé expérimentalement (p. 479), pour la chaleur de combustion du coton-poudre fabriqué pendant le siège de Paris (en opérant sur 1⁴) :

$$q = 1\,056^{\text{cal}},$$

tandis que Berthelot indiquait, d'après des considérations théoriques (p. 481) :

$$q = 1\,572^{\text{cal}}.$$

Cette divergence peut s'expliquer par ce fait, que la matière sur laquelle Roux et Sarrau ont opéré contenait une assez forte proportion de coton soluble.

La valeur minimum de la chaleur spécifique théorique du coton-poudre peut être fixée, d'après Sarrau (p. 483), à $c = 0,2314$. On en déduit la limite supérieure de la température absolue de combustion (p. 484) :

$$T_0 = 4850^{\circ}.$$

Les valeurs f_1 et f_2 de la force relative du coton-poudre, correspondant aux explosions des deux ordres, ont été déterminées expérimentalement par Roux et Sarrau (p. 495), qui ont trouvé :

$$f_2 = 3,00, \quad f_1 = 6,46.$$

La première valeur concorde très-approximativement (p. 497) avec celles qui résultent de l'application de la formule théorique de Sarrau (3,06) ou de l'hypothèse de Berthelot (3,90).

Enfin, le potentiel du coton-poudre, déduit de la formule $H = EQ$ (p. 490), a pour valeur :

$$H = 489^{\text{tonneaux-mètres}}.$$

§ IV.

USAGES DU COTON-POUDRE.

I. EMPLOI DANS LES ARMES.

La puissance des effets obtenus par la détonation du coton-poudre et la propriété que possède ce corps de brûler sans résidu et sans fumée ont fait songer de bonne heure à en essayer l'emploi dans les armes à feu. On est arrivé, en Autriche et en Angleterre, à atténuer les effets brisants du coton-poudre à l'intérieur de l'âme, mais sans réussir à le substituer à la poudre ordinaire, comme on l'avait espéré tout d'abord. Les expériences ont même été complètement abandonnées en Autriche, et la fabrication normale de Stowmarket ne se rapporte qu'aux cartouches de mine et de chasse.

Les avantages que présente le coton-poudre, au point de vue du tir dans les armes, peuvent se résumer comme il suit : le recul est diminué, par suite de l'excessive rapidité de l'explosion ; le crassement est à peu près insensible ; enfin, le coton-poudre fait moins écarter les charges de petit plomb. Quant aux inconvénients du produit de fabrication ancienne, ils consistaient dans son action brisante et irrégulière, dans sa structure poreuse et volumineuse, et dans la fréquence des décompositions spontanées qu'on avait observées.

a) Premières expériences.

Les essais de tir entrepris dans les différents pays avec le coton-poudre, aussitôt après sa découverte, montrèrent que le fusil d'infanterie, qui pouvait supporter 3 000 coups de poudre ordinaire, était mis hors d'usage par une moyenne de 500 coups tirés avec une charge équivalente de coton-poudre. Les canons de fusil, qu'on pouvait tirer avec 27^r,5 de poudre, éclataient avec une charge de 7 à 8^r de coton-poudre. D'un autre côté, les effets étaient plus irréguliers et le tir manquait de précision. — Il faut attribuer ces résultats au défaut d'homogénéité et aux inégalités de densité des produits employés. Le coton-poudre ne pouvait pas être mesuré comme la poudre ordinaire : on était obligé de le peser ; de là une réelle difficulté pour la confection des cartouches et des gargousses.

A partir de 1846 furent instituées de nombreuses expériences

destinées à déterminer la valeur balistique du coton-poudre comparée à celle de la poudre. — A Paris, une Commission, présidée par le duc de Montpensier, mesura, à l'aide du fusil-pendule, les vitesses initiales obtenues avec des charges de poudre à mousquet et de coton-poudre croissant progressivement de 1^{re}. Elle trouva que 5^{re} de coton-poudre étaient équivalents à 13 ou 14^{re} de poudre à mousquet; la densité de la matière à laquelle correspondait le maximum de vitesse était de 0,196; enfin, en opérant avec des fusils coupés successivement à 10 longueurs différentes, on constata que la longueur qui donnait la plus grande vitesse initiale était de 49 calibres, et qu'en général la vitesse imprimée au projectile variait peu avec la longueur d'âme. — Le procédé de Séguier, consistant à mesurer l'aplatissement des balles que l'on tirait, paraît manquer de précision; 1 partie de coton-poudre fut trouvée équivalente à 6 parties de poudre de chasse. — D'après Maurey, 3 parties de la première substance correspondent à 5 de la seconde. — Hartmann, au contraire, attribue au coton-poudre une action de 3 à 9 fois supérieure à celle de la poudre, suivant le mode d'emploi. — Enfin, d'après Lenk, le coton-poudre serait de 3 à 6 fois plus puissant que la poudre ordinaire. — Les essais du coton-poudre dans les mines (p. 653) donnèrent des résultats aussi peu concordants, quoique favorables.

L'action brisante du coton-poudre constituait le principal obstacle qui pût s'opposer à son emploi dans les armes à feu. — La Commission française a déterminé, par le calcul, les pressions moyennes exercées sur le projectile par des charges équivalentes de coton-poudre (2^{re}, 86) et de poudre à mousquet (3^{re}). Elle a montré que la pression due au coton-poudre, égale à celle de la poudre pour une longueur d'âme de 64 calibres, lui devenait supérieure lorsque cette longueur diminuait, et se trouvait à peu près double de celle-ci pour une longueur d'âme de 40 calibres. — Uchatius a mesuré, au moyen de son éprouvette (p. 566), les pressions exercées sur les parois internes de l'arme par les gaz de différents pyroxyles et de la poudre à mousquet autrichienne. Il a ainsi obtenu les résultats suivants :

SUBSTANCE EXPLOSIVE.	CHARGE.	VITESSE INITIALE. (Balle conique de 400 ^{es})	PRESSION intérieure.	
Pyroxyles de	scure de bois. .	gr. 0,471	mét. 201	atm. 1195
	tiges de maïs. .	0,455	201	1365
	lin.	0,422	201	1735
	coton.	0,439	201	1820
Poudre à mousquet autrichienne.	1,820	201	458	

Il résulte de ce tableau que 1 partie de coton-poudre donnait la même vitesse initiale que 4 parties de poudre, avec une pression intérieure 4 fois plus forte.

b) Perfectionnements ultérieurs.

On s'est efforcé d'atténuer les propriétés Brisantes du coton-poudre en produisant une diminution de la vitesse de combustion soit par addition d'éléments nouveaux, soit par une modification de la structure même de la substance.

Peleuze recommandait de carder le coton-poudre avec du coton ordinaire, afin d'en diminuer la force dans une certaine proportion; mais les résultats obtenus avec la nouvelle matière furent très-irréguliers. C'est en partant de la même idée que Prentice faisait fabriquer en Hollande du papier, dans la composition duquel entraient une quantité déterminée de coton-poudre: ce papier servait ensuite à la confection de cartouches pour les bouches à feu.

Séguier se proposa d'augmenter la durée de la combustion en ajoutant au coton-poudre des matières moins vives; ses expériences de 1847-1848 avaient pour but de surmonter progressivement l'inertie du projectile et de ne produire l'explosion du coton-poudre qu'après un certain déplacement dans l'âme. Séguier se servait de cartouches métalliques dont la partie antérieure, qu'on enflammait la première, contenait de la poudre de mine, tandis que la partie postérieure était remplie de coton-poudre, ces deux substances correspondant aux deux phases de l'opération que nous venons d'indiquer.

On proposa en même temps de tirer le coton-poudre à une faible densité de chargement; mais ce procédé, peu rationnel et peu pratique, fut bientôt abandonné, et les essais prirent une direction opposée, qui devait être plus féconde en heureux résultats.

Séguier avait déjà recommandé de produire un rapprochement des fibres du coton-poudre à employer dans les armes. De son côté, Lenk adopta, lors de la création de son système d'artillerie au coton-poudre, un dispositif qui, pendant plusieurs années, parut répondre aux besoins de la pratique, au point de vue de la conservation des canons en bronze : un poids déterminé de coton-poudre filé est enroulé sur la surface d'une pièce de bois creuse cylindrique ou conique, fermée à ses deux extrémités. L'inflammation se produit à la partie postérieure, au moyen d'une étoupille à percussion ; dans les premiers instants, elle se propage circulairement autour de la pièce de bois, qui finit par s'écraser sous pression développée : le volume de la chambre se trouve ainsi augmenté, en même temps que la combustion s'achève. On a pu ainsi tirer 1 000 coups dans un canon autrichien de 12 livres ; la charge était de 481^{gr}, et la vitesse initiale, qui était en moyenne de 427^m, présentait une grande régularité.

Les nombreuses expériences d'Abel sur le coton-poudre de Lenk ont également donné les meilleurs résultats. Les cordons qu'il employait, et qui brûlaient avec une vitesse de 1 pied par seconde, étaient soit enroulés, soit enfermés dans un cylindre en carton dur. Outre l'avantage de n'avoir ni fumée ni résidu sensibles, Abel constata que l'échauffement du tube était moindre que par l'emploi de la poudre ordinaire : si l'on tirait 100 coups en 34 minutes au canon de 6 livres, la température du tube s'élevait jusqu'à 50° seulement, tandis qu'avec la poudre ordinaire et dans des conditions d'expérience équivalentes, on était obligé de refroidir la pièce à plusieurs reprises. Le recul de l'arme paraissait également avoir diminué de 1/3 environ de sa valeur. La vitesse initiale correspondant à une charge de 422^{gr} de coton-poudre était de 491^m, tandis que 938^{gr} de poudre ne donnaient qu'une vitesse de 420^m. Enfin, au bout de 1 000 coups, le tube ne semblait avoir subi aucune détérioration.

Le coton-poudre comprimé d'Abel paraissait destiné à remplacer utilement la poudre noire dans le tir des bouches à feu : on peut, en effet, donner à la masse telle forme et telle densité que l'on veut, et régler le mode de production des gaz par l'introduction de canaux en nombre convenable.

En 1868, l'usine de Stowmarket produisait, en pleine fabrication, 16 000 pièces de cartouches par jour. Les douilles de ces cartouches sont elles-mêmes formées de coton-poudre fortement comprimé,

qu'on recouvre d'une mince couche de gutta-percha, destinée à le préserver de l'humidité. Le mode de combustion du coton-poudre comprimé est extrêmement variable suivant les circonstances de son inflammation; à l'air libre, il se consume progressivement et par couches, comme une galette de poudre à combustion lente. D'après Abel, il est impossible de le faire détoner par le choc; on peut le trouer par une balle de fusil sans en provoquer l'explosion. Mais si on l'enflamme à l'aide d'une amorce, il détone avec une puissance qui est de 10 à 12 fois celle de la poudre ordinaire (cf. p. 495).

II. EMPLOI DANS LES MINES.

a) Premières expériences.

Les essais entrepris dès 1847 pour employer le coton-poudre dans les mines ont été assez heureux.

Hall et Sohn ont trouvé, en opérant sur des grès et sur des roches argileuses, que 1 partie de coton-poudre produisait le même effet que 6 parties de poudre. Pour des roches dures, Reindl regarde 1 de coton-poudre comme correspondant à 8 de poudre noire. La Commission française (p. 650) a indiqué, pour les roches tendres, le rapport de 1 à 4, tandis qu'Abel arrive, avec le coton-poudre de Lenk, au rapport de 1 à 6,27. Enfin, d'après Uchatius, le travail effectué par 1 partie de coton-poudre est équivalent à celui que fourniraient 2,7 à 4,15 parties de poudre ordinaire, suivant les conditions de l'expérience.

Tous les observateurs ont d'ailleurs remarqué que les effets sont notablement plus puissants dans les roches compactes que dans les roches tendres ou crevassées; et c'est à cette circonstance, en même temps qu'à la différence des produits employés, qu'il faut attribuer la divergence des résultats obtenus.

b) Mode d'emploi.

On emploie le coton-poudre soit seul, soit mélangé à d'autres substances.

Dans le premier cas, on le mettait autrefois sous la forme de fortes cordes tressées, creuses, de 0^m,05 environ, que l'on découpait en morceaux plus ou moins longs, suivant les besoins. Dans les expériences de Comorn, Oppermann se servit de cartouches qui se

composaient de fils de coton-poudre enroulés les uns sur les autres; elles pesaient 62^r et mesuraient 0^m,407 de long sur 0^m,026 de diamètre. On employa également avec succès, pour les travaux des fortifications de Vienne, des cartouches percées d'un trou central et qui, bien qu'elles ne continssent que 46^r de coton-poudre, produisaient les mêmes effets que les précédentes. — La fabrique de Stowmarket livre, pour les travaux de mine, des cartouches cylindriques, ayant 0^m,020 à 0^m,052 de diamètre sur 0^m,026 à 0^m,078 de hauteur et percées d'un trou central, de 4^{mm},5 de diamètre environ, destiné à recevoir l'amorce. Le moule peut porter plusieurs broches, afin d'augmenter le nombre des cavités et, par suite, la rapidité de combustion de la cartouche. Chaque cylindre, contenu dans une enveloppe de papier parchemin, est séché à 60°.

Les substances que l'on a proposé d'ajouter au coton-poudre devaient en rendre la combustion plus complète, en lui fournissant l'oxygène nécessaire pour brûler la totalité du carbone et de l'hydrogène. — Coxthupe et Caldwell plongent le coton-poudre pendant 15 minutes dans une dissolution de chlorate de potasse; ils le font ensuite sécher. — Combes mélange 5 parties de coton-poudre soit avec 4 parties de chlorate de potasse, soit avec 4 parties de salpêtre ou 3,5 parties de nitrate de soude; le mélange ainsi obtenu correspondait, au point de vue des effets, à 9 parties de coton-poudre ou à 30 parties de poudre noire. Il n'est pas dit si l'emploi de ces substances augmente les dangers de fabrication et de maniement. Ce dernier point avait son importance à l'époque où l'on était obligé de bourrer les trous de mine. — Enfin, le *coton-poudre nitraté* d'Abel s'obtient en mélangeant du coton-poudre très-divisé avec du salpêtre en poudre fine et de l'eau saturée de salpêtre, puis en comprimant la masse comme à l'ordinaire. Ce produit donne, à poids égal, des effets semblables, et, à volume égal, des effets supérieurs à ceux du coton-poudre pur. Il paraît agir comme une poudre moins brisante et présente surtout de sérieux avantages économiques, puisqu'il renferme, pour 2/3 de coton-poudre, 1/3 de salpêtre, dont le prix de revient est 4 fois moindre; on emploie également un mélange de 1 de coton-poudre pour 1 de salpêtre.

c) Amorces fulminantes.

Les dimensions des trous de mine varient suivant les terrains où l'on doit opérer et suivant les charges à employer. A Comora,

par exemple, la charge était de 180 à 240^{gr} de coton-poudre, et le trou de mine avait 0^m,060 à 0^m,065 de diamètre; quant à la hauteur, elle était calculée de manière à laisser un espace libre de 0^m,30 pour le tampon et le bourrage. L'inflammation était produite, comme à l'ordinaire, soit par l'étincelle électrique, soit au moyen d'un cordeau porte-feu qui, formé lui-même de coton-poudre, était entouré d'une enveloppe étanche, sauf à l'intérieur de la cartouche, à laquelle il aboutissait.

On a récemment adopté un mode d'inflammation spécial, déjà proposé par Nobel pour la nitroglycérine (1864), qui, en même temps qu'il facilite l'emploi du coton-poudre dans les travaux de mine, en rend les effets plus puissants. Le principe de ce nouveau dispositif consiste à produire, autant que possible, l'explosion instantanée de toute la masse de la charge; ce résultat s'obtient soit à l'aide d'une capsule à charge triple ou encore plus forte, soit plutôt à l'aide d'une amorce fulminante. Cette dernière (*fig. 86*) consiste en

Fig. 86.



un tube en cuivre légèrement conique, qui contient à sa partie inférieure *ab* une composition fulminante, à sa partie supérieure *bc* du coton-poudre en flocons, et à l'une des extrémités duquel aboutit le cordeau porte-feu.

Abel a montré qu'il suffit de 1^{gr},3 de fulminate de mercure pour produire la détonation de la charge, même en plaçant l'amorce à 0^m,01 ou 0^m,02 de la surface supérieure du coton-poudre ou en interposant une couche d'eau de 0^m,01 d'épaisseur (p. 644). Nous avons vu que, dans ces circonstances, la détonation du coton-poudre se produit même à l'air libre; dans les trous de mine, les effets deviennent infiniment plus puissants, à tel point que tout bourrage devient inutile, par suite de l'instantanéité du phénomène.

Les amorces fulminantes sont employées de la manière suivante. On remplit le trou de mine, jusqu'à la hauteur prescrite, avec des cylindres de coton-poudre tels que ceux que nous avons décrits (p. 654); ces derniers doivent pouvoir s'introduire sans trop de frottement, afin d'éviter tout danger. Il est indispensable de laisser un certain jeu, bien que celui-ci ne puisse que diminuer l'effet à obtenir. L'amorce *d* (*fig. 87*), munie de la mèche *c*, est alors solidement fixée dans la cavité centrale d'une petite cartouche-amorce *ab*, que l'on place à la partie supérieure de la charge.

Les essais exécutés par cette méthode à Chatham et à Woolwich

ont donné les plus brillants résultats. De petites quantités de coton-poudre comprimé ont suffi pour rompre des blocs de granit et des plaques de fer, pour abattre des murailles ou détruire des palissades; les expériences sous-marines ont également bien réussi, à la condition que les diverses parties de l'appareil fussent entourées d'une enveloppe parfaitement étanche. D'après Abel, l'effet produit par ce mode d'inflammation serait double de l'effet obtenu par la méthode ordinaire.



Il résulte, en outre, des expériences anglaises qu'il faut se garder de faire les trous de mine trop profonds : en opérant sur des trous qui avaient respectivement 1^m, 0^m,785, et 0^m,419 de profondeur, on a constaté que, pour le premier, une charge de 116^g de coton-poudre comprimé produisait le même effet que 7 fois son poids de poudre, tandis que, pour le second, une charge de 58^g de coton-poudre était équivalente à 9 fois son poids de poudre, et que, pour le troisième, une charge de 17^g de coton-poudre correspondait à 10 fois son poids de poudre.

Les expériences de l'École de pyrotechnie de Toulon ont enfin démontré qu'il n'est pas nécessaire d'établir le contact des divers cylindres constituant la charge. Ainsi, on a pu produire l'explosion simultanée de 13 petits cylindres espacés de 0^m,015 en 0^m,015, en amorçant seulement le dernier et le faisant détoner; il en était de même quand on les recouvrait de papier-parchemin. L'explosion a encore eu lieu simultanément pour 4 cylindres adossés à des écrans en fer-blanc, de 0^m,0005 d'épaisseur sur 0^m,12 de hauteur, et espacés entre eux de 0^m,04 : il suffisait de faire détoner un cinquième cylindre à 0^m,015 en avant du premier écran. La théorie des vibrations synchrones (p. 645) permet d'expliquer ces phénomènes.

En résumé, l'introduction des amorces fulminantes n'a pas seulement accru dans une proportion considérable les effets brisants du coton-poudre : elle a encore facilité le travail en supprimant le bourrage, et il est aisé, dès aujourd'hui, de prévoir que le coton-poudre est appelé à jouer un rôle prépondérant dans les travaux de mine. Le principal obstacle réside actuellement dans le prix élevé des amorces qui doivent contenir une forte charge : d'après Trauzl, une

charge de 50^l de coton-poudre exige une amorce de 30 thalers environ (112^r,50); on s'explique ainsi que les amorces fulminantes soient encore assez peu répandues. Quoi qu'il en soit, le coton-poudre peut lutter, non sans avantage, avec la nitroglycérine et ses différents dérivés.

III. USAGES DIVERS.

Le coton-poudre est aujourd'hui employé en Angleterre pour le chargement des torpilles et des projectiles creux; pour ces derniers, on le découpe en bandes ou en anneaux cylindriques. Les torpilles fabriquées à Woolwich reçoivent des charges de 50^l, 125^l et 250^l de coton-poudre.

En Autriche, les obus de 3, 4 et 8 livres, qui ont été employés pendant quelque temps, étaient respectivement chargés avec 41^r,5, 50^r et 116^r,5 de coton-poudre; ils se brisaient en 100 à 120 morceaux, tandis qu'avec la poudre ordinaire, dans des conditions analogues, le nombre des éclats dépassait rarement 40.

Abel a cherché à appliquer le coton-poudre à la composition des artifices; il a obtenu d'assez beaux effets en imbibant cette substance de diverses solutions salines qui donnent à la flamme des colorations déterminées. L'absence de fumée permet d'exécuter les essais dans une chambre.

Böttger recommande le coton-poudre comme un filtre excellent pour les acides forts, les alcalis et les dissolutions facilement décomposables (par exemple, le permanganate de potasse).

Nous signalerons enfin l'emploi du coton-poudre dans les expériences d'électricité, comme substance isolante (Bowman), dans la pyrotechnie, pour la confection des mèches de sûreté, et dans la teinture, pour la fabrication des tissus pyroxylés.

IV. CONCLUSION.

Des diverses expériences que nous venons de rapporter, au sujet de l'emploi du coton-poudre dans les armes ou dans les mines, il est assez difficile de tirer une conclusion générale. Les essais exécutés à l'origine sont loin d'être concluants, parce que l'on se servait de produits le plus souvent impurs: ce n'est qu'après l'introduction

des importants perfectionnements de Lenk et d'Abel que l'on a pu réellement comparer les effets du coton-poudre avec ceux de la poudre ordinaire et des autres substances explosives.

La supériorité du coton-poudre pour les travaux de mine est évidente. La matière en flocons avait l'inconvénient d'occuper un assez grand volume : il n'en est plus de même aujourd'hui avec le coton-poudre comprimé. Ce dernier, enflammé par une amorce fulminante, produit des effets 10 fois plus puissants que ceux de la poudre ordinaire ; par suite, le nombre des trous de mine nécessaires pour réaliser un travail déterminé devient moins considérable : de là, une double économie de temps et de main-d'œuvre qui, malgré le prix élevé de la matière explosive, abaisse de moitié les frais généraux de l'opération. En outre, la combustion du coton-poudre s'effectue toujours sans trace de fumée : cet avantage est particulièrement appréciable dans les carrières creusées à une grande profondeur, où la ventilation devient difficile et que la fumée de la poudre rend pendant longtemps inabordables ; aussi le coton-poudre est-il, pour cette raison, presque exclusivement employé dans un grand nombre d'exploitations, et spécialement en Californie. Souvent, il est vrai, les ouvriers qui travaillent dans les galeries se sont plaints de maux de tête, de gorge ou de poitrine, causés par les produits de l'explosion ; mais il est reconnu que ces inconvénients n'existent que dans le cas d'une combustion incomplète. Enfin, d'après plusieurs observateurs, on obtient, par l'emploi du coton-poudre dans les masses rocheuses plus de fentes et de crevasses, et moins de projections que par l'emploi de la poudre ordinaire ; quant au dépôt noirâtre sur les parties voisines de l'explosion, particulièrement désavantageux dans les mines de sel gemme, par exemple, il est nul ou absolument insensible.

Les avantages du coton-poudre au point de vue du tir dans les armes à feu sont plus contestés. Toutefois, les inconvénients qu'on lui reprochait jadis avec raison, instabilité, action brisante et irrégulière, ont aujourd'hui en partie disparu, et l'on peut espérer de les voir bientôt complètement éliminés.

Au point de vue de la conservation et des transports, le coton-poudre présente déjà, comme nous allons le montrer, toutes les garanties désirables.

§ V.

GÉNÉRALITÉS SUR LE COTON-POUDRE.

I. CONSERVATION ET TRANSPORTS.

Le coton-poudre préparé par le procédé de Lenk était empaqueté à l'état de flocons poreux et peu serrés dans des caisses doublées de papier, jusqu'au moment de la confection des cartouches ; celles-ci étaient elles-mêmes conservées dans des caisses légères remplies de sciure de bois.

Le coton-poudre comprimé d'Abel est renfermé dans de solides caisses en bois d'orme de 0^m,019 d'épaisseur. Des expériences exécutées à Cliff-End (1872) ont montré que, si l'on met le feu à une pile de caisses réglementaires remplies de coton-poudre, il se produit une violente explosion ; mais, si l'on place la matière dans des caisses légères en sapin, la combustion s'effectue sans provoquer aucune détonation. Wilson et Prentice ont également prouvé qu'une caisse faite en bois léger et contenant 125 charges de coton-poudre comprimé, qui représentent 250^l de poudre, brûle sans explosion en 1/2 minute, à peu près comme un tas de paille.

Quant aux transports, pour lesquels il existait autrefois des prescriptions minutieuses, Wilson et Prentice ont encore montré que les précautions prises relativement à la poudre ordinaire sont parfaitement suffisantes dans le cas du coton-poudre. Des chargements de coton-poudre, écrasés par des wagons à charbon, s'enflammaient quelquefois, et le passage d'une locomotive produisait toujours l'explosion ; mais, même dans ce dernier cas, la partie choquée détonait seule, tandis que le reste s'éteignait graduellement.

Nous avons indiqué (p. 642) les diverses méthodes proposées pour rendre inexplosible le coton-poudre, même conservé en grandes masses ; nous insisterons sur celle qui est à la fois la plus remarquable et la plus pratique, et qui consiste à imprégner le coton-poudre d'une quantité d'eau déterminée.

Une série d'expériences a été exécutée, à Cliff-End et à Langley, sur du coton-poudre imprégné d'eau d'après le procédé d'Abel. Un hangar, sous lequel on avait disposé 2 piles de 12 caisses de coton-poudre contenant de 20 à 25 p. 100 d'eau, a pu être consumé, ainsi que les caisses, tandis que le coton-poudre n'était pas même

enflammé ou n'avait brûlé qu'en petite quantité; une masse de 80 caisses, formant environ 1000^e de matière à 23 p. 100 d'humidité, est également restée intacte au milieu d'un incendie de 2 heures, provoqué dans les conditions les plus défavorables pour le coton-poudre. Aussi la Commission chargée de procéder aux expériences a-t-elle conclu que le coton-poudre humide est exempt de tout danger d'inflammation, et que le transport et l'emmagasinage de cette substance n'exigent pas de précautions spéciales autres que celles qui s'appliquent à la poudre ordinaire.

La proportion d'eau que doit absorber le coton-poudre paraît être d'environ 20 p. 100. Il suffit, à cet effet, de le plonger dans l'eau pendant 1/2 minute, de l'égoutter et de l'enfermer dans des caisses rectangulaires en bois, munies d'un couvercle fixé par des vis en cuivre et revêtues intérieurement d'un enduit hydrofuge formé de glu marine siccativ; sur les joints sont collées des bandes de papier goudronné, afin d'éviter la perte d'humidité par l'évaporation. Tous les 3 mois, on introduit de l'eau dans les caisses, et on la laisse s'écouler au bout de quelque temps par un robinet placé à la partie inférieure.

D'après Abel, on peut produire l'explosion du coton-poudre comprimé, contenant de 15 à 20 p. 100 d'eau, en enflammant une quantité de coton-poudre sec qui ne doit pas être inférieure à 8^e,75, et les effets brisants ne sont pas altérés par la proportion d'humidité qui rend la substance directement ininflammable.

II. ÉPREUVES.

Bien que le coton-poudre soit soumis, dans les fabriques mêmes, à une série d'épreuves de réception, il y aurait intérêt à posséder un moyen sûr et rapide d'en déterminer le degré de pureté et surtout d'y constater l'introduction d'une petite quantité de coton ordinaire.

Kindt recommande de traiter la matière par une dissolution d'iode dans l'iodure de potassium, et de l'humecter ensuite avec de l'acide sulfurique étendu : on obtient ainsi une coloration bleue pour le coton ordinaire, jaune pour le coton-poudre, et l'examen au microscope permet de découvrir des traces de la première substance. On peut encore regarder l'échantillon à la lumière polarisée : les par-

ties brillantes et irisées indiqueront la présence de coton ordinaire (p. 636).

Le coton-poudre fabriqué à Stowmarket est soumis à une épreuve destinée à vérifier ses propriétés balistiques. En outre, si l'on augmente progressivement sa température, l'explosion ne doit se produire qu'à une température supérieure à 172°. On lui fait enfin subir la série des épreuves suivantes :

Examen physique. — Les carreaux, disques ou cylindres ne doivent pas avoir de tendance à se fendre ou à s'ouvrir; les arêtes doivent être légèrement adoucies. On n'y doit trouver ni graines ni particules de coton non converti. Les dimensions extérieures et intérieures sont vérifiées, en tenant compte des tolérances, au moyen de lunettes, calibres et mandrins convenables, la matière étant ramenée à 25 p. 100 d'humidité environ.

Densité. — La densité du coton-poudre sec doit être au moins égale à 1; le volume est calculé d'après la mesure des dimensions géométriques.

Humidité. — Le coton-poudre est desséché à une température inférieure à 60°. On obtient le poids net moyen de la réception en pesant un échantillon préalablement desséché et exposé pendant 2^h à l'air libre.

Incinération. — Une petite quantité (2^g) de coton-poudre pulvérisé, chauffé et brûlé dans une capsule, ne doit pas donner un résidu de plus de 4 p. 100.

Alcalinité. — Une quantité de 2^g de coton-poudre divisé et séché à l'air est traitée par 10^{cc} d'une liqueur acide-type, obtenue en étendant jusqu'à 1'20" d'une dissolution d'acide chlorhydrique à 19° B.; elle est ensuite décantée et lavée, jusqu'à ce que les eaux de lavage n'accusent plus de réaction acide, ce qu'on reconnaît à l'aide du nitrate d'argent. On dose, dans la dissolution ainsi formée, la quantité de carbonate de soude au moyen d'une liqueur alcaline-type, en opérant comparativement sur 10^{cc} de la liqueur acide-type étendus au même volume. Le titre trouvé doit être compris entre 2 et 4 p. 100.

Solubilité. — On fait digérer, pendant 2^h au moins et à deux reprises différentes, 3^g de coton-poudre lavé à l'eau distillée et séché avec 100^{cc} d'un mélange de 1 partie d'alcool à 40° B. et 2 parties d'éther rectifié. La matière est alors filtrée, comprimée entre deux couches de papier à filtre, séchée, exposée pendant 2^h à l'air

libre et pesée : la perte de poids ne doit pas dépasser 13,33 p. 100.

Chaleur. — On introduit 1^{re},3 de coton-poudre lavé et séché dans un tube d'épreuve, ayant au moins 0^m,12 de longueur sur 0^m,015 de diamètre environ, où on le tasse légèrement; ce tube est fermé par un bouchon que traverse une baguette de verre terminée par un crochet. A ce crochet est suspendu un papier d'épreuve, que l'on a préparé en plongeant du papier à filtre blanc dans un mélange à volumes égaux de deux dissolutions de 3^{re} d'amidon blanc et de 1^{re} d'iodure de potassium, puis en le faisant égoutter et sécher : à la partie supérieure est appliquée 1 goutte d'eau distillée contenant 1/10 de glycérine, qui trace une ligne de démarcation vers le milieu du papier. Le tube d'épreuve est introduit, à travers un couvercle en fer-blanc ou en cuivre, à l'intérieur d'un ballon sphérique en verre, ayant 0^m,20 de diamètre et rempli d'eau à la température de 65°. Au bout de 5 à 6^{ms}, on abaisse la baguette de verre, qui avait été maintenue à la partie supérieure du tube, et l'on observe attentivement le papier, jusqu'au moment où l'on voit apparaître une très-faible coloration brune sur la ligne de démarcation. Ce phénomène doit se produire au plus tôt 10^{ms} après l'introduction du tube dans l'eau à 65°.

III. PRODUCTION ET PRIX DE REVIENT.

La fabrique anglaise de Stowmarket produisait, en 1871, 8000 à 10000^k de coton-poudre comprimé par semaine; ce produit coûtait 5^{fr} (1 thaler 1/3) le kilogramme, tandis que le coton-poudre fabriqué en France, en 1848, revenait à près de 7^{fr} (1 thaler 5/6).

Il est permis d'espérer que la concurrence et l'accroissement de la consommation contribueront, dans un avenir prochain, à abaisser le prix de vente relativement élevé d'une substance explosive qui présente un si grand intérêt au double point de vue de la pyrotechnie civile et de la pyrotechnie militaire.

APPENDICE.

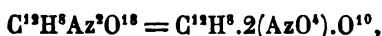
COLLODION.

a) Historique.

On désigne sous le nom de *collodion* une variété de coton-poudre qui s'obtient également, mais dans des conditions un peu différentes, par l'action de l'acide nitrique sur le coton ordinaire.

Ménard et Flores Domonte ont, les premiers, obtenu un produit soluble dans l'éther alcoolisé. Ils attribuaient au collodion et au coton-poudre deux formules différentes : $C^{22}H^{18}Az^2O^{18}$, pour le premier; $C^{24}H^{16}Az^2O^{18}$, pour le second. Mais les expériences sur lesquelles ils s'appuyaient paraissent manquer de précision.

Béchamp a donné au collodion la formule :



qui s'accorde suffisamment avec les résultats de ses analyses, comme le montre le tableau suivant :

ÉLÉMENTS.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.	
	Trouvée.	Calculée.
Carbone.	28,22	28,57
Hydrogène.	3,57	3,17
Azote.	10,78	11,11
Oxygène.	57,43	57,15

Dès 1847, fut importée d'Amérique une liqueur connue sous le nom de *collodion*, qui rendait de grands services en chirurgie.

Sourisseau et Lepage ont indiqué le mode de production suivant : si l'on fait digérer du coton-poudre dans de l'éther additionné d'un peu d'alcool, on obtient, par une agitation fréquente, une dissolution qu'on peut filtrer et qui, évaporée, laisse un résidu membraneux et transparent de collodion.

On ne tarda pas à reconnaître que toutes les variétés de coton-

poudre n'étaient pas également propres à la préparation du collodion. L'espèce la plus explosible se distingue par son insolubilité; on peut toutefois, d'après Mann, la transformer en une variété soluble en la reprenant par un mélange convenable d'acides. On obtient l'espèce de coton-poudre la mieux appropriée en employant un mélange acide étendu (p. 639) ou un mélange de salpêtre et d'acide sulfurique, comme le montre l'exposé des divers procédés de fabrication.

b) Fabrication.

Dawson paraît attacher une importance spéciale à la qualité du coton et à la longueur de ses filaments : le coton égyptien et l'espèce dite *Sea Island* réalisent parfaitement cette dernière condition. Des essais exécutés sur des espèces plus petites n'ont pas donné les résultats cherchés.

Mann recommande d'employer, pour 1 partie de coton, l'un des deux mélanges suivants :

Salpêtre.	30 parties.		Nitrate de soude.	34 parties.
Acide sulfurique (dens. 1,83):	31 —		Acide sulfurique (dens. 1,80).	66 —

Le coton et les sels peuvent être préalablement humectés. Les sels sont pulvérisés et versés dans l'acide sulfurique, puis on refroidit le mélange jusqu'à 28 ou 30°, et l'on y plonge le coton. La réaction n'est terminée qu'au bout de quelques jours; on peut cependant, après 40 minutes d'immersion, recueillir un produit utilisable. Ce dernier est retiré et lavé, d'abord à l'eau froide, puis à l'eau bouillante, pour enlever les dernières traces de sulfate alcalin.

Luchs prépare, dans un vase en terre, un mélange composé de 9^e de salpêtre brut anglais, concassé en morceaux, et de 20^e d'acide sulfurique ordinaire. Au bout de 40 minutes environ, il plonge peu à peu, dans la bouillie ainsi formée, 1^e de coton en flocons de la grosseur du poing, puis il agite vivement pour assurer l'uniformité de la réaction; celle-ci se trouve terminée lorsqu'un échantillon se dissout, après lavage, dans l'éther alcoolisé. Le produit est alors lavé à grande eau, séché entre des toiles et plongé pendant 24^e dans l'alcool, qui lui enlève sa coloration jaune; on extrait ensuite ce liquide par la compression. Le collodion ainsi préparé se dissout dans un mélange de 15 à 20 parties d'éther (densité 0,73) avec 2 parties d'alcool à 90 p. 100.

Hadow a proposé le mélange acide suivant, actuellement employé

en Allemagne pour les usages pharmaceutiques :

Acide nitrique (densité 1,424)	89 parties.
Acide sulfurique (densité 1,833)	104 —

Mann emploie les proportions suivantes, correspondant à 1 partie de coton :

Acide nitrique (densité 1,512 à 1,518)	12 parties.
Acide sulfurique (densité 1,632)	13 —

Le mélange est refroidi jusqu'à 5°, et l'on y laisse séjourner le coton pendant 24^h ; la température ne doit pas dépasser 8°. Le produit est lavé à grande eau et séché.

Mann a également proposé de plonger le coton pendant 10 minutes dans un mélange de parties égales d'acide nitrique (densité 1,42) et d'acide sulfurique (densité 1,83) à la température de 60°, l'opération se terminant comme dans le premier cas. Ce procédé se recommande par sa rapidité.

D'après A. Vogel, on obtient un produit propre à être employé dans la photographie en dissolvant 30^{gr} de salpêtre dans 30^{gr} d'acide sulfurique anglais, plongeant 2^{gr} de coton dans la liqueur, agitant pendant 5 minutes, lavant le produit d'abord à grande eau, puis à l'alcool, et faisant sécher. Si l'on traite une trop grande quantité de coton à la fois, la matière éprouve fréquemment une modification qu'on peut mettre en évidence à l'aide de la lumière polarisée.

c) Propriétés.

La solubilité du collodion sec varie suivant le mode de préparation ; un bon produit doit se dissoudre entièrement dans 7 à 8 parties d'éther additionnées de 1 partie d'alcool. Le collodion ainsi obtenu présente une consistance sirupeuse : on l'étend encore avec de l'éther. Si la dissolution n'était pas complète, on filtrerait la liqueur sur de la gaze, du papier à filtre ou du coton.

d) Usages.

Le collodion est employé principalement en chirurgie et en photographie.

Le collodion sec possède la propriété d'adhérer fortement à la peau ; il est éminemment propre, par sa contractilité, à réunir les

bords des blessures ; en outre, la membrane adhérente réalise une fermeture qui préserve la plaie de l'accès de l'air et de l'humidité. D'après Luras, on obtient une substance parfaitement élastique par le procédé suivant : on prépare une dissolution de 2 parties de térébenthine de Venise, 2 d'huile de ricin et 2 de cire blanche dans 6 parties d'éther, et on la mélange avec une dissolution de 8 parties de collodion sec dans 125 parties d'éther et 8 d'alcool (collodion riciné).

Le collodion sert à préparer les plaques et les papiers photographiques, et ne pourrait être que très-difficilement remplacé par un autre corps.

On emploie également le collodion pour envelopper certaines substances corrosives : c'est ainsi qu'on prépare le *collodium corrosivum* pour le protochlorure de mercure, et le *collodium cantharidale* pour la teinture de cantharides éthérique. — D'après Strohlberger, le collodion peut préserver les objets d'argent de l'oxydation : il suffit de les chauffer légèrement et de les enduire d'une couche mince et régulière de ce liquide. — En Amérique, on utilise les plaques de collodion pour la confection de râteliers artificiels. — Avec du collodion imparfaitement séché, Kneffel a pu obtenir des reproductions de lettres imprimées, très-distinctement visibles par transparence. — Le collodion sert encore à la fabrication des ballons légers : à cet effet, on en humecte complètement l'intérieur d'un ballon de verre ; après évaporation de l'éther, la membrane adhérente à la paroi peut s'enlever facilement. Un ballon de 100^{cc} pèse environ 0^{gr},03. — On recouvre souvent certaines pilules d'une pellicule de collodion, pour leur enlever toute saveur. — Nous avons mentionné plus haut (p. 605) les essais d'application du collodion pour préserver les poudres de l'humidité.

B.

AUTRES PYROXYLES.

Le paragraphe précédent se rapporte à un pyroxyle obtenu par la nitrification du coton, lequel se compose de cellulose presque pure, souillée seulement par des matières grasses. Nous allons nous oc-

cuper de quelques autres pyroxyles, beaucoup moins importants au point de vue technique, qui résultent du traitement de substances cellulosiques moins pures : le papier, le bois, l'amidon.

§ I.

PYROXYLE A BASE DE PAPIER.

Le *papier fulminant* ou *pyropapier* s'obtient en plongeant, pendant 2 minutes, du papier végétal non collé dans un mélange à volumes égaux d'acide nitrique et d'acide sulfurique. La matière est lavée à grande eau, puis avec une dissolution ammoniacale, et finalement à l'eau pure ; elle est ensuite séchée.

Le papier fulminant a été employé comme amorce du fusil à aiguille.

§ II.

PYROXYLES A BASE DE BOIS.

I. POUDRE BLANCHE DE SCHULTZE.

La fabrication de la poudre blanche livrée au commerce, depuis quelques années, par le capitaine d'artillerie E. Schultze, à Potsdam, et destinée à la fois aux travaux de mine et au tir dans les armes, repose sur la nitrification du bois.

La première opération consiste à débarrasser le plus possible la matière de ses impuretés, et spécialement des sucres qu'elle renferme. On débite le bois dur en feuilles minces, d'une épaisseur correspondant à la grosseur du grain à obtenir ; ces feuilles sont ensuite découpées à l'emporte-pièce en petits morceaux réguliers. La matière est alors soumise à plusieurs ébullitions successives dans des lessives faibles de carbonate de soude, lavée à grande eau, reprise par la vapeur dans des caisses perforées, lavée à l'eau et séchée, blanchie par le chlorure de chaux, reprise par l'eau bouillante et séchée :

c'est à cet état qu'on l'introduit dans le mélange acide. On plonge 6 parties de la matière dans 100 parties d'un mélange ainsi composé :

Acide nitrique (densité 1,48 à 1,50).	28,5
Acide sulfurique (densité 1,84).	71,5

On agite pendant 2 ou 3 heures, en ayant soin de maintenir le liquide constamment froid. La plus grande partie des acides est ensuite enlevée par un essorage à la turbine; le produit est alors plongé dans l'eau pendant 2 ou 3 jours, traité par une dissolution faible de soude, lavé de nouveau et séché. Enfin, pour augmenter la puissance explosive du pyroxyle ainsi obtenu, on le plonge, pendant 1/4 d'heure, dans une dissolution de salpêtre, à laquelle on peut ajouter de l'azotate de baryte ou du prussiate jaune de potasse : on emploie 100 parties de pyroxyle pour 26 de salpêtre, ou pour 30 parties d'un mélange composé de 22,5 de salpêtre et de 7,5 d'azotate de baryte, avec 220 parties d'eau; la masse retirée est desséchée pendant 12 à 18 heures, à une température comprise entre 32 et 44°. — Pour éviter tout danger, Schultze recommande d'humecter la matière avant de l'emmagasiner, et de la dessécher au moment de l'emploi.

D'après Schultze, ce pyroxyle a une force qui représente 2 à 3 fois celle de la poudre ordinaire. Il brûle sans fumée et laisse très-peu de résidu; les gaz produits n'attaquent pas les organes de la respiration.

L'expérience n'a pas confirmé ces assertions. — Des essais de tir, exécutés en Suisse avec la nouvelle poudre, n'ont pas été couronnés de succès : 49^m,5 de la poudre blanche donnaient, il est vrai, au globe du mortier-épreuve la même portée que 92^m de poudre noire, mais ces portées étaient très-irrégulières; en outre, la densité étant 2,5 à 3,5 fois plus faible que celle de la poudre ordinaire, il fallait, pour obtenir le même effet, employer un volume plus grand de matière. Les essais de tir dans des carabines ne furent pas plus heureux : on avait, sans doute, peu de fumée et un faible résidu; mais celui-ci était difficile à enlever, et, pour peu que l'arme fût mal graissée, on éprouvait bientôt de grandes difficultés pour opérer le chargement. — L'emploi de la poudre Schultze dans les mines, tenté à Saarbrück et à Mansfeld, a donné de meilleurs résultats, bien qu'elle ne paraisse présenter, pour cet usage, aucune

supériorité sur la poudre ordinaire. Il faut toutefois reconnaître que la faible quantité de gaz dégagés cause de moins longues interruptions dans l'exploitation de la mine. Quant aux frais, ils semblent égaux ceux de la poudre noire. Quoi qu'il en soit, le prix élevé de la poudre blanche de Schultze (255^{fr} les 400^{ks}, en 1865) et le volume considérable qu'elle occupe suffisent à expliquer l'abandon où elle est aujourd'hui tombée.

Darapsky a également fabriqué, sous le nom de *poudre jaune*, un produit entièrement analogue à la poudre Schultze et résultant de la nitrification du bois finement divisé, tel qu'on le prépare actuellement en grandes quantités pour la fabrication du papier.

II. POUDRE BLANCHE DE LANNOY.

La société Lannoy et C^{ie}, de Bruxelles, livre au commerce une poudre blanche, connue sous le nom de *lithofracteur dynamital* et présentant la composition suivante :

Nitrate de soude.	65
Soufre.	13
Bois, sciure de bois (ou son) nitrifiés.	22

Cette poudre s'enflamme difficilement, brûle lentement à l'air et ne peut être employée que comme poudre de mine; son maniement ne présente aucun danger. Elle offre l'avantage de diviser parfaitement les roches sans en projeter les morceaux (expériences de la Vieille-Montagne, près d'Aix-la-Chapelle, et de Silberberg, près de Mayence). Mais, outre son prix relativement élevé (150^{fr} les 400^{ks}, en 1860), elle a l'inconvénient de répandre, au moment de sa combustion, de fortes vapeurs nauséabondes.

§ III.

PYROXYLE A BASE D'AMIDON.

POUDRE BLANCHE D'UCHATIUS.

L'amidon présente la même composition chimique que la cellulose (C¹²H¹⁰O¹⁰). Braconnot (1832) et Pelouze (1838) ont montré que

cette substance pouvait, par l'action de l'acide nitrique concentré, se transformer en un pyroxyle auquel ils ont donné le nom de *xyloïdine* (p. 623). Uchatius a, le premier, opéré cette transformation au moyen d'un mélange des acides nitrique et sulfurique, et il a appelé *pyroxylam* la poudre blanche ainsi obtenue.

On ne peut introduire directement l'amidon dans le mélange des deux acides, parce qu'il se forme des grumeaux qui dérobent une partie de la matière à leur action. Uchatius dissout 1 partie d'amidon de pommes de terre dans 8 parties d'acide azotique fumant, en ayant soin de refroidir la liqueur; il fait ensuite couler cette dissolution sirupeuse, sous forme de filet mince, dans 16 parties d'acide sulfurique concentré, en agitant constamment. La bouillie ainsi formée est abandonnée pendant 12 heures, puis versée dans 8 à 10 fois son volume d'eau, lavée jusqu'à ce que toute réaction acide ait disparu, traitée par une dissolution bouillante de carbonate de soude, décantée, lavée à l'eau pure et desséchée à 50 ou 60°.

La poudre d'Uchatius est très-hygométrique, insoluble dans l'eau et dans l'alcool, soluble dans l'éther; elle paraît se décomposer spontanément avec une grande facilité. Sèche, elle est très-explosive et s'enflamme à 175°. D'après Uchatius, 1 partie de cette poudre équivaut à 3,5 parties de poudre ordinaire. Elle se montre brisante dans les armes à feu, et donne des pressions doubles de celles que produirait la poudre noire.

La poudre blanche d'Uchatius, qui présente plus d'inconvénients que d'avantages, paraît n'avoir eu qu'une vogue passagère.

CHAPITRE II.

CORPS EXPLOSIFS DÉRIVÉS DU SUCRE.

Le sucre, si différent de la cellulose au point de vue physique, s'en rapproche par sa composition chimique et par la transformation qu'il éprouve sous l'influence de l'acide nitrique. Les produits obtenus par la nitrification des diverses espèces de sucre sont, en effet, comme les pyroxyles, des substances éminemment explosives, bien que d'une importance pratique tout à fait secondaire : nous les passerons rapidement en revue.

§ I.

SUCRE DE CANNE ET SUCRE DE LAIT NITRIQUES.

L'action d'un mélange des acides nitrique et sulfurique sur le *sucre de canne* ($C^{12}H^{22}O^{11}$) a été, pour la première fois, étudiée par Schönbein. Le sucre était agité, à la température de 12° , dans un mélange de 1 partie d'acide nitrique fort et de 2 parties d'acide sulfurique anglais; la masse visqueuse était reprise par l'eau, séchée et convertie en une matière pulvérisable qui, par l'action d'une douce chaleur, devenait molle et pouvait être facilement pétrie, et qui, à une température plus élevée, détonait violemment sans laisser de résidu.

Le sucre de canne nitrique ou *nitrosaccharose*, qui constitue, comme le coton-poudre (p. 641), un éther de l'acide nitrique,

est insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool concentré et dans l'éther, mais non cristallisable.

On a proposé d'enduire la poudre ordinaire d'une solution de nitrosaccharose dans l'alcool, afin de la mettre à l'abri de l'humidité, tout en augmentant son inflammabilité. L. Thompson a recommandé l'emploi de cette substance pour la composition des artifices.

Traité comme le sucre de canne, le *sucre de lait*, qui présente la même composition chimique, donne également naissance à un corps explosif, blanc, sablonneux, soluble dans l'alcool et l'éther, et qui peut y cristalliser.

On ne sait rien de précis sur la forme de la réaction spéciale à ces deux substances explosives.

§ II.

NITROMANNITE.

La mannite, qui est très-répandue dans le règne végétal et qui se rencontre surtout dans le suc du frêne, se distingue des autres espèces de sucre par une composition chimique plus simple. Stenhouse la dissout à froid dans 4 parties d'acide nitrique fumant, et ajoute de l'acide sulfurique anglais, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité. Strecker emploie, pour 1 partie de mannite, 4,5 parties d'acide nitrique (densité 1,50) et 10,5 parties d'acide sulfurique concentré, en ajoutant alternativement les acides par petites portions. Enfin, Reinsch projette la mannite dans un mélange froid de 1 partie d'acide nitrique fumant et de 1,5 partie d'acide sulfurique ordinaire, en agitant vivement la liqueur, jusqu'à ce qu'elle se transforme en une bouillie épaisse. Dans tous les cas, la *nitromannite* ainsi obtenue est lavée à grande eau et séchée à la température de 40°.

La nitromannite est soluble dans l'alcool bouillant et dans l'éther; elle peut y cristalliser en fines aiguilles, et forme alors une masse d'un blanc de neige. On peut la considérer, de même que le coton-poudre (p. 641), comme un éther de l'acide nitrique : la mannite étant un alcool hexatomique qui a pour formule $C^6H^8(HO^3)^6$ ou $C^6H^{16}O^{12}$, on admet, d'après les réactions auxquelles donne lieu

l'explosion de la nitromannite, que la formule de cette substance peut s'écrire $C^{12}H^8(AzO^4)^6$ ou $C^{12}H^8(AzO^4)^6O^{12}$.

Ce produit est remarquable par l'énergie de ses propriétés explosives. Il détone sous un faible choc, comme le fulminate de mercure, sans être aussi sensible au frottement et à l'échauffement; on a proposé de l'appliquer à la fabrication des amorces. Mais il présente le grave inconvénient de se décomposer spontanément, en dégageant des vapeurs nitreuses : d'après des expériences récentes, la cause paraît devoir en être attribuée aux impuretés qu'il retient.

CHAPITRE III.

NITROGLYCÉRINE ET DYNAMITES.

A.

NITROGLYCÉRINE.

§ I.

HISTORIQUE.

La *nitroglycérine* ou *pyroglycérine* fut découverte en 1847 par A. Sobrero, dans le laboratoire de Pelouze; ses propriétés explosives, bien que signalées dès le début, restèrent sans application pendant plusieurs années. On l'employa, en Amérique, sous le nom de *glonoïne*, comme médicament d'un usage très-restreint.

C'est seulement vers 1860 qu'un ingénieur suédois, Alfred Nobel, réussit à préparer la nitroglycérine par un procédé rapide et à la faire détoner en vase clos; il reconnut la puissance de ses effets et en recommanda l'emploi pour les travaux de mines ou de minières. Il fit breveter le nouveau produit sous le nom d'*huile détonante* (*Nobel's Sprengöl*), et, dès 1863, il en installa la fabrication en Suède. Ses fabriques de Stockholm et de Hambourg purent bientôt en livrer de grandes quantités, qui s'écoulaient principalement en Angleterre, en Allemagne et en Amérique.

Les explosions qui se produisirent dans le cours des années suivantes (explosion de la fabrique de Stockholm, catastrophes d'Aspinwall et de San Francisco) jetèrent du discrédit sur la nitrogly-

cérine ; la Suède et la Belgique en proscrivirent l'emploi, et la faveur publique ne revint à l'huile détonante de Nobel que lorsqu'on crut avoir démontré que la plupart des accidents étaient dus à des imprudences. Nobel parvint à rendre ce produit inexplusif, ou plutôt moins sensible, par le procédé de la *méthylisation*, et, bientôt après, il prépara une substance d'un emploi commode et relativement peu dangereux, à laquelle il donna le nom de *dynamite*. On vit alors apparaître une foule de matières détonantes dérivées de la nitroglycérine (*lithofracteur, dualine, etc.*), qui ont été employées dans les mines avec plus ou moins de succès et qui sont également comprises sous le nom générique de *dynamites*.

L'état liquide et les propriétés brisantes de la nitroglycérine en ont rendu impossible tout essai d'application au tir dans les bouches à feu.

§ II.

FABRICATION DE LA NITROGLYCÉRINE.

I. GÉNÉRALITÉS.

La nitroglycérine résulte de l'action d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique sur la glycérine.

La glycérine, qui constitue un élément essentiel des graisses animales, peut s'obtenir de plusieurs manières dans le cours de la fabrication de la stéarine ; le procédé qui donne le produit le plus pur et le mieux approprié à la préparation de la nitroglycérine est celui de la haute pression. La glycérine du commerce contient habituellement 2 à 6 p. 100 d'eau ; son poids spécifique varie de 1,24 à 1,26, celui de la glycérine pure étant de 1,27, d'après Chevreul, et de 1,28, d'après Pelouze. Elle doit être blanche ou légèrement teintée, sans odeur sensible, et marquer au moins 30° au pèse-sirops à la température de 15°. Elle doit être exempte de sels de chaux ou de plomb, et ne renfermer que des traces de matières grasses : l'acétate tribasique de plomb ne doit produire qu'un trouble léger sans précipitation sensible. Enfin, elle doit être garantié sans mélange avec le sirop de glucose : on reconnaît la présence

de ce dernier corps au moyen de la soude caustique qui donne, à l'ébullition, une coloration brune.

L'acide nitrique marque au moins 48° B. Il doit être garanti sans mélange avec les azotates de soude ou de zinc, et contenir au plus 0,5 p. 100 d'acide sulfurique.

L'acide sulfurique marque au moins 65°,5 B. Il doit être blanc et ne renfermer ni produits nitreux, ni sulfate de plomb, ni acide arsénique.

Les principes généraux de la fabrication de la nitroglycérine présentent la plus grande analogie avec ceux de la préparation du coton-poudre (p. 627). Il faut surtout éviter, par un mode d'opérations convenable, le dégagement de chaleur provenant de la réaction même, et maintenir aussi constante que possible la concentration de l'acide nitrique : ce dernier résultat est obtenu par l'addition d'acide sulfurique, destiné à absorber l'eau formée.

II. PROCÉDÉS DE FABRICATION.

a) Procédés de laboratoire.

Les premiers chimistes qui se sont occupés de la préparation de la nitroglycérine ont opéré sur de petites quantités de matières. Nous nous contenterons d'indiquer succinctement leurs procédés.

Sobrero verse goutte à goutte la glycérine dans le mélange des acides convenablement refroidi ; il emploie les proportions suivantes de ces substances :

Glycérine.	1/2 vol.
Acide nitrique (densité 1,525).	1 —
Acide sulfurique (densité 1,831).	2 —

On a soin de remuer continuellement la liqueur, afin d'éviter une élévation brusque de température. On laisse la réaction se produire pendant quelques minutes, et l'on jette le tout dans 15 à 20 fois son volume d'eau froide. Le liquide blanchâtre, presque insoluble dans l'eau, qui se précipite au fond du vase, est lavé avec soin, enlevé au moyen d'une pipette, et finalement séché dans le vide.

Präger et Bertram font réagir sur 1 partie en poids de glycérine 8 parties d'un mélange acide présentant la même composition que celui de Sobrero.

Liebe emploie 6 parties du même mélange pour 1 de glycérine, et

prescrit de maintenir la température de la réaction au-dessous de 25°.

De Vrij supprime l'acide sulfurique, et traite 100^{gr} de glycérine par 200^{gr} d'acide nitrique concentré.

b) Procédé de Nobel.

On ne connaît le procédé de Nobel que d'une manière générale, par les brevets qu'il a pris dans divers États (1869).

Nobel prépare d'avance le mélange acide en grandes quantités, en faisant dissoudre 1 partie de salpêtre dans 3,5 parties d'acide sulfurique; la liqueur est refroidie à 0°, et presque toute la potasse se précipite à l'état de sulfate acide. Le mélange liquide ainsi obtenu s'écoule, en même temps que la glycérine et en proportion convenable, par un tube qui aboutit dans un vase où l'on produit une vive agitation: la réaction s'achève sans qu'il soit utile de refroidir la liqueur. La nitroglycérine est ensuite lavée à grande eau et séchée.

C'est seulement lorsqu'on se sert d'acide nitrique très-concentré (densité 1,52) que l'on est obligé à d'assez grandes précautions. D'après Lieke, Nobel s'est probablement servi, à l'origine, d'un mélange d'acide sulfurique avec de l'acide nitrique faible (densité 1,30).

c) Procédé de Kopp.

E. Kopp a fait connaître d'une manière complète le procédé appliqué par lui avec succès à la fabrication de la nitroglycérine; il se proposait principalement de trouver une méthode simple, qui permet de préparer le produit sur le lieu même des travaux et presque au moment de l'emploi.

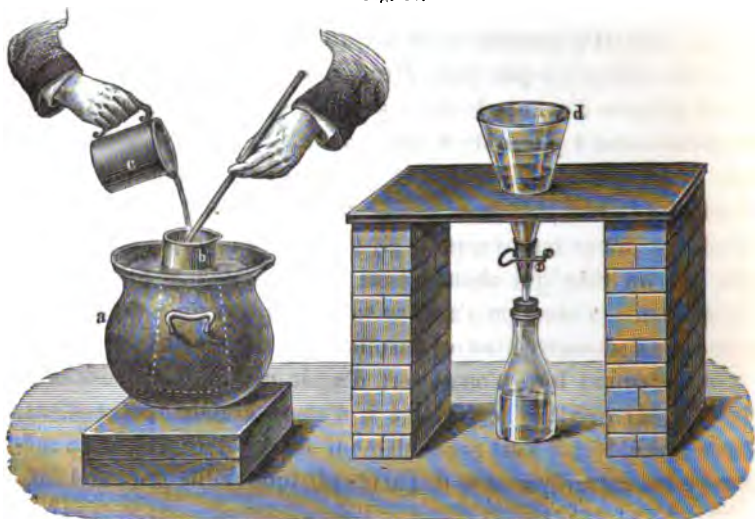
D'après les documents les plus récents, Kopp prépare le mélange acide en faisant passer des vapeurs nitriques dans de l'acide sulfurique (densité 1,834) contenu dans les flacons d'un appareil de Woolf. La liqueur ainsi obtenue (*nitriresäure*, acide nitré) peut être transportée dans des vases en fonte ou en fer forgé, qu'elle n'attaque pas; on évite ainsi les inconvénients qui résultent de l'usage des ballons de verre, en raison de leur fragilité.

Les ustensiles nécessaires pour la fabrication de la nitroglycérine sont les suivants (*fig. 88*): un grand vase en grès *a*, pour le refroidissement et le lavage de la nitroglycérine; un vase en fonte *b*, pour le mélange, avec un trait de repère marqué à l'intérieur et à l'extérieur; une mesure en fer-blanc ou en porcelaine *c*, pour la glycérine; un entonnoir en verre *d*, muni d'un tube de caoutchouc, d'une

pince pressante et d'un tuyau de dégagement ; enfin, une tige en fer, portant une marque, pour agiter le mélange.

Le vase *a* contient 5 à 6 litres d'eau à la température de la glace

Fig. 89.



fondante ; on y plonge le vase *b*, qui renferme 2^l,8 d'acide nitré et dans lequel on verse peu à peu 0^l,35 de glycérine. On remue la liqueur pendant 5 minutes avec la tige de fer, on lave le produit brut dans des vases en grès tels que *a*, on décante et l'on élimine les dernières traces d'eau à l'aide de l'entonnoir séparateur *d*.

Le procédé de Kopp se recommande par sa simplicité et par sa rapidité : on peut faire 3 ou 4 opérations en 1 heure. On obtient chaque fois 0^l,5 à 0^l,7 de nitroglycérine, ce qui correspond à un rendement de 143 à 200 p. 100, le rendement théorique étant de 246 p. 100. Mais le produit ainsi préparé ne possède pas le degré de pureté qui serait indispensable pour un emmagasinage un peu prolongé ; en outre, d'après Champion, si l'on verse à la fois une trop grande quantité de glycérine, la liqueur s'échauffe en dégageant des vapeurs rutilantes, avec formation d'acide oxalique, et se trouve en partie projetée en dehors du récipient *b*.

d) Procédé de Rudberg.

Rudberg, de Stockholm, a recommandé (1868) un appareil d'un

Fig. 89.

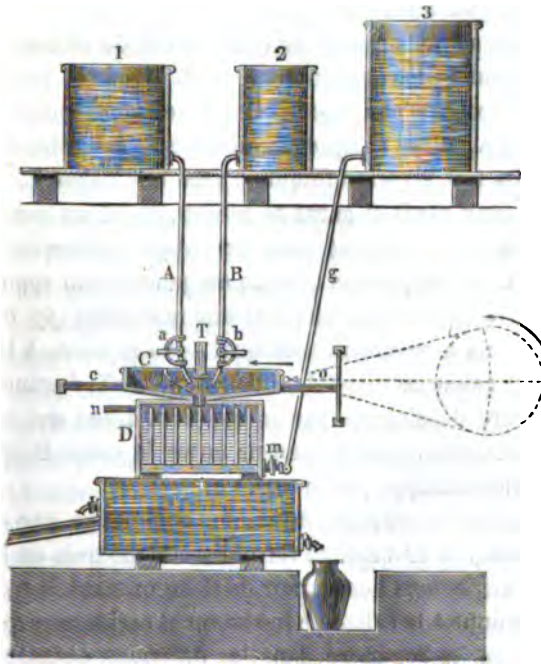
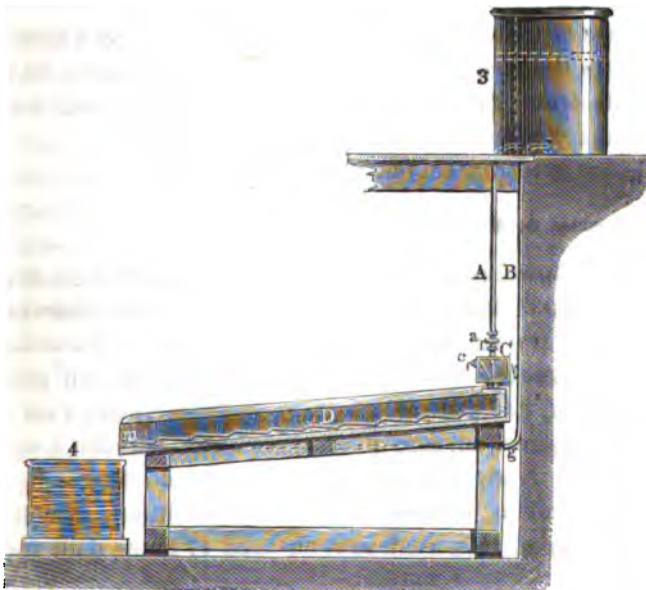


Fig. 90.



manièrement facile pour la préparation continue et sans danger de la nitroglycérine (*fig.* 89 et 90).

Le mélange acide, préparé dans un cuvier de plomb, est soutiré dans le récipient 1; le récipient 2 reçoit la glycérine pesée; le récipient 3 est rempli d'eau froide. Ces vases sont munis de tuyaux d'écoulement A, B, *g*, auxquels sont adaptés des robinets *a*, *b*, *m*. Les récipients 1 et 2 communiquent avec une caisse C, placée au-dessus d'un long canal D garni de plomb, divisé en compartiments formant escalier et enfermé dans une auge imperméable en bois; cette caisse C est suspendue comme un pendule ou repose sur des roues, en sorte qu'avec une bielle et une manivelle (*fig.* 89) on peut lui imprimer un mouvement continu de va-et-vient; à la partie inférieure de la caisse est disposé un thermomètre T, destiné à indiquer la température développée par la réaction. L'eau qui s'écoule du récipient 3 remplit l'espace compris entre le canal D et l'auge en bois, d'où elle s'échappe par le tuyau *n*.

Pour préparer la nitroglycérine, on commence par nettoyer le canal D au moyen de l'eau de refroidissement; puis on fait écouler le mélange acide dans l'entonnoir de C en ouvrant le robinet *a*, et l'on communique à la caisse un mouvement oscillatoire qui permette au mélange de se répandre dans les différents compartiments du canal D. Dès que les acides commencent à s'échapper de ces compartiments, on fait arriver la glycérine en ouvrant le robinet *b*. La réaction est terminée lorsque les liquides ont cessé de s'écouler du canal D. On les recueille dans le récipient 4, qui contient de l'eau; la nitroglycérine, qui se dépose au fond, est lavée avec soin. La température doit être maintenue au-dessous de 30°.

On ignore le rendement obtenu par ce procédé.

e) Procédé de Mowbray.

On doit à Mowbray d'assez notables perfectionnements apportés à la fabrication de la nitroglycérine. Ce produit, spécialement préparé pour les travaux du tunnel de Hoosac, dans le Massachusetts (7860^m de longueur), devait être le plus souvent fait sur place; la consommation, qui était en moyenne de 75^m par jour, s'est élevée à 150000 litres environ, sans qu'on ait eu aucun accident à signaler.

L'atelier de fabrication avait environ 45^m de longueur. Dans 9 longs bacs en bois, surélevés de 1^m au-dessus du sol, se trouvaient 116 bonbonnes en grès, contenant chacune 17 livres d'un mélange

acide préparé comme celui de Kopp (p. 677), dans lequel on faisait préalablement passer un fort courant d'air pour en chasser les vapeurs nitreuses; ces bacs étaient remplis d'un mélange de glace et de sel marin jusqu'à 0^m,1 environ au-dessous de l'ouverture des bonbonnes. Sur une tablette était disposée une série de bouteilles correspondant à ces dernières et contenant chacune 2 livres de glycérine pure, qu'on faisait tomber goutte à goutte dans le mélange acide au moyen de siphons en caoutchouc. Sous la planchette passait un tuyau en fer dans lequel on refoulait de l'air froid et sec, qui se dégageait par des tubes de verre dans la bonbonne même. Ce courant d'air, en même temps qu'il opérait le mélange des liquides, avait l'avantage d'empêcher leur échauffement et de balayer les vapeurs nitreuses au fur et à mesure de leur formation: on sait, en effet, que la tendance à une décomposition spontanée paraît être favorisée par la présence de l'acide hypoazotique.

Pendant l'opération, qui durait 1^h 1/2, on surveillait attentivement la température du mélange au moyen d'un thermomètre; on évitait un échauffement exagéré en agitant vivement la liqueur ou en ralentissant l'écoulement de la glycérine. La réaction terminée, on versait le contenu de deux bonbonnes dans un réservoir rempli de 180 litres d'eau environ; la nitroglycérine qui se déposait était soigneusement lavée, 3 fois avec de l'eau et 2 fois avec une solution étendue de soude, puis décantée dans des vases en verre ou en grès.

Le rendement obtenu par cette méthode est très-élevé: 21^g de glycérine donnaient, en moyenne, 47^g de nitroglycérine (théoriquement 51^g,7), ce qui correspond à un rendement de 223,8 p. 100 (théoriquement 246 p. 100). La nitroglycérine pure, incolore, était congelée et conservée dans des flacons en fer-blanc; on pouvait la transporter dans cet état.

Le procédé de Mowbray se distingue par le soin avec lequel sont exécutées les diverses opérations. La durée du lavage est de 72 heures, et celle de la cristallisation de 48 heures.

f) Procédés de Champion et Pellet.

On doit à Champion et Pellet plusieurs procédés de fabrication de la nitroglycérine, fondés sur cette remarque que la durée de la réaction, évaluée ordinairement à 10 ou 12 minutes, peut être réduite sans inconvénient à quelques secondes.

L'appareil employé pendant le siège de Paris consistait en un ser-

serpentin en verre refroidi par un courant d'eau et surmonté d'un tube bifurqué, dont l'une des branches recevait la glycérine et l'autre le mélange froid des acides; l'extrémité inférieure du serpentin plongeait dans un vase plein d'eau destiné à recevoir la nitroglycérine. Le rendement de ce procédé ne dépassait pas 120 à 130 p. 100, parce que le contact des liquides réagissants n'était réalisé que d'une manière imparfaite.

On obtint un rendement de 145 p. 100 en remplaçant le serpentin par une série d'entonnoirs, dont chacun laissait écouler le liquide sur le bord intérieur de celui qui se trouvait au-dessous. Mais cette disposition augmentait le dégagement des vapeurs dans l'atmosphère et ne produisait pas une réfrigération suffisante.

Champion et Pellet ont finalement adopté le procédé suivant (1871). On traite 0^l,38 de glycérine (densité 1,27) par un mélange de 1^l d'acide nitrique (densité 1,52) avec 2^l d'acide sulfurique; l'acide nitrique est préalablement débarrassé des vapeurs rutilantes par un courant d'air ou d'acide carbonique à la température de 70°. Le vase dans lequel s'effectue la réaction est mobile autour d'un axe horizontal; au-dessus de ce vase se trouve le récipient contenant la glycérine, que l'on peut tourner rapidement. La réaction est accélérée par un fort courant d'air, et, au bout de quelques secondes, le contenu du vase est versé, par une simple rotation, dans un grand réservoir plein d'eau placé au-dessous et muni d'un agitateur; le dernier lavage se fait avec une solution étendue de soude. Le rendement indiqué est, en moyenne, de 200 p. 100.

Les procédés qui nous restent à décrire s'appliquent à la nitroglycérine spécialement destinée à la fabrication des dynamites à base inerte ou à base active.

g) Procédé de Forster.

A la fabrique de M. v. Forster, à Opladen, près de Cologne, on se sert de cuves en pierre refroidies par un courant d'eau ou par un mélange de glace et de sel marin. Chaque cuve contient un mélange de 1^l d'acide nitrique concentré et de 2^l d'acide sulfurique, auquel on ajoute peu à peu, et en agitant vivement, 0^l,5 de glycérine pure; la température ne doit pas dépasser 15 à 20°. On laisse la réaction se produire pendant 1/4 d'heure et l'on verse le tout dans l'eau par petites portions; on ajoute aux eaux du dernier lavage 1 p. 100

de magnésie. La nitroglycérine ainsi préparée est exclusivement employée à la fabrication de la dynamite.

A) Procédé de Capitaine.

La méthode de F. Capitaine est plus exactement connue. La production journalière de nitroglycérine doit suffire pour la fabrication de 2 500^k de dynamite environ.

Le mélange acide est préparé, un jour avant l'emploi, dans des bassins en fonte; chacun d'eux contient 1 300^k d'acide sulfurique anglais et 650^k d'acide nitrique, obtenu en traitant du nitrate de soude par son poids d'acide sulfurique. On fait couler la liqueur dans un cuvier en bois doublé de plomb, ayant 1^m,20 de diamètre sur 2^m de hauteur, dans lequel s'effectue la réaction; deux serpents en plomb, à travers lesquels on peut à volonté faire passer un courant d'eau, servent à produire le refroidissement. On traite 315^k de glycérine par 1 950^k du mélange acide. La glycérine est contenue dans un récipient en tôle placé sur le toit de l'atelier; on en règle l'écoulement à l'aide d'un robinet.

Dès que la réaction commence, trois ouvriers donnent un mouvement d'oscillation vertical à un agitateur formé de deux plaques de fer trouées et doublées de plomb; un thermomètre émergeant du cuvier permet de surveiller attentivement la température, qu'il est prudent de ne pas laisser s'élever au-dessus de 18°. La durée de l'opération varie de 1/2^h à 2^h. 1/2, suivant la saison. La réaction terminée, les liquides sont conduits, par des rigoles en plomb, dans un cuvier en bois ayant environ 4^m de diamètre sur 2^m,60 de hauteur, qui se trouve en partie rempli d'eau; pendant l'écoulement, on agite le mélange avec des brassoires en bois. La nitroglycérine se rassemble au fond du cuvier, qui est légèrement incliné; on la décante alors dans un petit récipient, en vue d'un second lavage qui se fait avec une addition de soude; puis on élimine les dernières traces d'acide en la mélangeant avec une dissolution de soude dans un vase muni d'un agitateur spécial et qui n'est autre qu'une baratte, et en décantant le produit ainsi purifié.

Dans ce procédé, les différentes opérations sont le plus possible séparées les unes des autres; elles s'exécutent dans des constructions légères, abritées derrière des merlons en terre. Le rendement, qui atteint son maximum en hiver, varie de 151 à 190 p. 100.

i) Procédé de la poudrerie de Vonges.

Le procédé employé depuis 1872 à la poudrerie de Vonges, et dû aux recherches de H. Boutmy et de L. Faucher, repose sur la préparation préalable de deux mélanges binaires, sulfoglycérique et sulfonitrique. La nitroglycérine se trouve ainsi engagée dans une combinaison qui n'est détruite que peu à peu, sans dégagement brusque de chaleur, ce qui permet de se passer de réfrigérant pendant la réaction, devenue tout à fait régulière; en outre, on fait dégager, avant l'opération, la chaleur qui résulte de la combinaison de l'acide sulfurique avec l'eau d'hydratation de l'acide nitrique et de la glycérine. Enfin, on recueille la nitroglycérine sur le mélange acide lui-même, sans ajouter d'eau, de sorte que les acides de décantation peuvent être employés à d'autres usages industriels.

L'acide sulfoglycérique, qui se compose de 320 parties d'acide sulfurique pour 100 de glycérine, est préparé dans un barboteur à double enveloppe, avec courant d'eau froide, afin de prévenir la formation d'une certaine quantité d'acroléine. Cet appareil comprend un récipient en fonte à fond demi-cylindrique, sur l'axe duquel tourne un arbre en fer, portant une manivelle et muni de distance en distance de croisillons disposés en hélice et reliés deux à deux par des plaques épaisses de plomb parallèles à l'axe. Cet auget est recouvert d'un demi-cylindre, percé à sa partie supérieure d'une fente longitudinale et surmonté d'une cuve évasée dans laquelle on verse les liquides; il est muni d'une seconde enveloppe permettant de faire circuler un courant continu d'eau froide; enfin, l'appareil est divisé dans sa longueur, par des bandes de plomb, en plusieurs compartiments. On commence par verser 41¹/₆ d'acide sulfurique, puis peu à peu 13¹/₂ de glycérine; on tourne la manivelle pendant 1¹/₂ à 1¹/₂, suivant la saison, et l'on recueille le mélange convenablement refroidi dans des touries en grès, qui sont conservées jusqu'au lendemain dans un bassin plein d'eau.

L'acide sulfonitrique, formé de poids égaux d'acide sulfurique et d'acide nitrique, est préparé dans des touries en grès à deux tubulures où les acides, contenus dans des touries semblables, sont transvasés au moyen de pompes de pression. A cet effet, chaque tourie d'acide reçoit sur l'une de ses tubulures une rondelle en bois portant un ajutage de plomb, par lequel on peut la mettre en communication avec la pompe; l'autre tubulure est traversée par un

tube de plomb plongeant au fond de la tourie et recourbé au dehors, par lequel le liquide peut s'écouler dans la tourie de mélange, sans produire aucun dégagement de vapeurs acides. Les touries contenant le mélange sulfonitrique sont également conservées dans un bassin plein d'eau.

Pour préparer la nitroglycérine, on verse successivement le mélange sulfoglycérique, puis le mélange sulfonitrique dans des piles en grès cylindriques, ayant 0^m,40 de diamètre sur 0^m,65 de hauteur; les proportions des mélanges réagissant dans une pile sont les suivantes :

Mélange sulfoglycérique.	Glycérine. 10 ^k	} 42 ^k
	Acide sulfurique. . . 32	
Mélange sulfonitrique. . .	Acide sulfurique. . . 28	} 60 ^k
	Acide nitrique. . . . 28	
		} 56

Les piles sont munies d'un couvercle en plomb qui s'enfonce dans une rainure garnie d'acide sulfurique, et qui porte deux petits couvercles mobiles plongeant également dans une rainure garnie d'acide sulfurique et à travers lesquels passent deux tubes en plomb permettant de chasser les vapeurs nitreuses de l'intérieur de la pile; le couvercle, accroché à l'une des extrémités d'un levier coudé, se trouve presque équilibré par un contre-poids fixé à l'autre extrémité, de manière à se renverser sous l'influence du plus petit excès de pression intérieure. Il se produit, pendant le premier quart d'heure, une élévation de température dont la valeur maximum varie de 27° (novembre) à 48° (août), suivant la saison; en même temps, on voit se former, à la surface, des gouttes huileuses qui finissent par constituer une couche supérieure assez nettement séparée du restant de la masse. On laisse la réaction s'achever pendant la nuit, puis on décante la liqueur par siphonnement au moyen de tubes en plomb; le mélange acide, qui s'écoule le premier, est reçu dans des touries en verre, et la nitroglycérine dans des terrines en grès que l'on porte aussitôt à l'atelier de lavage.

Les terrines en grès sont versées dans une pile cylindrique, en fonte émaillée, contenant de l'eau et munie à sa partie inférieure d'un ajutage d'écoulement; la nitroglycérine, qui s'est rassemblée au fond, est recueillie dans d'autres terrines semblables aux premières. Les eaux acides sont jetées dans un trou communiquant avec un puits perdu, et la nitroglycérine est versée par charges de 35^k, avec un volume triple d'eau tiède à 30°, dans un appareil la-

veur analogue, sauf la double enveloppe, au barboteur précédemment décrit. Après avoir tourné les manivelles pendant quelques minutes, on fait écouler l'eau, on remet de l'eau nouvelle, et l'on recommence la même opération tant que l'eau emporte quelque trace d'acidité. Le nombre des lavages successifs peut varier de 10 à 18, suivant la pureté de la glycérine employée; pour arriver à neutraliser plus facilement la substance, on ajoute à l'eau de lavage, dans deux opérations, 100^{gr} environ de bicarbonate de soude.

La nitroglycérine lavée, qui est trouble, émulsionnée et même hydratée, est filtrée à travers des éponges dans un cylindre en tôle forte dont le fond est percé de trous; ces éponges sont comprimées entre le fond du cylindre et une rondelle de bois également percée de trous et surmontée d'une tige de fer filetée qui s'engage dans un écrou à oreilles. Le tout repose sur un entonnoir en fer-blanc, placé au-dessus de vases cylindriques également en fer-blanc; on recommence, au besoin, l'opération, jusqu'à ce que la nitroglycérine sorte parfaitement limpide. Ce mode de filtration repose sur la propriété que possède l'éponge de se saturer à la fois d'eau et de nitroglycérine, en enlevant à celle-ci toute l'eau qu'elle peut contenir.

La nitroglycérine parfaitement neutre, anhydre et limpide, est envoyée à l'incorporation (p. 700).

Le rendement obtenu par ce procédé varie de 185 à 190 p. 100.

§ III.

PROPRIÉTÉS DE LA NITROGLYCÉRINE.

I. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

La nitroglycérine, parfaitement séchée et purifiée, constitue un liquide huileux, d'un jaune clair, sans odeur et d'une saveur brûlante; sa densité est de 1,6.

Elle possède, même en petites doses, des propriétés vénéneuses très-marquées. D'après Schuchardt, qui en a fait l'expérience sur lui-même, si l'on avale une goutte de nitroglycérine, on éprouve des douleurs de tête et des vertiges accompagnés d'une lassitude générale; si l'on absorbe, par mégarde, une plus grande quantité

de liquide, les accidents deviennent plus graves : on ressent des frissons, des nausées, et l'on finit même par perdre connaissance. Les vapeurs de nitroglycérine paraissent également, bien que dans de moindres proportions, produire les mêmes effets ; on a pu toutefois constater, dans la plupart des cas où des plaintes ont été exprimées sur les inconvénients de cette substance, que le commencement d'empoisonnement provenait du contact direct de la peau avec le liquide : c'est pour cette raison que les ouvriers sont souvent munis de gants spéciaux. On recommande, comme contre-poison, d'absorber du café noir et de se frictionner avec une solution de potasse caustique ou d'acide iodhydrique, qui décompose le liquide en reconstituant la glycérine. Schuchardt croit que la nitroglycérine traverse la peau et subit une décomposition en présence du sang, peut-être avec formation de protoxyde d'azote.

D'après Werber, on peut découvrir des traces de nitroglycérine en se servant d'un mélange d'aniline et d'acide sulfurique concentré : il se produit une coloration rouge pourpre, qui tourne au vert par addition d'eau.

La nitroglycérine se dissout facilement dans l'alcool, l'éther, l'esprit de bois et la benzine ; les procédés de purification qui lui sont généralement appliqués reposent sur son insolubilité presque complète dans l'eau.

Refroidie jusqu'à $+8^{\circ}$, la nitroglycérine se congèle et forme une masse cristalline en augmentant, d'après la plupart des auteurs, de $1/16$ de son volume environ ; Mowbray a observé, au contraire, une contraction de $1/24$. Cette divergence doit tenir à la pureté du produit employé par Mowbray, et notamment à l'absence d'acide nitreux.

La nitroglycérine gelée fond vers $+11^{\circ}$; elle présente dans cet état moins de dangers qu'à l'état liquide, parce qu'elle détone moins facilement par le choc ; on affirme cependant que la rupture des cristaux suffit pour provoquer l'explosion. Elle doit donc être maniée avec beaucoup de prudence ; il faut surtout prendre les plus grandes précautions pour la dégeler. Cette dernière opération ne doit jamais s'effectuer en employant la chaleur directe d'un foyer : il faut se contenter de plonger la matière dans l'eau tiède (cf. p. 703) ; on doit également proscrire d'une façon absolue l'usage d'instruments durs ou tranchants. Les transports de la nitroglycérine gelée en Suède n'ont donné lieu qu'à un petit nombre d'accidents : ceux

de Bochum et de Hirschfeld ont été attribués uniquement à un défaut de prudence dans l'opération du dégelage.

II. PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

Il est aujourd'hui établi que la nitroglycérine a pour formule $C^6H^8Az^3O^{13}$, et qu'elle dérive de la glycérine par la substitution de 3 équivalents d'acide hypoazotique à 3 équivalents d'hydrogène, d'après la formule :



On peut déduire de cette réaction la quantité d'acide nitrique nécessaire pour opérer la transformation de la glycérine et, par suite, le rendement théorique en nitroglycérine : on trouve ainsi que 100 parties de glycérine, traitées par 203,4 parties d'acide nitrique, produisent 246 parties de nitroglycérine. Le rendement pratique est toujours inférieur à 246 p. 100, à cause de la formation de produits accessoires et de l'attaque incomplète de la glycérine.

L'analyse de la nitroglycérine présente les plus grandes difficultés, en raison de l'extrême facilité avec laquelle se produit la décomposition spontanée de la substance; elle se ferait, d'ailleurs, d'une manière analogue à celle du coton-poudre. Beckerhinn a exécuté sur un échantillon de nitroglycérine deux analyses qui lui ont donné les résultats suivants :

ÉLÉMENTS.	PROPORTION RELATIVE DES ÉLÉMENTS.		
	Observée.		Calculée par la formule $C^6H^8(AzO^6)^3$
	a	b	
Carbone.	15,42	15,62	15,83
Hydrogène.	2,27	2,40	2,30
Azote.	"	17,90	18,50

Quant à la constitution chimique de la nitroglycérine, elle est mise en évidence par un grand nombre de réactions. Si la nitroglycérine était, comme on l'a d'abord admis et comme paraît l'indiquer

son nom, une combinaison nitrique (de la glycérine trinitrée), elle se transformerait, sous l'influence d'un agent réducteur tel que l'hydrogène naissant ou le sulfure d'ammonium, en un amide, par analogie avec l'acide picrique et les autres dérivés nitrés de la benzine. La réduction de ce corps explosif a, au contraire, pour résultat de régénérer la glycérine; l'action des alcalis caustiques donne naissance à de la glycérine et aux nitrates correspondants. Il s'ensuit que la nitroglycérine est un éther de l'acide nitrique et que sa formule rationnelle doit s'écrire $C^3H^3(AzO^3O^3)^3$, la glycérine constituant un alcool triatomique qui a pour formule $C^3H^3(HO^3)^3$: le véritable nom de l'huile détonante de Nobel serait donc *nitroglycérine* (éther nitrique de la glycérine).

III. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.

a) Inflammation et décomposition spontanée.

La nitroglycérine donne lieu à des phénomènes de décomposition lente qui peuvent présenter, dans la pratique, les plus graves inconvénients.

Les causes de cette décomposition n'ont pas encore été bien nettement définies : on les attribue souvent à une mauvaise purification des produits. Aussi la nitroglycérine, destinée à être conservée en magasin ou à subir des transports, doit être livrée à un état de pureté absolue. La décomposition spontanée de la matière est particulièrement favorisée par la présence de petites quantités d'acide nitrique ou d'acide hypoazotique. Il se produit, par suite de l'oxydation, de l'acide glycérique et de l'acide oxalique, comme l'ont montré Warren de la Rue et Müller; Lieber et List ont également constaté la présence de l'acide oxalique dans la nitroglycérine de fabrication ancienne; enfin Beckerhinn, étudiant l'action d'un mélange d'ozone et d'oxygène sur un échantillon de nitroglycérine dont il avait préalablement vérifié la pureté par une analyse chimique (p. 688), a trouvé que l'oxydation avait lieu à la température ordinaire, avec formation d'acide glycérique et d'acide nitrique. En même temps, la partie attaquée se colore en vert, en dégageant des vapeurs nitreuses, du protoxyde d'azote et de l'acide carbonique.

D'après List, tout danger disparaît lorsque les produits gazeux peuvent s'échapper librement dans l'atmosphère; dans le cas con-

traire, l'excès de pression qui se développe à l'intérieur du récipient peut provoquer une explosion. Les instructions du Conseil des mines de Dortmund prescrivent d'enterrer la nitroglycérine qui présente une coloration verdâtre. On peut d'ailleurs s'assurer de la stabilité et de la qualité des produits en y introduisant de temps en temps un morceau de papier de tournesol, qui ne doit accuser aucune réaction acide. De cette condition dépend la valeur industrielle de la nitroglycérine; car un produit qui a éprouvé un commencement de décomposition n'est pas seulement d'un maniement très-dangereux, il a encore perdu une partie de sa force explosive.

b) Explosion et détonation.

La nitroglycérine possède, comme la plupart des substances explosives (p. 494), deux ordres d'explosion.

L'explosion du premier ordre ou détonation, observée pour la première fois par Nobel (1864), se produit par l'action du fulminate de mercure ou par le choc. — Si l'on frappe d'un coup de marteau quelques gouttes de nitroglycérine placées sur une enclume, les particules choquées détonent seules, et les parties voisines ne sont généralement pas enflammées; mais, si la substance est simplement recouverte d'une feuille de papier, la détonation se propage dans toute la masse. De fortes secousses font détoner la nitroglycérine gelée. On provoque enfin la détonation de la nitroglycérine liquide par le choc d'une balle de fusil d'infanterie, tirée à une distance maximum de 150^m: pour une distance supérieure, la matière reste intacte. — La détonation de la nitroglycérine, sous l'influence d'une forte amorce fulminante, a pour effet d'entraîner l'explosion de certaines substances peu inflammables ou même tout à fait inexposables, avec lesquelles elle peut se trouver mélangée. Ainsi, le binaire de nitrate d'ammoniaque et de charbon (p. 606), additionné de 15 p. 100 de nitroglycérine, détone avec une grande violence: on provoque de même la décomposition du chlorate de potasse, des sulfates mélangés au charbon, du chlorhydrate d'ammoniaque, etc.

On réalise l'explosion du second ordre soit par une élévation de température, soit par le contact de corps en ignition.

Il suffit, d'après Nobel, d'élever la température de la nitroglycérine jusqu'à 180°, pour en provoquer l'explosion instantanée; si l'on chauffe avec précaution, on observe, vers 100°, un dégagement d'acide hypoazotique. On peut même, d'après E. Kopp, produire

l'évaporation de la nitroglycérine en élevant très-lentement la température. Leygue et Champion, en opérant par la méthode précédemment indiquée (p. 446), ont obtenu les résultats suivants :

- A 185° ébullition, avec dégagement de vapeurs jaunes ;
- 194° volatilisation lente ;
- 200° évaporation rapide ;
- 217° déflagration violente ;
- 241° explosion ;
- 257° explosion violente ;
- 267° déflagration moins vive ;
- 287° légère déflagration ;

Au rouge sombre, pas de déflagration (état sphéroïdal).

Ce dernier résultat est confirmé par Kopp, qui, en laissant tomber une goutte de nitroglycérine sur une plaque métallique chauffée au rouge, n'a obtenu qu'une faible déflagration.

Suivant Nobel, une certaine quantité de nitroglycérine ne peut faire explosion que si toute la masse est portée à une température d'au moins 180°. Cette circonstance serait, dans la pratique, d'une importance considérable : c'est ainsi que de la nitroglycérine, enflammée à la température ordinaire, pourrait déflagrer lentement sans explosion, et serait entièrement consumée avant d'avoir atteint la limite voulue de température ; c'est encore ainsi que certains incendies paraissent n'avoir pas présenté toute la gravité qu'on pouvait redouter, lorsque la nitroglycérine ne se trouvait pas accumulée en trop grandes quantités. Toutefois, de semblables résultats ne doivent être acceptés qu'avec une extrême réserve, et l'on pourrait citer nombre d'expériences plus récentes qui en diminuent singulièrement la valeur.

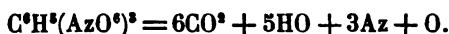
La nitroglycérine s'enflamme difficilement par le contact d'un corps en ignition. Elle éteint une allumette et refroidit un fil de platine rouge : il se produit alors une simple volatilisation de la substance. Mais on réalise facilement l'explosion du second ordre par la combustion d'une petite quantité de poudre ordinaire.

c) Combustion.

La combustion de la nitroglycérine donne naissance à un grand

volume de produits gazeux, avec un dégagement considérable de chaleur.

D'après Berthelot, la réaction pourrait être représentée par la formule suivante :



On voit que la nitroglycérine jouit de la remarquable propriété de dégager plus d'oxygène qu'il n'en faut pour brûler ses éléments combustibles; l'oxygène en excès peut toutefois, surtout sous les pressions faibles, s'unir avec l'azote libre pour donner du bioxyde d'azote : aussi Berthelot conseille-t-il de mélanger la nitroglycérine avec des substances oxydables. D'après la formule précédente, 1^l de nitroglycérine donne 710^l de gaz ramenés à la pression de 0^m,760 et à la température de 100°, soit 1135^l de produits gazeux pour 1^l de matière. Le premier chiffre est 3,5 fois et le second 6 fois plus fort que les chiffres correspondants pour la poudre ordinaire. Si l'on tient compte de l'énorme quantité de chaleur dégagée, on trouve que 1 vol. de nitroglycérine exerce 10 fois autant d'action que 1 vol. de poudre ordinaire. Nobel regarde 1 vol. de nitroglycérine comme équivalant à 13 vol. de poudre, et 1^l de la première substance à 8^l de la seconde; il calcule que 1 vol. de sa nitroglycérine dégage 1298 vol. de produits gazeux, qui sont portés à 10384 vol. par la chaleur développée, tandis que, dans les mêmes circonstances, 1 vol. de poudre ne produit que 800 vol. de gaz.

Ces résultats théoriques ne sont qu'approximativement confirmés par l'expérience. En effet, la marche de la réaction n'est pas encore exactement connue, et, le fût-elle, il faudrait pouvoir tenir compte des phénomènes si complexes de dissociation résultant de l'énorme élévation de température qui se trouve réalisée (p. 502).

Il n'a été fait jusqu'à présent qu'un seul essai destiné à déterminer les produits gazeux de l'explosion de la nitroglycérine, et encore dans des conditions sensiblement différentes de celles de la pratique.

L'Hôte plaçait dans un eudiomètre à parois très-épaisses, à la surface du mercure, une petite boule de verre contenant environ 0^m,006 de nitroglycérine; il introduisait ensuite 10^{cc} de mélange détonant, qu'il enflammait par l'étincelle électrique : la boule de verre était brisée et la nitroglycérine faisait explosion. Le gaz produit était incolore, mais il attaquait progressivement la surface du mercure

en donnant naissance à du nitrate de protoxyde de mercure. Il résulte des mesures effectuées par l'Hôte que 1^{er} de nitroglycérine ne dégage que 284^l de gaz ramenés à 0° et 0^m,760. Enfin, l'analyse chimique a indiqué la composition suivante de ces produits :

Acide carbonique.	45,72
Bioxyde d'azote.	20,36
Azote.	33,92

L'Hôte ayant négligé de doser la vapeur d'eau formée, on ne saurait accepter comme définitif le volume gazeux qu'il a mesuré. En outre, l'explosion s'étant produite sous une pression faible, on peut admettre, en se reportant aux résultats trouvés pour le coton-poudre (p. 647), que le bioxyde d'azote, dont la proportion était considérable, doit disparaître plus ou moins complètement dans les circonstances ordinaires de l'explosion de la nitroglycérine.

d) Chaleur de combustion et force.

La chaleur de combustion de la nitroglycérine est de 1720^{cal}, d'après Roux et Sarrau (p. 479), et de 1786^{cal}, d'après Berthelot (p. 481). La température de combustion paraît être presque double de celle du coton-poudre (p. 484).

Les forces relatives correspondant aux explosions des deux ordres sont, d'après Roux et Sarrau (p. 495) :

$$f_2 = 4,80, \quad f_1 = 10,13.$$

Les valeurs théoriques de f_2 , calculées par Sarrau et par Berthelot (p. 497), sont 4,55 et 7,40.

§ IV.

USAGES DE LA NITROGLYCÉRINE.

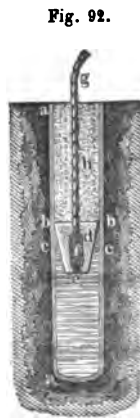
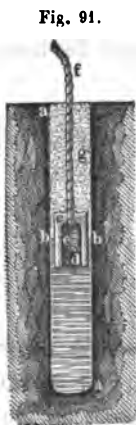
Les expériences de sautage exécutées depuis 1864 avec la nitroglycérine, et surtout avec les produits qui en dérivent, ont montré que ces substances sont bien supérieures, sous le rapport de leur puissance explosive, à toutes les matières essayées jusqu'alors, le coton-poudre excepté. A partir de 1867, on a abandonné, en Europe,

l'emploi de la nitroglycérine à l'état liquide, Nobel ayant réussi à la mettre sous une forme qui diminue les dangers de transport et de manipulation, sans en amoindrir la puissance dans une proportion trop considérable. En Amérique, Mowbray se sert encore aujourd'hui de nitroglycérine liquide et parfaitement pure.

Quoi qu'il en soit, nous croyons devoir exposer les procédés autrefois employés pour appliquer la nitroglycérine à l'exploitation des mines ou aux autres travaux de sautage; car, outre leur intérêt historique, ces procédés sont intimement liés aux méthodes actuellement en usage pour l'application des dérivés de la nitroglycérine à ces mêmes travaux.

I. AMORÇAGE ET CARTOUCHE.

Pour réussir à enflammer une assez grande quantité de nitroglycérine contenue dans un trou de mine, Nobel s'est d'abord servi d'un mélange de nitroglycérine et de poudre (40 parties environ de la première pour 100 de la seconde), préparé immédiatement avant l'opération dans des douilles de zinc : ce mélange produisait des effets de 3 à 5 fois supérieurs à ceux de la poudre seule; afin d'assurer encore mieux l'inflammation, la cartouche était entourée de poudre à l'intérieur du trou de mine. Pour l'extraction des grès de la Zorn, Kopp a fait usage de la disposition suivante (fig. 91) : on intro-



duisait dans des trous de mine *aa*, de 0^m,05 à 0^m,06 de diamètre sur 2 à 3^m de longueur, une quantité de nitroglycérine comprise entre 1 et 2^l; à la surface *d* du liquide, on plaçait un petit cylindre creux en bois *bb* rempli de poudre, qui était fermé par un bouchon et surmonté d'une mèche. Pour les roches fissurées, on employait un procédé peu différent (fig. 92) : la nitroglycérine était placée dans un tube métallique *aacc* remplissant à peu près le trou de mine :

le réservoir à poudre *beb* affectait la forme conique, la plus grande

base ayant sensiblement le diamètre du tube. Le bourrage se faisait avec du sable, et l'on mettait le feu à l'aide d'une mèche.

En étudiant divers modes d'inflammation, Nobel ne tarda pas à découvrir un moyen de produire d'une manière certaine l'explosion totale de la nitroglycérine. Il reconnut, en effet, que l'explosion de quelques substances fulminantes, telles que le fulminate de mercure, était éminemment propre à provoquer la détonation de la nitroglycérine liquide : il fut ainsi amené à faire usage d'amorces ou de capsules brevetées (1864). Ces dernières se composent (fig. 93) d'une capsule en cuivre *ab* contenant une charge de fulminate triple ou encore plus forte, dans laquelle



Fig. 93.

pénètre jusqu'au fond une mèche Bickford *cd* pincée en *e*. La capsule était plongée dans la nitroglycérine (fig. 94), qui s'élevait jusqu'au niveau *bb*. Dans le cas d'un trou de mine horizontal, celle-ci était enfermée dans une cartouche en tôle, à travers laquelle passait la capsule munie d'un joint parfaitement étanche ; on bourrait avec du sable ou de la terre glaise. Dans le cas d'un trou de mine vertical, la nitroglycérine était introduite sans enveloppe, et le bourrage s'effectuait avec du sable, de la terre glaise (fig. 91 et 92) ou, au besoin, avec de l'eau (fig. 94).

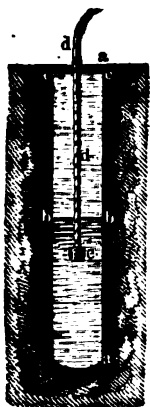


Fig. 94.

II. EXPÉRIENCES DIVERSES.

L'application de la nitroglycérine à la rupture des roches ou des masses de fer a donné lieu aux effets les plus puissants.

Près de Stockholm, 2⁵ de nitroglycérine ont fait sauter environ 8 800 quintaux de granit ; les parties voisines étaient sillonnées de crevasses. On constata bientôt que l'action de la substance explosive était d'autant plus énergique que la roche était plus compacte.

Les essais exécutés dans les carrières de l'Oberharz, à Lautenthal, à Osterode, à Clausthal, montrèrent que, malgré le prix de vente relativement élevé de la nitroglycérine (il était alors 8 fois supérieur à celui de la poudre), les frais généraux se trouvaient abaissés d'un tiers. Les travaux de forage étaient singulièrement facilités, la nitro-

glycérine pouvant s'employer aussi bien dans les roches humides que dans les roches sèches ; en outre, le bourrage donnait moins de peine et présentait moins de danger.

Les expériences exécutées au jour, dans d'autres districts, ne fournirent pas des résultats moins favorables. La nitroglycérine fut employée avec succès pour des roches calcaires très-dures, près d'Aix-la-Chapelle, et pour une lave compacte de basalte, dans le duché de Nassau.

On réussit même à faire usage de cette substance explosive à l'intérieur de mines où l'on avait toujours hésité à s'en servir, à cause du danger que les produits gazeux de la combustion ou la nitroglycérine non décomposée pouvaient présenter pour la santé des ouvriers ; en outre, la plupart des trous étant horizontaux, le chargement en était trouvé trop long. Les expériences entreprises dans les carrières de calamine, près d'Aix-la-Chapelle, à la mine du Roi, dans la Haute-Silésie, et dans le district de Freiberg, indiquèrent une telle supériorité de la nitroglycérine sur la poudre ordinaire que, malgré quelques explosions inexplicables et en dépit de plaintes exprimées, dans les débuts, par les mineurs qui se trouvaient atteints de maux de tête, la nitroglycérine fut partout adoptée et devint indispensable dans les régions humides.

On vérifia en même temps que la puissance des effets obtenus ne dépendait pas seulement de la structure de la roche, mais encore de la disposition du trou de mine : si la charge était enfoncée trop profondément, l'action explosive se portait de préférence sur les parties contiguës, qui étaient broyées et pulvérisées ; le même effet se produisait quand on opérait sur des roches tendres ou crevassées, en raison même de l'instantanéité de l'explosion (essais des mines de houille de Westphalie et des gisements de Stassfurt). Au contraire, dans les ardoisières du nord du pays de Galles, à Perhyn, la nitroglycérine fut employée avec succès : le travail fourni était très-considérable (2¹/₅ de nitroglycérine pour 600 000¹/₅ de roche brisée), et la rupture se produisait avec une grande régularité suivant les couches naturelles du dépôt à exploiter.

Quant à la disposition des trous de mine, on conserva, sur les conseils de Nobel, la profondeur usitée pour la poudre ordinaire, mais le diamètre fut sensiblement diminué ; ces trous étaient le plus souvent pratiqués au moyen de tarières en acier Bessemer suédois. On y introduisait la cartouche de nitroglycérine, munie de son

amorce, à l'aide d'un refouloir en bois. Rudberg recommandait d'enflammer la matière par le choc d'un tampon de chargement, que l'explosion d'une petite quantité de poudre lançait contre la nitroglycérine.

On parvint également à produire la rupture de masses de fer considérables : 50^{rs} de nitroglycérine suffisaient pour briser des blocs de 120 quintaux.

L'explosion de cette substance sous l'eau ne donna pas des résultats moins satisfaisants : une charge de 1^{rs},25 de nitroglycérine, munie d'une amorce et enfermée dans une bouteille en tôle, put soulever une colonne d'eau de 2 à 3^m de diamètre à une hauteur de 100 à 130^m (expérience de Nobel, à Horn).

Nobel s'est enfin servi de nitroglycérine pour les coups de signal ou de détresse : des fusées, dont la garniture se composait de 0^{rs},5 de nitroglycérine, étaient lancées à une hauteur de 300^m, et se déchargeaient alors en produisant une vive lumière et une violente détonation.

III. INCONVÉNIENTS DE LA NITROGLYCÉRINE.

La nitroglycérine offre d'incontestables avantages pour les travaux de mine, à l'intérieur et à l'extérieur, au point de vue de l'économie et de la rapidité des opérations, à cause de sa force explosive, 4 à 5 fois plus considérable que celle de la poudre ordinaire; mais elle présente aussi de sérieux inconvénients, qui se rattachent en partie à son état liquide.

On se plaignait, dès les débuts, de l'influence de la nitroglycérine sur la santé des mineurs : une habitude plus prolongée de la substance n'a pas tardé à supprimer la cause qui provoquait ces plaintes. Neimke a, en effet, remarqué que les ouvriers des mines du Harz ne ressentaient plus aucune atteinte depuis qu'ils s'appliquaient à manier la nitroglycérine avec de plus grandes précautions, et particulièrement à éviter tout contact direct. Mais il pouvait aussi arriver, comme on en a fait souvent l'observation, que, par suite d'un forage imparfait du trou de mine ou d'une confection défectueuse de la cartouche, la nitroglycérine s'infiltrât dans les fissures de la roche et ne fit qu'incomplètement explosion : les parties non décomposées produisaient alors sur l'organisme les troubles si fréquemment constatés.

Les dangers qui résultaient du transport de la nitroglycérine liquide constituaient un inconvénient non moins grave de cette substance explosive. Si le produit, imparfaitement purifié, avait éprouvé un commencement de décomposition, sans que les gaz formés pussent s'échapper des caisses d'étain où l'on enferme la nitroglycérine, de légères secousses suffisaient pour en provoquer la détonation. Si, au contraire, ces caisses ne fermaient pas hermétiquement, les dangers d'explosion se trouvaient encore augmentés. On peut, il est vrai, dans des circonstances données, se servir de nitroglycérine gelée, sous la condition d'opérer avec toutes les précautions reconnues nécessaires.

On fut amené, par toutes ces raisons, à abandonner l'emploi de la nitroglycérine sous forme liquide. Nobel fut encore le premier qui, vers la fin de 1866, parvint à la transformer en une masse solide et à l'introduire dans le commerce sous le nom de *dynamite*.

Nobel avait antérieurement proposé, pour assurer la conservation du produit en même temps que la sécurité des transports, de le dissoudre dans 15 à 20 p. 100 d'alcool méthylique anhydre (esprit de bois) : à cet état, la nitroglycérine ne détone ni par le choc ni par l'action d'un fulminate, et il suffit, pour la régénérer, de traiter la liqueur par 6 à 8 volumes d'eau. — Wurtz avait également recommandé d'émulsionner la nitroglycérine au moyen d'une solution de nitrate de zinc ou de chaux de même densité, et de reprendre ensuite le mélange par un excès d'eau.

B.

DYNAMITES.

On donne le nom de *dynamites* (*giant powder*) à des mélanges de nitroglycérine avec des substances poreuses. Le mélange, pour être parfait, devrait être constitué de telle façon que le liquide ne pût se séparer de l'absorbant ni sous l'action d'une pression énergique, ni pendant les transports, la conservation ou l'usage.

Les dynamites sont à base inerte ou à base active. Dans le premier

cas, la matière absorbante sert simplement de support à la nitroglycérine; elle ne concourt en rien à la déflagration et subsiste, après l'explosion, comme résidu plus ou moins modifié. Dans le second cas, au contraire, la déflagration de la matière absorbante s'ajoute à celle de la nitroglycérine.

a. *Dynamites à base inerte.*

On a dit, à tort, que Nobel avait été conduit par hasard à la découverte de la dynamite : en 1866, à l'époque où l'on s'occupait de prévenir les explosions de nitroglycérine en cours de transport, une fuite s'étant déclarée dans une des bouteilles en tôle pleines de liquide et emballées dans de la terre siliceuse très-poreuse, celle-ci aurait absorbé toute la nitroglycérine écoulee, se transformant ainsi en une véritable dynamite à base inerte.

D'après Nobel, les premières dynamites contenaient du charbon poreux imbibé de nitroglycérine, et de nombreuses expériences ont été faites avec divers absorbants, tels que terres calcinées, sciure de bois, papier ordinaire ou nitré, imbibé de liquide explosif et roulé en cartouches, avant l'adoption définitive de la silice poreuse.

§ I.

PRÉPARATION DES DYNAMITES A BASE INERTE.

Les diverses dynamites à base inerte se distinguent par la proportion de nitroglycérine qu'elles contiennent et par la nature de la matière absorbante qui lui sert de support. Ces matières sont principalement le *kieselguhr*, en Allemagne, et la *randanite*, en France; on a également employé la *silice ordinaire*, l'*alumine*, la *brique pulvérisée*, le *tripoli*, la *cen dre de houille*, la *cen dre d charbon de Boghead*, des *laitiers de forge*, etc.

I. DYNAMITES DE NOBEL.

La matière absorbante recommandée par Nobel est le *kieselguhr*, sorte de poussière blanche d'apparence farineuse, composée de silice presque pure, et dont on rencontre des gisements étendus à Oberlohe, près d'Unterlöss (Hanovre). Au microscope, cette substance se montre constituée par des carapaces d'infusoires siliceux, sous forme d'étuis enchevêtrés les uns dans les autres. D'après des expériences récemment exécutées en Autriche, la texture du *kieselguhr* paraît avoir une influence appréciable sur la puissance de la dynamite.

Les dynamites de Nobel présentent les compositions suivantes :

Nitroglycérine.	75 à 77 p. 100
Kieselguhr.	25 à 23 —

La production de 1 000^k de dynamite exige, en moyenne, 456^k de glycérine, 1 168^k d'acide nitrique, 2 031^k d'acide sulfurique et 253^k de *kieselguhr*.

La dynamite n° 1 de Nobel est aujourd'hui à 75 p. 100 de nitroglycérine.

On commence par calciner le *kieselguhr*, afin de le débarrasser de son humidité et des matières organiques ; on le soumet ensuite à un tamisage, pour éliminer les gros grains, puis on ajoute la nitroglycérine, et l'on pétrit le mélange à la main ; autrefois, on se servait le plus souvent, pour cette opération, de gants en caoutchouc. Il est important de ne pas dépasser la proportion de nitroglycérine qui produit la saturation complète, afin d'éviter les dangers qui résulteraient de l'exsudation ultérieure du liquide. La dynamite est alors introduite soit dans des boîtes en zinc, soit dans des cartouches.

II. DYNAMITES DE VONGES.

A la poudrerie de Vonges, le principal agent d'incorporation est la *randanite*, matière siliceuse entièrement analogue au *kieselguhr*, qu'on rencontre surtout aux environs de Ceyssat (Puy-de-Dôme) et dont on peut attribuer l'origine à la décomposition des *feldspaths* naturels par les eaux minérales acidulées. Mais on ajoute le plus

souvent à la randanite d'autres substances, telles que la *silice de Vierzon*, le *sous-carbonate de magnésie*, la *craie*, etc., destinées à modifier la capacité de saturation du mélange absorbant et l'apparence plus ou moins pâteuse du produit final. Le mélange de randanite et de sous-carbonate de magnésie, autrefois employé pour la dynamite à 75 p. 100, donnerait une matière trop sèche.

Le tableau suivant indique la composition des trois espèces de dynamite actuellement fabriquées à la poudrerie de Vonges, et celle d'une dynamite exceptionnellement riche destinée à des expériences spéciales :

	N° 1 à 75 p. 100.	N° 2 à 50 p. 100.	N° 3 à 30 p. 100.	Spéciale à 90 p. 100.
Nitroglycérine.	75	50	30	90
Randanite.	20,8	»	»	1
Silice de Vierzon.	3,8	48,0	»	»
Sous-carbonate de magnésie.	0,4	»	»	1
Craie de Meudon.	»	1,5	»	»
Ocre rouge.	»	0,5	»	»
Silice de Launois.	»	»	60	»
Laitiers de hauts-fourneaux.	»	»	4	»
Carbonate de chaux.	»	»	1	»
Ocre jaune.	»	»	5	»
Silice spéciale.	»	»	»	8

La dynamite la plus employée est le n° 1.

Avant l'incorporation, on soumet les matières absorbantes à la pulvérisation et au tamisage; la randanite est, en outre, séchée pendant 5 ou 6 heures dans un four à réverbère. Les matières et la nitroglycérine sont introduites dans une terrine en fer-blanc, où l'on fait un touillage grossier avec une spatule en bois; puis on verse le mélange (5^e environ) sur une table recouverte d'une feuille de plomb, où on l'étend à plusieurs reprises avec un rouleau en bois terminé par des poignées; pendant cette opération, les mains de l'ouvrier sont garanties par une plaque de cuir. La dynamite est alors mise dans des sacs placés dans des barils à main, que l'on porte à l'encartouchage.

Sobrero a récemment proposé d'éviter les manipulations inhérentes aux procédés de fabrication que nous venons de décrire, en mettant au préalable la matière inerte sous la forme de pains humides de dimensions convenables, qui sont ensuite séchés à 100° : il suffit alors de les plonger graduellement dans le liquide que l'on veut y introduire. On peut faciliter l'absorption en faisant le vide

sous une cloche qui couvre le récipient, puis en laissant rentrer l'air. D'après des essais exécutés par Sobrero avec de l'huile d'olive absorbée par des pains de farine fossile de Santa-Fiora, ce procédé doit permettre d'obtenir de la dynamite à 75 p. 100.

III. AUTRES DYNAMITES A BASE INERTE.

On a également fabriqué un grand nombre d'autres dynamites à base inerte (*), dont il nous suffira d'indiquer la composition.

Pendant le siège de Paris, on a installé deux fabriques de dynamite qui ont employé comme matière absorbante la *cen dre de charbon de Boghead*, soigneusement nettoyée et pulvérisée. Cette cendre, formée d'un mélange de silice et d'alumine, peut donner des dynamites à 60 ou 62 p. 100.

La *dynamite rouge*, dans laquelle la matière inerte est du *tripoli*, silice extrêmement divisée, peut contenir 66 à 68 p. 100 de nitroglycérine.

La *dynamite blanche* de Paulilles, près Port-Vendres, se compose, d'après Barbe, de 30 à 25 p. 100 d'une *terre siliceuse naturelle* et de 70 à 75 p. 100 de liquide explosif.

Horsley a proposé de mélanger 3 parties de nitroglycérine avec 8 parties d'*alun* ou de *sulfate de magnésie* pulvérisé et tamisé, ce qui donne une dynamite à 27,27 p. 100. Ce procédé est aujourd'hui abandonné.

Girard, Millot et Vogt ont employé du *sucre* comme absorbant de la nitroglycérine.

On a enfin obtenu des dynamites de 30 à 35 p. 100 avec la *brique pilée*, de 35 à 40 p. 100 avec la *cen dre de houille* ou avec les *gayses des Ardennes*, de 40 à 45 p. 100 avec la *silice fossile de Jourrin*, de 45 à 50 p. 100 avec des *laitiers légers de forge*, de 48 à 50 p. 100 avec les *silices légères de Vierzon*, etc.

(*) On désigne habituellement par le terme général de *dynamite* toute dynamite à base de terre siliceuse (kieselguhr, randanite, etc.).

§ II.

PROPRIÉTÉS DES DYNAMITES A BASE INERTE.

I. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

La dynamite de Nobel est une substance brune, quelquefois rougeâtre, à grains fins, un peu grasse au toucher, inodore; elle forme une masse pâteuse. Son action sur les organes est analogue à celle de la nitroglycérine (p. 686). Il en est de même de la plupart des autres propriétés physiques de la dynamite. Sa densité varie de 1,5 à 1,6.

La nitroglycérine se congelant à $+8^{\circ}$, la dynamite se transforme, à cette température, en une masse dure que l'on fait dégeler avec

les précautions précédemment indiquées (p. 687). Pour opérer sur de grandes masses, on se sert de l'appareil suivant (fig. 95 et 96) : deux cylindres en tôle AA et BB, concentriques et ouverts à la partie supérieure, sont solidement reliés par des agrafes transversales bb; on place la dynamite en J et l'on verse en W de l'eau tiède; l'appareil est fermé par un couvercle creux D rempli de cendres.

La dynamite gelée est moins sensible au choc que la dynamite molle: aussi faut-il une action plus énergique pour développer sa puissance explosive, qui n'est pas diminuée par l'état de congélation.

Au lieu de se contracter en se congelant, comme paraît le faire la nitroglycérine (p. 687), les dynamites se dilatent. Lors de la solidification, l'huile explosive, qui remplissait les plus petits interstices de la matière absorbante, se rassemble autour d'une

infinité de petits centres de cristallisation en se séparant de son

Fig. 95.

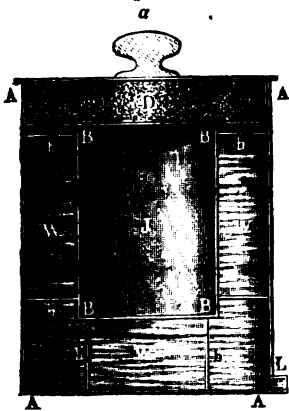
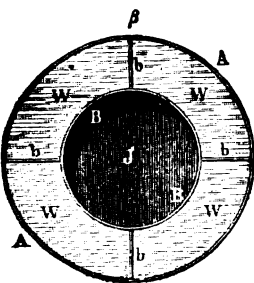


Fig. 96.



support : les vides sont donc moins bien occupés, et, malgré la contraction de la nitroglycérine, on peut ainsi s'expliquer que le volume total apparent augmente. Cette explication du phénomène rend compte en même temps de ce fait que, après quelque temps de conservation, la nitroglycérine se sépare en partie de l'absorbant, surtout pour les dynamites à base active, dans lesquelles l'affinité capillaire de la base pour le liquide explosif est en général très-faible et dont la préparation nécessite un mélange prolongé.

Cette séparation de la nitroglycérine de son absorbant par l'effet des congélations est un obstacle très-sérieux à la conservation des dynamites.

II. PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

Les propriétés chimiques des dynamites à base inerte offrent la plus grande analogie avec celles de la nitroglycérine (p. 688).

Pour évaluer le titre d'une dynamite, il suffit d'en traiter un poids déterminé par l'alcool absolu, par l'esprit de bois, ou mieux par l'éther, qui dissolvent la nitroglycérine : la liqueur est évaporée au bain de sable dans une capsule de platine, et l'on pèse le résidu. Schwarz a pu ainsi analyser deux espèces de dynamites, qui présentaient les compositions suivantes :

SUBSTANCES COMPOSANTES.	DYNAMITES	
	à base inerte (forte).	à base active (faible).
Nitroglycérine.	67,50 p. 100	56,90 p. 100
Craie.	30,41	"
Sciure de bois.	"	42,13
Eau et pertes.	2,39	0,97
	32,50	43,10

III. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.

a) Décomposition spontanée.

Ce que nous avons dit au sujet de la décomposition spontanée de la nitroglycérine (p. 689) peut s'appliquer aux dynamites à base inerte, avec cette différence que la division de la nitroglycérine,

résultant de son mélange avec une poudre solide, paraît être favorable à la stabilité du produit. On a pu également attribuer la diminution de sensibilité des dynamites à la difficulté qu'éprouve la substance absorbante, en raison même de sa nature plastique, à se mettre en vibrations par l'effet d'une commotion extérieure, tandis que la nitroglycérine liquide participe en toute circonstance aux mouvements vibratoires du vase qui la renferme.

On a observé plusieurs cas de décomposition spontanée, souvent attribués, comme celui des forges de Szalocz, à la qualité inférieure de la dynamite. Lorsque la décomposition se produit dans une dynamite acide, la marche en est lente; la matière atteint cependant quelquefois un état tellement instable, qu'il suffit d'un léger ébranlement, tel que celui qui résulte de l'ouverture d'une porte, pour en provoquer l'explosion. Cet effet se produit sûrement si la température ou la pression s'élèvent trop par suite des obstacles que rencontre le dégagement des gaz.

b) Action de la chaleur.

La chaleur ne produit, en général, ni directement, ni indirectement, l'explosion d'une dynamite bien préparée. Au contact d'une flamme ou d'un corps en ignition, une telle dynamite brûle lentement et sans explosion.

A Hüttelsdorf (1869), on plaça dans un feu de bois un baril solide et bien fermé par une bonde, contenant 4 à 5^{re} de dynamite divisés en cartouches de 35 à 70^{re} : au bout de 10 minutes, le baril s'ouvrit sous la pression des gaz, et son contenu brûla avec une flamme vive et claire. On obtint un résultat analogue en plaçant sur le feu une boîte en fer-blanc, ayant 0^m,20 de longueur sur 0^m,25 de diamètre, fermée par un couvercle de même métal et remplie de dynamite.

Les expériences de Bolley, Pestalozzi et Kundt à Zurich (1869) ont montré que 4^{re} de dynamite, exposés pendant 1 heure, en vase clos, à l'action de la température résultant d'un dégagement de vapeur d'eau, ne subissaient aucune altération : la nitroglycérine ne se séparait pas de la silice, et l'on ne remarquait aucun changement dans la consistance de la masse. Une demi-cartouche de dynamite, posée sur une plaque de tôle mise au feu, s'enflammait et brûlait lentement sans explosion. De nombreuses expériences exécutées en Suède (1868) avaient donné des résultats analogues. Pour étudier l'influence d'une application prolongée de la chaleur, Trauzl exposa,

pendant 40 jours, une certaine quantité de dynamite à une température de 60 à 70° : il ne put observer aucune modification de la matière.

Enfin, à Hüttelsdorf (1868) et à la Malmaison (avril 1871), on mit le feu à un morceau de cordeau Bickford plongeant dans de la dynamite : celle-ci resta intacte. L'archer chargea un trou de mine, ayant 1^m de profondeur sur 0^m,026 de diamètre, avec 0^m,375 de dynamite ; il y introduisit une mèche Bickford qu'il entoura de poudre ordinaire, et fit un bourrage sans tassement : le bourrage fut projeté par la déflagration, mais la dynamite resta intacte. Si, dans la même expérience, on remplaçait la poudre ordinaire par de la poudre blanche d'Augendre (p. 614), la dynamite s'enflammait et brûlait sans explosion. Cependant, à Paulilles (février 1871), on a pu allumer une moitié de cartouche à l'aide d'une flamme ; la seconde moitié fut allumée par une mèche Bickford : la combustion s'opéra avec lenteur et fut complète.

Si la dynamite est emmagasinée en grandes masses, il peut arriver que l'intérieur de la masse atteigne la température d'explosion avant que l'extérieur soit consumé, et que la détonation se produise (incendie de Hambourg). De même, quand la dynamite est enfermée dans des vases hermétiquement clos et à parois résistantes, elle détone toujours par l'action de la chaleur : ainsi, dans les expériences de Zurich, on a constaté qu'une cartouche en laiton, de 0^m,050 de longueur et 0^m,041 de diamètre, fermée par un bouchon à vis en laiton et jetée dans un feu de charbon, faisait explosion au bout de 1 minute avec une très-forte détonation ; on produisait une détonation moins violente en remplaçant le bouchon à vis par un bouchon de liège.

Au surplus, des accidents nombreux ont montré que la combustion des dynamites n'est pas exempte de tout danger d'explosion, même à l'air libre et quand les matières ne sont pas accumulées en grandes masses. Il est donc indispensable, lorsqu'on fait brûler de la dynamite, de se mettre à l'abri d'une explosion toujours possible.

c) Action du choc.

La dynamite, contenue dans des parois résistantes, fait explosion par le choc, lorsque celui-ci est suffisamment violent. Pour que la détonation se produise à l'air libre, il faut que les corps choqués soient très-durs et que l'intensité du choc ne descende pas au-

dessous d'une certaine limite. On produit toujours l'explosion par le choc de fer sur fer et quelquefois par le choc de fer sur pierre; on n'a pu arriver à la produire par le choc de fer sur bois. Une dynamite est d'autant plus sensible qu'elle est plus riche en nitroglycérine. La nature de l'absorbant exerce également une grande influence sur le phénomène : on doit préférer, à ce point de vue, les mélanges de nature grasse, plastique ou spongieuse.

Dans les expériences de Zurich, de très-petites quantités de dynamite ont toujours détoné par le choc d'un marteau sur une enclume; on n'a pu arriver à ce résultat en frappant avec un marteau sur un support de grès, de ciment ou de bois. Si l'on augmente la quantité de dynamite, on constate que la partie directement choquée détone seule et que l'explosion ne se communique pas au reste de la masse, qui est simplement dispersée. Pour déterminer la violence du choc nécessaire pour produire l'explosion, on tirait, au moyen de fusils à vent, des cartouches en tôle, dans lesquelles la dynamite était renfermée, contre la paroi verticale d'une roche éloignée de 13^m,50 : les cartouches à mince enveloppe détonaient seules, sans doute à cause de leur plus grande vitesse initiale; la vitesse des cartouches à parois épaisses était de 40^m par seconde.

A Redhill, Nobel a montré qu'une boîte contenant 4^{kg} de dynamite pouvait être lancée d'une hauteur de 20^m sur un rocher sans produire aucune détonation; une boîte semblable jetée dans le feu se consumait peu à peu. A Stockholm, Nobel fit tomber un poids de 100^{kg} d'une hauteur de 7^m environ sur une caisse en bois remplie de dynamite; celle-ci fut broyée, mais il n'en résulta aucune explosion. A Hüttelsdorf, un baril en bois cerclé de fer, contenant environ 5^{kg},6 de dynamite en cartouches à enveloppe de papier ordinaire, fut solidement fermé par une bonde et précipité d'une hauteur de 33^m sur des rochers : le baril et son contenu furent retrouvés intacts.

A Vincennes, une balle de chassepot, tirée à 25^m sur un sac en toile, contenant 500^g de dynamite et appliqué contre un talus en terre, a suffi pour en provoquer l'explosion. Il n'en était plus de même lorsque la dynamite était contenue dans un bidon en zinc et protégée par une planchette en bois. Dans une série d'expériences exécutées en Autriche (1874), pour étudier les conditions de l'explosion de la dynamite frappée par des projectiles et l'influence exercée par la nature du vase qui la renferme, on a constaté que, si l'on tirait à 60 pas avec un fusil Werndl sur une boîte cubique contenant 0^{kg},56

de dynamite, l'explosion se produisait immédiatement dans tous les cas. On a vérifié, en outre, que la dynamite peut être exposée sans danger au feu de l'infanterie quand les distances sont supérieures à 2500 pas ou à 1500 pas, suivant que la matière est simplement enfermée dans des boîtes en fer-blanc ou que ces boîtes sont elles-mêmes placées dans des caisses chargées sur des voitures.

d) Action de la lumière et de l'électricité.

La lumière solaire n'a d'influence sur la décomposition de la dynamite que par la chaleur dont elle est accompagnée. La dynamite mise au foyer d'une forte lentille brûle lentement, si elle est contenue dans une enveloppe non résistante, et fait explosion, si elle est en vase clos. La chaleur solaire directe, suffisamment prolongée, peut produire une altération qui facilite la tendance à la décomposition ultérieure; aussi convient-il de transporter et de conserver la dynamite en vase non clos.

La dynamite paraît conduire assez bien l'électricité statique à forte tension : de la dynamite, placée dans un tuyau et soumise à la décharge d'une grande bouteille de Leyde, n'a éprouvé aucune modification. Mais, si l'on faisait passer dans le même tuyau des étincelles provenant d'un fort appareil d'induction ou que l'on fit traverser par un courant électrique un fil plongeant dans la dynamite, celle-ci était en partie brûlée : il se produisait une petite explosion, et un bouchon fermant le tube se trouvait projeté.

e) Action de l'eau.

Si l'on met en présence de la dynamite et de l'eau, il se produit, au bout d'un temps plus ou moins long, une osmose plus ou moins complète entre l'eau et la nitroglycérine. Après avoir placé de la dynamite fortement bourrée au fond d'un tube de verre rempli d'eau, on a observé qu'au bout de 1/2 heure l'état des couches était le suivant : de l'eau pure, une couche mince de nitroglycérine, de la silice saturée d'eau, puis de la dynamite dans laquelle l'eau avait commencé à pénétrer, et enfin la plus grande partie de la charge encore intacte; au bout de plusieurs heures, l'eau n'était pas arrivée à plus de 0^m,03 à 0^m,04. La substitution de l'eau à la nitroglycérine se poursuit jusqu'à ce qu'elle soit complète.

En France, on a récemment signalé ce fait que, lorsqu'on conserve des cartouches séparées ou entassées, le papier qui enveloppe la dy-

namite devient peu à peu huileux et s'imbibe de nitroglycérine. Nous avons montré (p. 704) que ce fait peut s'expliquer par l'action de la congélation et de la liquéfaction successives de la nitroglycérine; l'eau d'imbibition a pu également expulser une partie du liquide explosif.

f) Conclusion.

Des expériences faites sur la dynamite on a souvent conclu que cette substance constitue l'un des explosifs les moins dangereux au point de vue des transports et des manipulations.

Cette assertion ne doit être accueillie que sous certaines réserves, surtout en ce qui concerne les usages militaires. Nous avons vu, en effet, qu'à partir d'une distance déterminée la dynamite est sensible au choc des balles (p. 708), et que certains chocs la font infailliblement détoner (p. 707). Les dynamites qui ne sont pas chimiquement neutres peuvent, en outre, être exposées à la décomposition (p. 705); dans celles qui ont été parfaitement préparées, on peut toujours craindre la séparation d'une partie de la nitroglycérine (p. 704). Enfin, les expériences sur les effets de la combustion et du choc (p. 706 et 707) ont souvent fourni des résultats contradictoires.

§ III.

USAGES DES DYNAMITES A BASE INERTE.

La dynamite produit des effets de rupture extrêmement puissants; elle peut donc présenter, dans certains cas, de grands avantages soit pour l'exploitation des mines, soit pour les usages militaires. Son action brisante et l'encrassement qui résulterait de la présence des matières inertes en empêchent toute utilisation dans les armes à feu.

I. AMORÇAGE ET CARTOUCHE.

a) Confection des amorces et des cartouches.

Dans les mines, la dynamite est exclusivement employée sous forme de cartouches de 0^m,023 à 0^m,052 de diamètre sur 0^m,026 à 0^m,210 de longueur; quand elles sont placées sous l'eau, ces car-

touches doivent être protégées par une enveloppe parfaitement étanche. L'enveloppe ordinaire des cartouches de dynamite se compose de papier parchemin ou de papier huilé; au besoin, on se sert également de boîtes en tôle ou de manches en toile. Ruggieri emploie deux couches de papier goudronné séparées par une feuille d'étain ou par une plaque de gutta-percha; la cartouche une fois fermée reçoit, en outre, un enduit de copal ou de goudron.

▲ la poudrerie de Vonges (p. 700), les cartouches destinées aux usages civils sont en papier fort doublé d'étain, et portent une bande de papier blanche pour la dynamite n° 1, rouge pour le n° 2 et jaune pour le n° 3; leur diamètre est le plus souvent de 0^m,030, quelquefois de 0^m,022. — La dynamite destinée aux usages militaires est encartouchée dans des étuis en fer-blanc de 0^m,2 d'épaisseur, ayant 0^m,130 de longueur sur 0^m,027 de diamètre extérieur. Ces étuis sont munis d'un couvercle de même diamètre extérieur, et le fond du tube porte, soudé perpendiculairement en son milieu, un tube cylindrique fermé en cuivre de 0^m,2 à 0^m,3 d'épaisseur, ayant une longueur de 30^{mm} et un diamètre intérieur de 6^{mm},4; ce tube est destiné au logement de la capsule qui, une fois déformée par son serrage sur la mèche Bickford, ne doit entrer qu'à frottement dur dans le tube en cuivre. — Pour la confection même des cartouches de dynamite, la matière est le plus possible tassée et bourrée au moyen de mandrins en bois. Cette opération, très-favorable à la puissance des effets obtenus et à la conservation des produits, n'est réellement avantageuse que pour une dynamite à consistance légèrement pâteuse (p. 704).

Dans la fabrique dont les procédés ont été décrits par F. Capitaine (p. 683), on confectionne 3 espèces de cartouches: les cartouches ordinaires ont 0^m,026 à 0^m,104 de longueur sur 0^m,026 de diamètre; les deux autres espèces sont des cartouches-amorces de 0^m,026 de longueur et de diamètre, dont les unes ne se distinguent des cartouches de la première espèce que par leurs dimensions, tandis que les autres, destinées à produire l'inflammation de la dynamite gelée, contiennent en outre un mélange tel que du chlorate de potasse et du sulfure d'antimoine, du salpêtre et de la colophane. L'appareil employé pour le moulage est d'une grande simplicité. On charge de 5^g de dynamite un récipient en toile qui aboutit à un entonnoir en laiton; on visse sur le col de cet entonnoir un tube cylindrique ayant le diamètre des cartouches à fabri-

quer et dans lequel se meut un piston. Lorsque celui-ci est relevé, il dégage l'ouverture du tube, dans lequel peut entrer la dynamite et que l'on entoure d'une enveloppe de papier parchemin fermée par le bas. En abaissant le piston, on fait alors sortir un cylindre de dynamite, que l'on coupe à la longueur voulue : il ne reste plus qu'à recouvrir la face supérieure de la cartouche.

b) Mode d'emploi des amorces et des cartouches.

La détonation de la dynamite s'obtient, comme celle de la nitroglycérine (p. 695) et du coton-poudre (p. 655), par l'emploi d'amorces fulminantes.

Ces amorces (fig. 93, p. 695) sont à charge triple; elles sont disposées dans la cartouche de telle manière qu'une partie de la capsule *ab* (fig. 97) dépasse le niveau supérieur de la dynamite. Le bord de l'enveloppe de papier replié à la partie supérieure est solidement relié à la mèche en *c* au moyen d'un cordon, afin d'assurer la fixité de la capsule dans son logement. La vitesse de propagation de la détonation dans une masse de dynamite enflammée au moyen d'une amorce fulminante varie de 6 à 10^m par seconde.

Fig. 97.



S'il s'agit de dynamite gelée, on augmente la charge de fulminate, qui ne doit pas être inférieure à 2^{es}, ou l'on se sert, ce qui vaut mieux, d'une petite cartouche-amorce de dynamite non gelée. On peut encore, suivant Trauzl, employer avec succès du coton-poudre imprégné de nitroglycérine

dans le rapport de 3 à 1 ou de 1 à 1; un autre mélange de coton-poudre et de nitroglycérine, essayé par ce chimiste, contenait en outre une forte proportion de chlorate de potasse. On a recommandé l'usage de semblables amorces dans les trous de mine remplis d'eau : un séjour prolongé dans l'eau ne paraît, en effet, faire subir aucune altération au mélange de coton-poudre et de nitroglycérine.

Pour les sautages sous l'eau ou dans des carrières humides, il faut apporter le plus grand soin à l'installation de l'amorce : la matière fulminante doit être absolument préservée du contact de l'eau. A cet effet, le cordeau, parfaitement étanche, est entouré, au point où il est fixé à la cartouche, de cire, de poix ou de suif. Il vaut

encore mieux se servir d'enveloppes en tôle mince, dont le col est muni d'un chapiteau d'une étanchéité complète; on a également employé des enveloppes de caoutchouc. Ces prescriptions sont de rigueur, lorsque la dynamite doit subir un séjour prolongé dans l'eau; nous avons vu, en effet (p. 708), qu'il pourrait se produire, au cas d'une enveloppe perméable, une substitution partielle de l'eau à la nitroglycérine.

Le chargement d'un trou de mine se fait de la manière suivante. On place une cartouche P_1 (fig. 98) au fond du trou, où on l'écrase



à l'aide d'un refouloir, de manière à faire sortir la dynamite de son enveloppe et à la mouler contre les parois; on opère de même pour les autres cartouches P_2 , P_3 , et l'on évite ainsi de laisser aucun espace libre autour de la charge. On introduit alors la cartouche-amorce Z toute préparée, qui n'est soumise à aucune compression; le bourrage, s'il y a lieu, sera peu énergique et devra être fait avec précaution. — Il faut éviter, autant que possible, l'emploi de la dynamite gelée, car on perd ainsi tout le bénéfice du mode de chargement que nous venons d'indiquer et qui est dû à la plasticité de la matière.

En général, les dimensions des trous de mine peuvent être réglées comme il suit. Dans les roches tendres ou dans les mines de houille, on pratiquera un grand nombre de trous de mine étroits et profonds, que l'on charge à plusieurs reprises successives de petites quantités de dynamite. Dans les roches dures, au contraire, on se servira de trous peu profonds, avec de très-fortes charges remplissant environ $1/3$ à $1/2$ de leur hauteur.

II. EXPÉRIENCES DIVERSES.

a) Usages civils.

Des expériences de Nobel à Redhill on avait conclu que la dynamite produisait des effets 10 fois supérieurs à ceux de la poudre ordinaire : on est revenu aujourd'hui à des appréciations plus mo-

dérées. On estime, en moyenne, que la force de la dynamite n° 1 de Paulilles est de 2,5 à 3 fois celle de la poudre. Les comparaisons sont du reste très-difficiles à établir, car le rapport des forces explosives varie, non-seulement avec la nature même des dynamites et leur mode d'emploi, mais aussi avec la résistance des terrains dans lesquels on les essaye.

On a constaté que, comme pour le coton-poudre comprimé (p. 656), la puissance des effets obtenus diminue avec la profondeur du trou de mine. D'après Pischhoff, une charge de dynamite placée dans un trou de 0^m,75 à 1^m de profondeur a produit des effets 6 fois supérieurs à ceux d'une charge égale placée dans un trou de même diamètre et profond de 2^m,50.

La dynamite a encore été appliquée avec succès à la rupture de blocs de pierre ou de masses métalliques situées à la surface du sol. — On l'a spécialement employée au forage des puits, en mettant à profit, pour la destruction de certains obstacles, la propriété qu'elle possède d'agir principalement sur son support, dans des circonstances déterminées. C'est ainsi que Paulsen a produit la rupture d'une couche de silex extrêmement incommode pour le forage d'un puits artésien : la partie supérieure du trou ayant été soigneusement nettoyée, la cartouche de dynamite, placée sur la roche à détruire et recouverte de terre glaise humectée, avait été enflammée par le procédé de Nobel ; la partie du trou déjà tubée n'avait reçu aucune atteinte. — La dynamite a également servi, dans les mines de Rammelsberg, à briser d'énormes blocs de pyrites sulfureuses qui eussent été, sans cela, fort pénibles à travailler. Elle a été utilisée, en France, à la suite de la guerre de 1870-1871, pour déblayer des amas considérables de matériaux, tels que ponts sautés, etc.

D'après Barbe, la dynamite a été d'un emploi extrêmement avantageux pour le percement d'un tunnel entre Montpellier et Rodez. Les travaux du tunnel de Biassa, entre Gênes et la Spezia, ont donné lieu à une comparaison intéressante des effets respectifs de la poudre et de la dynamite. La partie orientale se composant de calcaire dur ou de dolomite et la partie occidentale de schistes argileux tendres ou de grès humide, on a trouvé les résultats suivants :

PARTIE DU TUNNEL.	TRAVAIL EXÉCUTÉ					
	AVEC LA POUDBRE ORDINAIRE.			AVEC LA DYNAMITE.		
	Durée.	Longueur.	Section.	Durée.	Longueur.	Section.
	jours	m.	mq.	jours	m.	mq.
Orientale.	200	203,00	7,50	160	300,80	7,50
Occidentale.	190	80,75	7,00	170	107,00	7,00

On voit que la dynamite donnait journallement 14^m,10 dans le premier cas, et seulement 4^m,4 dans le second; pour la poudre, les chiffres correspondants sont 7^m,62 et 2^m,97. Bien que le rendement de la dynamite fût à peine double de celui de la poudre, les frais étaient inférieurs, pour la partie orientale, de 6^r par mètre cube de roche sautée, ce qui permettait de réaliser, pour l'étendue totale de 300^m,80, une économie de 13 500^r. — Des résultats analogues ont été obtenus dans les carrières de calamine de Chrzanow. On a constaté un bénéfice d'environ 50 p. 100 en opérant dans des carrières à plâtre, près de Hall, tandis que, dans les mines de sel gemme, la dynamite n'a pas paru présenter d'avantages sérieux.

La dynamite a été récemment appliquée par Closse à des sautages sous-marins, destinés à supprimer des roches qui faisaient obstacle à la navigation. La matière était enfermée dans une boîte en tôle, parfaitement étanche, dans laquelle était disposée une amorce électrique; la cartouche était simplement placée sur la roche préalablement nettoyée, située à une profondeur variant de 0^m,95 à 3^m,80 au-dessous de la surface de l'eau, puis on l'enflammait. Comme il n'y avait qu'une partie de la charge employée qui pût produire son action, les frais se trouvaient très-élevés, mais le but que l'on se proposait était atteint avec une rapidité et une facilité relatives, tandis que la poudre ordinaire était d'un emploi à peu près impossible dans les mêmes circonstances. L'explosion d'une cartouche de dynamite imprime à l'eau une secousse extrêmement violente: les poissons sont étourdis à une distance considérable, et l'on a profité de cette particularité, pendant le siège de Paris, pour organiser des pêches sur une grande échelle.

La dynamite n'a pas été employée avec moins de succès pour la rupture de grandes masses de glace; c'est ainsi que, pendant le siège

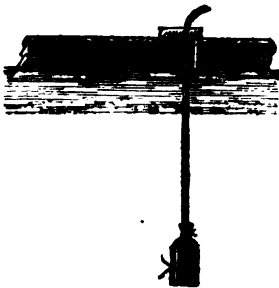
de Paris, on a pu remettre à flot des canonniers arrêtées par les glaces au milieu de la Seine. — Les instructions les plus précises sur le mode d'emploi de la dynamite dans ce cas particulier sont dues à Gobin. Il s'agissait de dégager le Rhône à Lyon; la glace avait environ 0^m,18 à 0^m,20 d'épaisseur. En posant la dynamite simplement à la surface de la glace et en la recouvrant d'une couche d'argile, on n'obtenait que des effets peu satisfaisants. Gobin fit alors pratiquer, parallèlement au bord libre de la glace et à une distance de 14^m, une entaille ayant environ 1^m de longueur et 0^m,04 à 0^m,05 de profondeur (fig. 99); il y plaça une cartouche ovale contenant à

Fig. 99.



peu près 210^g de dynamite et la recouvrit d'une couche de sable de 0^m,03 à 0^m,04 de hauteur: les fentes produites par l'explosion avaient, en moyenne, 40^{cm} à 50^{cm} de longueur, et l'une d'elles avait même 220^{cm}. Pour réaliser une rupture encore plus complète, Gobin se servait avec avantage de trous verticaux de 0^m,08 à 0^m,10 de diamètre, à travers lesquels une cartouche de dynamite de 17 à 35^g, munie d'une amorce à joint étanche, plongeait jusqu'à 0^m,70 environ au-dessous de la surface de la glace (fig. 100). Pour éviter la congélation de la

Fig. 100.



dynamite, il faut, en général, opérer rapidement et entourer les cartouches de corps mauvais conducteurs de la chaleur. Dans une journée, avec 4 ouvriers et une dépense de 40^g, Gobin pouvait briser une étendue de 50 000^m² de glace. — Des expériences analogues, exécutées sur l'Oder (janvier 1868), ont également donné de bons résultats; la dynamite était exclusivement employée sous la couche de glace, et surtout en

cartouches de 50^g, que l'on avait préalablement trempées dans de la poix bouillante, afin d'élever le plus possible leur température et de prévenir ainsi leur congélation. On produisait ainsi, en moyenne, dans une couche de glace de 0^m,28 d'épaisseur, un trou de 2^m à 4^m de diamètre, et la glace se trouvait sillonnée de fortes crevasses sur un rayon de 8^m tout autour du centre de l'explosion. Les expériences faites sur l'Iglava (1870) ont donné des résultats aussi favorables. Il est d'ailleurs devenu inutile de dégeler la dynamite, opé-

ration toujours longue et quelquefois dangereuse, en raison de la possibilité de faire détoner sûrement et avec facilité la dynamite gelée (p. 711).

b) Usages militaires.

Dans les marines allemande et autrichienne, la dynamite a été récemment appliquée, à titre d'essai, au chargement des torpilles. L'efficacité de ce corps explosif contre les cuirasses des navires résulte suffisamment de ce fait que 10² de dynamite ont produit des fentes larges et profondes dans une plaque en fer forgé de 0^m,16 d'épaisseur. Toutefois, la dynamite n'a pu être adoptée pour le chargement des projectiles creux, et l'on semble aujourd'hui préférer pour les torpilles le coton-poudre comprimé; l'action d'une bombe de 9^m,5 chargée de 0^m,75 de dynamite, et tirée sur une plaque de blindage de 0^m,117 d'épaisseur, paraît avoir été insignifiante (Vienne, 1868).

Des expériences exécutées en Prusse et en Autriche ont montré que la dynamite pouvait être avantageusement appliquée à d'autres usages militaires. Les palissadements les mieux établis, même dans l'eau, peuvent être complètement détruits par l'explosion d'une manche de toile remplie de dynamite et placée contre les ouvrages; les palissades sont projetées jusqu'à 62^m. On peut également utiliser la dynamite pour la guerre de mines, au moins dans la plupart des cas; le terrain qui convient le mieux pour cette sorte d'opérations est la terre glaise, qui a l'avantage de préserver les fourneaux de mine de l'humidité. La dynamite est aussi employée pour pratiquer des tranchées dans un sol gelé.

De fortes poutres d'un pont en bois ont été brisées à l'aide d'une charge de 5^t de dynamite, renfermée dans une boîte en tôle de 1^m,20 de longueur. De gros arbres, dont le diamètre allait jusqu'à 0^m,60, ont été coupés par l'explosion d'un cordon de dynamite, dont on les avait entourés, ce qui permet de faire en très-peu de temps un abatis d'arbres considérable. Enfin, après la coupe des arbres, l'extraction si longue et si pénible des grosses racines peut être singulièrement facilitée par l'emploi de la dynamite.

Dans la guerre de 1870-1871, la dynamite a été utilisée pour démolir des pans de mur, et jusqu'à des bâtiments entiers. Dans le premier cas, il suffisait de placer de distance en distance des charges

de dynamite le long du mur; dans le second, on disposait simplement une cartouche de 4 à 12^l au milieu d'une pièce du rez-de-chaussée; ces charges se trouvaient souvent trop fortes.

De nombreux essais ont mis en évidence la facilité avec laquelle on peut rompre, à l'aide de la dynamite, des masses métalliques considérables; des applications de ce genre avaient été déjà faites dans les travaux de pyrotechnie civile. Dans la dernière guerre, on a pu ainsi mettre complètement hors de service de nombreuses bouches à feu : une cartouche de 2^l, mise en contact direct avec le tube de la pièce et avec une couche de terre glaise humide de 0^m,05 à 0^m,08 d'épaisseur, a suffi pour détacher du bourrelet un morceau de 0^m,30 à 0^m,40 de longueur, le reste du tube étant sillonné de fentes. Enfin, la dynamite a pu être employée avec succès à faire sauter des rails de chemin de fer, des montants en fer, des loups ou renards (masses de fer qui se rassemblent au fond des hauts-fourneaux), et à percer des plaques de blindage des navires.

III. COMPARAISON DE LA DYNAMITE ET DU COTON-POUDRE.

Le coton-poudre comprimé est actuellement le seul corps explosif qui, au point de vue de la puissance de ses effets et de la commodité de son emploi, doive être comparé à la dynamite.

Les expériences autrichiennes de Simmering (1870-1871) ont montré que le coton-poudre comprimé de Stowmarket (densité 1,0) donnait des résultats un peu inférieurs à ceux de la dynamite, tandis que les cotons-poudre fabriqués en Autriche par les procédés de Stowmarket (densité 0,9) ou de Hirtenberg (densité 0,8) donnaient des résultats équivalents et parfois même supérieurs à ceux de cette dernière substance.

L'École de pyrotechnie de la marine; à Toulon, a également comparé le coton-poudre comprimé avec la dynamite Ibos à 75 p. 100, qui fut reconnue la plus énergique des différentes dynamites employées, en opérant sur des cylindres identiques de 150^{mm} des deux substances. Les dégâts produits sur des plateaux en chêne de 0^m,20 d'épaisseur ont paru comparables. En plaçant les charges sur un bloc cylindrique en bronze supporté par un cylindre en plomb bien tourné qui reposait sur une forte enclume, et en mesurant la déformation du second cylindre, on a constaté que, dans les deux cas,

les effets produits étaient encore les mêmes. Si l'on plaçait la charge directement sur le cylindre en plomb, la dynamite refoulait le métal circulairement, de manière à lui donner la forme d'un champignon, tandis que le coton-poudre produisait dans le cylindre des ravages profonds et des déchirements en tous sens.

Enfin, le coton-poudre présente sur la dynamite (p. 707) l'avantage de ne jamais détoner par le choc d'une balle tirée à distance quelconque; tout au plus peut-il s'enflammer sans explosion. Il résulte d'expériences autrichiennes que, si l'on avait à opérer à moins de 1 500 ou de 2 500 pas de l'infanterie ennemie, suivant que les boîtes de dynamite sont chargées ou non dans des caisses, il y aurait avantage à substituer le coton-poudre à cette substance explosive.

IV. CONCLUSION.

La dynamite offre, sur la poudre et sur la plupart des autres matières explosives, l'avantage d'être employée facilement pour le sautage des roches humides et, en général, dans des conditions qui excluraient la poudre ordinaire. La santé des ouvriers n'a pas à souffrir des produits de l'explosion, lorsque cette dernière est complète. La dynamite doit être maniée avec précaution, comme toutes les matières explosives.

La fabrication même de la dynamite et celle de la nitroglycérine semblent présenter d'assez grands dangers : six fabriques ont sauté dans la seule année 1870, et les causes de ces explosions ne sont qu'imparfaitement connues; aussi doit-on recommander les plus grandes précautions dans le maniement de la dynamite, même au moment de son emploi. En outre, quand on opère sous l'eau, les enveloppes étanches deviennent indispensables. Enfin, la matière se congèle à une température relativement élevée.

Ces derniers inconvénients acquièrent une importance réelle pour les travaux de pyrotechnie militaire.

β. *Dynamites à base active.*

On peut ranger les dynamites à base active en 3 catégories distinctes, suivant qu'elles sont :

- 1° A base de *charbon* (coke);
- 2° A base de *poudre ordinaire* ou de *ses dérivées* (poudre de mine ordinaire, poudres aux nitrates de soude, de baryte et d'ammoniaque, poudres chloratées);
- 3° A base de *pyroxyles* (coton-poudre, sciure de bois nitrifiée, etc.).

On doit retrouver dans ces dynamites, en même temps que les propriétés brisantes de la nitroglycérine, les effets de détente qui caractérisent les poudres à combustion plus lente. On a cherché, en outre, à atténuer les défauts reprochés à la dynamite siliceuse, et spécialement la facilité avec laquelle la nitroglycérine abandonne la silice, sous l'action de l'eau, et son point de congélation élevé.

§ I.

DYNAMITE A BASE DE CHARBON.

DYNAMITE NOIRE.

Cette substance consiste en un mélange de *coke* pulvérisé et de *sable*, qui peut absorber environ 45 p. 100 de nitroglycérine.

Elle est moins brisante que les dynamites à base inerte. Son explosion est moins instantanée; sa combustion développe une quantité de chaleur un peu plus grande, presque toujours suffisante pour entraîner sa détonation. Mais la dynamite **noire** est d'un maniement plus dangereux que la dynamite siliceuse.

§ II.

DYNAMITES A BASE DE POUDRE ORDINAIRE OU DE SES DÉRIVÉES.

I. DYNAMITES DE NOBEL ET DE FAHNELJELM.

Le premier essai de dynamite à base de poudre noire est dû à Nobel (p. 694) : le mélange de 100 parties de *poudre ordinaire* et de 40 parties de nitroglycérine, préparé, immédiatement avant l'emploi, dans des boîtes en tôle de zinc, était destiné à assurer l'explosion des cartouches de nitroglycérine.

Le *ternaire de poudre* pulvérisé peut recevoir jusqu'à 33 p. 100 de nitroglycérine : en ne lui donnant que 10 à 12 p. 100 de ce liquide, on peut le comprimer en cartouches ayant une densité de 2 environ, qui détonent avec une amorce forte. Il y a d'ailleurs avantage à remplacer le ternaire par un binaire non inflammable.

Nobel prit plus tard, en France, un brevet pour les deux compositions suivantes, appelées quelquefois *dynamites au charbon*, dont on peut augmenter la force par une addition de soufre :

Nitrate de baryte.	68	70
Charbon de bois.	12	"
Résine.	"	10
Nitroglycérine.	20	20
	<hr/>	<hr/>
	100	100

La *sébastine*, récemment proposée par Fahneljelm, est une dynamite à base de charbon et de salpêtre, qui présente les compositions suivantes :

Nitroglycérine.	78	68
Charbon de bois.	14	20
Salpêtre.	8	12

D'après l'inventeur, les proportions des composants doivent rester comprises entre 50 et 80 p. 100 pour le premier, 15 et 35 p. 100 pour le second, 5 et 20 p. 100 pour le troisième.

II. DYNAMITES DE COLOGNE ET DE PAULILLES.

La dynamite fabriquée à Cologne par les frères Wasserfuhr (1871), et connue sous le nom de *Coloniapulver*, paraît se composer d'une poudre de mine de qualité inférieure, imprégnée de 30 à 35 p. 100 de nitroglycérine. Les essais auxquels ce produit a été soumis à Bonn ont montré que, dans des circonstances favorables, sa force est 5 à 6 fois supérieure à celle de la poudre ordinaire, mais qu'il exige l'emploi d'une amorce à très-forte charge, c'est-à-dire très-coûteuse. On peut s'expliquer ainsi le peu de succès de cette dynamite, malgré son prix peu élevé (3^r le kilogramme). — La *poudre d'Hercule* est analogue à la poudre de Cologne.

La *poudre de Vulcain*, de W. Warren, est un mélange de 30 p. 100 de nitroglycérine avec 52,5 de nitrate de soude, 7 de soufre et 10,5 de charbon.

Les *dynamites grises* de Paulilles sont des mélanges semblables aux précédents; la proportion de nitroglycérine ne dépasse guère 20 à 25 p. 100. Pour la dynamite n° 3, le corps absorbant se compose d'un mélange de nitrate de soude et de résine, auquel on ajoute quelquefois du charbon de bois. Ces dynamites sont moins explosives que la dynamite blanche; aussi emploie-t-on généralement cette dernière pour les cartouches-amorces, et l'on en mélange un certain nombre à la charge de dynamite grise.

III. DYNAMITE A L'AMMONIAQUE.

Le produit connu depuis quelques années sous le nom d'*ammoniakkrut* ou de *dynamite à l'ammoniaque*, et inventé par Ohlson et Norrbin, paraît être formé de 10 à 20 parties de nitroglycérine pour 80 de nitrate d'ammoniaque et 6 de charbon.

Malgré son énorme puissance (cf. p. 606), qui est supérieure à celle de la dynamite ordinaire (p. 734), cette substance n'est plus aujourd'hui d'aucun usage en raison de sa nature hygroscopique. Toutefois, Nobel a proposé d'en faciliter l'emploi en introduisant dans le mélange actif une certaine proportion de paraffine ou d'ozokérite, qui jouerait dans la détonation le même rôle que le carbone.

IV. SÉRANINE ET POUSSÉ DE HORSLEY.

Ces deux dynamites sont des mélanges de nitroglycérine et de chlorate de potasse.

Suivant Nobel, la substitution de ce dernier sel au salpêtre ou au nitrate de soude augmente beaucoup le prix du produit et en accroît peu la force, tout en le rendant plus dangereux.

V. LITHOFRACTEUR.

Cette substance, fabriquée à Deutz par Krebs sous le nom de *lithofacteur perfectionné* (cf. p. 610 et 669), a donné lieu à un grand nombre d'essais se rattachant à la pyrotechnie civile ou militaire. Elle se compose essentiellement d'un mélange de dynamite à base active et de dynamite à base inerte.

a) Fabrication.

Le lithofacteur se présente sous la forme d'une pâte gris noirâtre, qui se prend facilement en masse sous l'action d'une faible compression.

Sa composition et sa préparation ne sont pas exactement connues. Deux échantillons, analysés par Trauzl et par Ulex, ont donné les résultats suivants :

	D'après Trauzl.	D'après Ulex.
Nitroglycérine.	52	70
Kieselguhr et sable.	30	23
Houille en poudre.	12	2
Nitrate de soude.	4	"
Nitrate de baryte.	"	3
Soufre.	2	"
	<hr/> 100	<hr/> 100

Un autre échantillon ne contenait que 35 p. 100 de nitroglycérine et renfermait du nitrate de baryte. Il en résulte que, conformément aux conclusions de Beckerhinn et de Lauer, le lithofacteur paraît devoir être un mélange de dynamite siliceuse avec une mauvaise poudre de mine; celle-ci renfermerait, d'après Beckerhinn, du salpêtre au lieu du nitrate de soude. Suivant d'autres chimistes, le lithofacteur ne se composerait que de nitroglycérine et d'une

poudre de mine noire, avec de petites quantités d'argile. Enfin, des analyses anglaises ont indiqué la présence du coton-poudre, du soufre, du charbon, du salpêtre, de la silice et d'une poudre au chlorate, avec 70 p. 100 de nitroglycérine.

Quoi qu'il en soit, la composition indiquée aujourd'hui par les fabricants est la suivante :

Nitroglycérine.	53
Kieselguhr.	21
Charbon en poudre.	8
Nitrate de baryte et bicarbonate de soude, ou l'un des deux.	18
Soufre et oxyde de manganèse, ou l'un des deux.	3
	100

b) Propriétés.

L'addition de la poudre noire à la dynamite siliceuse ou à la nitroglycérine a pour effet d'abaisser la température d'inflammation de la substance. D'après Trauzl, cette température est de 120° pour le lithofracteur et de 190° pour la dynamite ; les expériences anglaises, au contraire, fixent l'inflammation du lithofracteur à 190°. La divergence de ces résultats paraît tenir à la dissemblance des produits.

On livre au commerce 3 sortes de lithofracteurs, qui se distinguent entre eux par leur force explosive.

Enflammé à l'air libre, le lithofracteur brûle sans explosion, en produisant un jet de flamme rougeâtre ; il dégage peu de fumée, même lorsqu'il brûle en grande masse. Quatre caisses contenant 200^k de lithofracteur gelé, que l'on cherchait à dégeler sans précautions dans un four chauffé, ont pris feu et se sont consumées avec une grande vivacité, sans provoquer aucune explosion.

Nous formulerons à ce sujet les mêmes réserves que pour la dynamite ordinaire (p. 709), dont le lithofracteur se rapproche beaucoup par l'ensemble de ses propriétés.

c) Usages.

Le lithofracteur est employé, comme la dynamite, sous forme de cartouches ou dans des manches en toile ; le mode d'inflammation est analogue (p. 711).

D'après Luckow, la force du meilleur lithofracteur (n° 1) est de 6 à 7 fois supérieure à celle de la poudre de mine ordinaire ; ce chiffre est sans doute fort exagéré (p. 712).

Les trous de mine de 0^m,039 de diamètre ne doivent pas avoir une profondeur supérieure à 1 mètre ; la charge doit s'élever jusqu'au tiers ou au quart de la hauteur. Une ventilation convenable doit permettre de reprendre aussitôt les travaux. La nature des produits de la combustion n'est pas encore suffisamment connue : la forte proportion de carbone indiquée par Trauzl montre qu'il s'est certainement formé de l'oxyde de carbone, mais on ne peut dire en quelle quantité.

La rupture de blocs de fer, des renards de hauts-fourneaux, etc., a pu être effectuée au moyen du lithofacteur : il suffisait de comprimer la charge à la surface de la masse et de la recouvrir d'une couche de terre glaise humide. On a également réussi à briser la glace sur le Rhin, à Griethausen, et à l'embouchure de la Vistule : on perceait des trous à la surface et l'on suspendait les cartouches dans l'eau, à une distance d'autant moindre que la glace était plus forte. Des charges de 0^k,5 à 1^k,5 donnaient des trous de 2^m,50 à 9^m,40.

Le lithofacteur peut être appliqué à quelques usages militaires. Des canons du Mont-Valérien ont été détruits, comme avec la dynamite et par un procédé semblable (p. 717), au moyen de charges variant de 1^k à 2^k,5, suivant le calibre des pièces. Des casemates à l'épreuve de la bombe, formées de rails de chemin de fer, ont été complètement détruites ; 2^k de lithofacteur brisaient 5 rails, 4^k,5 en. brisaient 15. Les sautages souterrains, tels que ceux de la guerre de mines, ont donné d'assez mauvais résultats, à cause de la faible résistance offerte par la terre et de l'action brisante de la substance explosive ; mais, renfermé dans des manches en toile ou dans des tubes en tôle de zinc, le lithofacteur a pu être employé avec quelque succès pour la destruction des palissades. Les essais de sautage sous l'eau semblent avoir réussi.

En résumé, d'après les résultats obtenus jusqu'à ce jour, le lithofacteur paraît être, au point de vue de ses effets, un agent de rupture tout à fait comparable à la dynamite. Il présente, toutefois, l'inconvénient de s'enflammer à une température moins élevée et d'être plus hygrométrique. Quant à la proportion d'oxyde de carbone contenue dans les produits de la combustion, c'est-à-dire à leur influence sur la santé des ouvriers, on ne possède pas encore de documents qui permettent de trancher la question.

§ III.

DYNAMITES A BASE DE PYROXYLES.

I. DYNAMITES AU COTON-POUDRE.

a) Dynamite de Trauzl.

Trauzl a essayé (1867) d'introduire dans la pratique des mélanges de nitroglycérine et de coton-poudre en pâte. Il avait, en effet, reconnu que ces compositions jouissaient de l'importante propriété de ne s'altérer ni par l'eau, ni par l'humidité; en outre, après une absorption de 15 p. 100 d'eau, elles devenaient d'un maniement facile et sans danger, tout en restant susceptibles de détoner par l'action d'une amorce fulminante. Ainsi, un mélange de 73 parties de nitroglycérine avec 25 de coton-poudre et 2 de charbon, imprégné de 15 p. 100 d'humidité après avoir été maintenu sous l'eau pendant 4 jours, a pu produire une violente détonation sous l'influence d'une forte capsule. Mais cette substance n'a pas encore été jusqu'ici soumise à des expériences régulières. Toutefois, Trauzl a pu substituer à l'eau une série d'autres corps, tels, par exemple, que la glycérine, dont l'addition doit avoir, en outre, la propriété d'abaisser le point de congélation de la nitroglycérine.

L'explosion de la dynamite au coton-poudre de Trauzl paraît développer une force considérable et se rapprochant de celle que produit l'explosion de la nitroglycérine pure (p. 734). Une cartouche-amorce de cette dynamite, contenant au moins 70 p. 100 de nitroglycérine et détonant par l'action d'une capsule chargée de 0^m,5 de fulminate de mercure, détermine toujours l'explosion de la dynamite gelée.

b) Glyoxyline d'Abel.

Abel a essayé tout récemment, en Angleterre, un mélange de coton-poudre en pâte et de salpêtre saturé de nitroglycérine, auquel il a donné le nom de *glyoxyline*.

D'après Abel, cette dynamite est très-stable et très-commode à manier. Elle a donné d'excellents résultats pour les pétardements et convient également bien pour le chargement des projectiles creux; une bombe, dont la charge en glyoxyline n'était que 1/3 de la charge

en poudre ordinaire, a donné 10 fois plus d'éclats que sous l'action de cette dernière poudre. Mais il convient d'attendre que cette nouvelle substance explosive ait été soumise à des expériences plus prolongées.

II. DUALINES.

On désigne sous le nom de *dualines* des mélanges de nitroglycérine avec de la sciure de bois traitée par l'acide nitrique, c'est-à-dire avec de la poudre Schultzze (p. 667), ou avec d'autres pyroxyles analogues.

a) Fabrication.

La *dualine* fabriquée par Dittmar à Charlottenbourg (1869) présente, d'après Trauzl, la composition suivante :

Nitroglycérine.	50
Sciure de bois en poudre.	30
Salpêtre.	20
	100

Le brevet de Dittmar indique 5 méthodes permettant d'obtenir diverses variétés de dualine; la *sciure de bois* employée doit être préalablement traitée par des acides faibles et par une solution de soude. La composition du produit obtenu par le premier procédé correspond à celle qui résulte des analyses de Trauzl.

En employant de la poussière de bois lavée à la soude et torréfiée, Trauzl est arrivé à préparer une dynamite très-puissante à 75 p. 100 de nitroglycérine.

Les *dynamites Nobel* n° 2 et 3 (cf. p. 700), fabriquées à Krümmel et à Zamky, sont de véritables dualines mélangées d'une certaine proportion de kieselguhr. Leur composition est la suivante :

	N° 2.	N° 3.
Nitroglycérine.	48 à 50	30 à 35
Sciure de bois torréfiée et salpêtrée.	10	60
Kieselguhr.	40.	5

Elles constituent des matières brunâtres de 1,3 de densité; la première est destinée aux roches de moyenne dureté, la seconde aux mines pour lesquelles une action trop vive est nuisible, et spécialement aux mines de houille.

Nobel a également fabriqué des dynamites composées de 52 p. 100

de nitroglycérine, 10 à 16 de sciure de bois, 36,5 à 30,5 de salpêtre et 1,5 de soude.

Les autres dualines se distinguent de celle de Dittmar par la substitution de la *cellulose*, de l'*amidon* ou de la *mannite* à la sciure de bois. Ces substances ont l'avantage de présenter une plus grande homogénéité et un pouvoir absorbant plus considérable.

b) Propriétés.

La dualine qui se rencontre dans le commerce est une poudre d'un brun jaunâtre, dont le poids spécifique est seulement de 1,03. A l'air libre, elle brûle sans explosion; mais elle paraît s'enflammer plus facilement que la dynamite ordinaire ou le lithofacteur par le choc ou par le contact de corps enflammés. Des expériences autrichiennes semblent, il est vrai, avoir montré que la dualine ne détone ni par un choc violent, ni par suite d'une chute sur le sol : le forage d'une cartouche par un ouvrier exercé, pour l'introduction de la capsule, n'en a pas moins donné lieu à un accident. On délivre aujourd'hui des cartouches spéciales, dans lesquelles a été pratiquée une cavité pour recevoir l'amorce.

D'après Dittmar, le froid serait sans influence sur l'état physique de la dualine : on ne voit pourtant aucune raison pour que la nitroglycérine qu'elle renferme n'y éprouve pas la même modification que dans la dynamite siliceuse ou dans le lithofacteur.

c) Usages.

La dualine est employée sous forme de cartouches, protégées contre l'humidité par un enduit de verre soluble. Le moyen le plus sûr de produire la détonation consiste à se servir d'une forte amorce fulminante, quoiqu'on puisse l'obtenir également au moyen d'un cordeau porte-feu, mais seulement dans un lieu parfaitement sec et avec un bourrage solide.

Les expériences que l'on a faites sur la dualine ne sont pas encore assez nombreuses pour permettre de porter sur ce produit un jugement définitif. Les essais exécutés dans les mines de houille et dans les gisements de Stassfurt ont indiqué que la rapidité de décomposition de la dualine paraît être moins grande et, par suite, son action plus progressive que celle des autres dynamites. La force de cette matière explosive doit être de 6 à 8 fois supérieure à celle de la poudre de mine ordinaire; toutefois, dans les grès gris des

environs de Vienne, avec des trous de 0^m,039 de diamètre et un bourrage léger, on n'a obtenu que des effets 5 fois plus considérables.

Les inconvénients de la dualine comparée aux autres dynamites, et spécialement à la dynamite siliceuse, sont les suivants : la manipulation de cette substance n'offre pas une sécurité suffisante ; sa faible densité entraîne l'emploi de charges volumineuses et de trous de mine de grandes dimensions ; en outre, la base des diverses dualines ne possède qu'un faible pouvoir absorbant pour la nitroglycérine, ce qui rend nécessaire l'usage de fortes enveloppes pour les cartouches. Enfin il est vraisemblable, en raison de la forte proportion de carbone que contient la dualine, que l'oxyde de carbone figure parmi les produits de l'explosion.

III. AUTRES DYNAMITES A BASE DE PYROXYLES.

W. Shaem a recommandé (1869) un produit analogue à la *dualine* quant à sa composition. On l'obtient en imprégnant 100 parties de poudre Schultze de 10 à 60 parties de nitroglycérine.

Nobel a récemment proposé, sous le nom de *gomme explosive* ou *dynamite-gomme*, un mélange de 93 à 95 p. 100 de nitroglycérine avec 7 à 5 p. 100 de collodion. Le produit ainsi obtenu, visqueux, translucide, d'une densité de 1,70, facile à couper avec un couteau ou avec des ciseaux pour être placé dans des cartouches ou dans des obus, se dissout complètement dans l'éther alcoolisé ; il est imperméable à l'eau et ne paraît pas donner trace d'exsudation. On peut l'employer pour le chargement des bombes, pour les torpilles et pour les mines. Sa puissance est, d'après Nobel, supérieure d'au moins 50 p. 100 à celle de la dynamite siliceuse.

La *fulminatine* est une nouvelle dynamite qui, d'après Fuchs, contient jusqu'à 85 p. 100 de nitroglycérine avec une substance « préparée par un procédé chimique ». Brûlée à l'air libre, elle donne un faible résidu, riche en carbone.

C.

GÉNÉRALITÉS SUR LA NITROGLYCÉRINE
ET SUR LES DYNAMITES.

Les composés explosifs dérivés de la nitroglycérine, et en première ligne la dynamite siliceuse, ont acquis pour l'exploitation des mines une importance telle que la fabrication industrielle de ces matières a pris, dans ces dernières années, un développement considérable.

Avant d'indiquer les chiffres qui se rapportent à cette production et de comparer entre elles les diverses substances que nous venons de passer en revue, il convient d'examiner spécialement quelques questions qui s'y rattachent : la sécurité relative que procurent les procédés actuels de fabrication, la disposition générale des ateliers, enfin le mode de conservation, d'emballage et de transport de la nitroglycérine et des dynamites.

§ I.

ATELIERS, MAGASINS ET PRÉCAUTIONS GÉNÉRALES.

Les ateliers de fabrication de la poudrerie de Vonges sont construits en briques, pour mieux retenir la chaleur pendant l'hiver, et garnis d'un grand nombre de portes et de fenêtres, pour permettre un aérage énergique et rapide; ces ouvertures sont munies de rideaux, pour éviter une trop grande élévation de température pendant l'été. La toiture est en tuiles. L'atelier de lavage a reçu un plancher en plomb; les trois autres ateliers (mélanges acides, préparation de la nitroglycérine, filtration et incorporation) sont pavés en briques; on a seulement placé sous les filtres une feuille de plomb. Devant l'atelier des mélanges acides se trouve une fosse profonde de 0^m,50, dans laquelle on fait refroidir les mélanges et qui est protégée contre les

rayons du soleil par un toit et des cloisons en planches. Les divers ateliers sont situés à 20^m les uns des autres. Dans chaque intervalle s'élève un merlon large de 10^m à la partie supérieure et soutenu de trois côtés par des murs droits hauts de 3^m.

On conserve, en général, la nitroglycérine et les dynamites dans des dépôts parfaitement à l'abri du feu et dans lesquels on ne laisse aucune autre matière explosive (amorces, etc.; celles-ci sont toujours conservées à part dans des magasins spéciaux). Ces dépôts sont quelquefois construits en terre glaise et recouverts de tuiles; ils doivent se trouver à une distance minimum de 200 à 300 pas des lieux habités. Ils sont entourés de haies fortes et élevées, et, pour plus de précautions, d'un merlon de sable ou de terre d'au moins 1^m de hauteur; on peut également conserver les approvisionnements dans des creux entourés d'un tertre fait avec les terres du déblai. Dans les mines, on peut encore utiliser d'anciennes galeries abandonnées, pourvu qu'elles soient faciles à fermer et peu accessibles à l'humidité; la matière explosive, en paquets ou dans des caisses, est installée sur des châssis en bois, ou simplement conservée dans des récipients en zinc.

Les principales précautions à prendre dans la fabrication de la nitroglycérine et des dynamites sont les suivantes. Pour éviter toute trace d'acidité dans le produit final, il faut veiller à ce que les instruments placés dans les usines de filtration et d'incorporation ne soient jamais touchés par des mains acides; l'introduction du carbonate de chaux ou de magnésie dans la dynamite est destinée à prévenir un commencement de décomposition dû à l'action d'un contact acide. La nitroglycérine gelée étant très-sensible au choc, il faut entretenir dans les ateliers une température supérieure à $+8^{\circ}$, ce qu'on obtient facilement par un chauffage à la vapeur; en outre, la température du sol pouvant être inférieure à la température moyenne de l'atelier, il faut essuyer avec le plus grand soin les gouttes de nitroglycérine qui tombent à terre et qui pourraient s'y congeler. D'une manière générale, on doit toujours éviter de laisser geler la dynamite en cours de fabrication, le dégelage étant une opération difficile et dangereuse, surtout quand on l'applique à de grandes masses. Enfin, il y aurait intérêt à suspendre la fabrication de la dynamite pendant l'été, car l'élévation de température dans les ateliers et magasins a pour effet de développer l'instabilité de la nitroglycérine en contact avec les acides, de produire dans le

rendement un abaissement notable et de provoquer des départs nombreux de touries de vieux acides. L'écoulement régulier et rapide des produits est d'ailleurs une des meilleures garanties pour supprimer toute manipulation exceptionnelle, c'est-à-dire pour diminuer les chances d'accidents.

§ II.

EMBALLAGE ET TRANSPORTS.

L'emploi de la nitroglycérine à l'état liquide est presque entièrement abandonné ; si pourtant on veut la conserver à cet état, il convient de la traiter préalablement par l'alcool méthylique (p. 698). Nobel conservait et transportait autrefois sa nitroglycérine dans des bouteilles élastiques, fermées par une plaque de sûreté susceptible de fondre facilement en cas d'incendie.

La dynamite de Vonges est livrée au commerce en caisses de 25^l contenant 10 boîtes de 2^l,5 ; chaque boîte renferme des cartouches de 100^{mm}, de 75^{mm}, de 50^{mm} ou de 25^{mm}, qui sont placées debout ; le couvercle n'est assujéti que par une pointe en fer et par une bande de papier collée tout autour. Les boîtes forment, dans une caisse, 2 rangées de 5 ; le couvercle est vissé et plombé. — Les cartouches de dynamite destinées aux usages militaires (p. 710) sont placées debout par 5 rangées de 5 dans des boîtes garnies intérieurement de drap épais, fixé par de petits clous en cuivre rouge et destiné à amortir le choc des balles ; les vides sont remplis par des étoupes ; le couvercle est maintenu par 4 petites vis en fer. Ces boîtes, de 2^l,5, sont placées par 2 rangées de 3 dans des caisses, où on les maintient contre les grands côtés par deux tôles dans l'intervalle desquelles on introduit 100^{mm} de cordeau Bickford ; on ajoute encore des étoupes et de l'amadou pour consolider les boîtes.

Les prescriptions relatives au transport des dynamites sont, en général, les mêmes que pour la poudre ordinaire. La prohibition dont ces substances étaient d'abord frappées en Autriche et qui, tout en entravant leur extension, ne pouvait qu'accroître le nombre des accidents, puisque les transports se faisaient le plus souvent sans déclaration, a été ultérieurement levée ; seulement la dynamite doit être emballée soigneusement sous forme de cartouches et

accompagnée de lettres de voiture rouges. On a en même temps facilité l'introduction de ce produit par la diminution des droits de douane, et reconnu ainsi les services qu'il peut rendre à l'industrie.

Il résulte des nombreuses expériences que nous avons rapportées (p. 705-709) que, quelle que soit la sécurité relative offerte par les différentes dynamites, leur maniement n'en exige pas moins les plus grandes précautions. Il faut éviter d'une manière absolue toute élévation sensible de température, les chocs violents ou les frottements entre des surfaces métalliques, en particulier si l'on se sert de dynamite gelée. Il faut manier avec prudence les cartouches auxquelles sont fixées les amorces; à ce point de vue, il est préférable de disposer l'amorce et le cordeau immédiatement avant l'emploi.

§ III.

PRODUCTION, CONSOMMATION ET PRIX DE REVIENT.

Le nombre des fabriques de nitroglycérine s'est accru d'année en année, surtout depuis l'introduction des dynamites.

En Suède, la production de la nitroglycérine s'est élevée, d'après Nobel, aux chiffres suivants, qui se rapportent à une période de 3 années 1/2 :

1865	16129 ^h
1866	24392
1867	38268
1868 (premier semestre).	32147

La consommation a atteint environ 9000^h dans les ardoisières du nord du pays de Galles, depuis 1866 jusqu'au milieu de 1868; en Silésie, pendant l'année 1868, elle s'est élevée à 4000^h par mois.

La production de la dynamite s'est développée avec une grande rapidité. Jusqu'au milieu de 1868, Nobel en avait débité 30000^h; en 1869, la fabrique de Hambourg en livrait 15000^h par mois; en 1870, on en consuma environ 500000^h. En 1872, d'après Capitaine, la production annuelle sur le continent s'élevait à 625000^h. Enfin, en 1874, les 14 usines établies par Nobel en Europe et en Amérique ont livré au commerce 3 500 000^h de dynamite; sur ce chiffre, la production de la fabrique de Krümmel, près Hambourg, a atteint 600000^h, et celle des fabriques de Zamky, près Prague, d'Ardeer,

près Glasgow, et de San Francisco a varié de 400 000 à 500 000^e.

Le prix de la nitroglycérine, dans les premières années, variait de 8^r,00 à 9^r,25 le kil. ; celui de la dynamite, à son apparition, était en moyenne de 4^r,50. En 1874, les dynamites Nobel n^o 1, 2 et 3 (p. 700 et 726) coûtaient respectivement 4^r,80, 3^r,50 et 2^r,75 le kil. A la poudrerie de Vonges le prix de revient de la dynamite n^o 1 est d'environ 2^r,30 le kilogramme. 100 capsules d'amorce brevetées reviennent à 1^r,90.

§ IV.

PUISSANCE RELATIVE DES DIVERSES DYNAMITES.

La puissance d'une dynamite, comparée à celle de la nitroglycérine (p. 693), peut se calculer théoriquement en faisant la somme des forces produites par l'explosion de premier ordre des éléments qui la composent ; dans le cas d'une dynamite à base inerte, on diminue d'au moins 1/10 le chiffre relatif à la nitroglycérine absorbée. On peut ainsi, d'après Roux, former le tableau suivant :

	Puissance relative.
Nitroglycérine.	100
Dynamite au coton-poudre (75 p. 100)	85
Coton-poudre comprimé.	65
Dynamite Nobel n ^o 1 (75 p. 100)	65
Lithofacteur.	60
Dynamite de Paulilles n ^o 3.	60
Dynamite à base de poudre noire (20 p. 100)	50
Dynamite siliceuse à 50 p. 100.	40

Dans la pratique, il y a lieu de distinguer la force de *rupture*, caractéristique des dynamites à base inerte, et la force d'*expansion*, caractéristique des dynamites à base active (p. 719).

On peut évaluer l'un ou l'autre de ces deux éléments en faisant détoner une cartouche de dynamite, recouverte ou non d'une masse de terre glaise ou de sable humide, soit sur le milieu d'une plaque de tôle placée horizontalement sur deux appuis verticaux, soit au-dessus d'un cylindre en plomb, et en mesurant l'angle d'inclinaison des deux branches de la plaque ou l'écrasement du cylindre. On reconnaît que, si la charge est recouverte d'une masse de terre ou de sable, les résultats obtenus sont plus accentués pour les mélanges actifs que pour les dynamites à base inerte.

On peut, en outre, évaluer simultanément les deux effets soit à l'aide du mortier de Roux, formé d'une simple chambre creusée dans une masse métallique dont on détermine le recul, soit au moyen du mortier sans âme de Nobel, qui donne les portées du projectile, soit en produisant la détonation de la dynamite chargée, avec bourrage, dans diverses substances telles que le plomb, le bois, le papier comprimé, et en mesurant le volume produit par l'explosion. Ce dernier procédé, qui se rapproche des conditions de la pratique, a servi de point de départ aux expériences de Beckerhinn et a fait l'objet d'une série d'essais exécutés à Saint-Étienne (1874).

Nous réunissons dans le tableau suivant les principaux résultats obtenus par les deux derniers modes d'épreuve que nous venons d'indiquer :

SUBSTANCE EXPLOSIVE.	PORTÉES RELATIVES au mortier de Nobel.		ACCROISSEMENTS DE VOLUME RELATIFS.			
	A poids égal.	A volume égal.	Expériences de Beckerhinn.			Saint- Étienne.
			PAPIER. (Charge, 1 ^{re} .)	HÊTRE. (Charge, 3 ^{re} .)	PLOMB. (Charge, 5 ^{re} .)	PLOMB. (Charge, 40 ^{re} .)
Nitroglycérine.	100	100	100	»	»	»
Dynamite au coton-poudre (75 p. 100). . . .	»	»	84	»	»	»
Dynamite à l'ammoniaque.	83	80	»	»	»	»
Dynamite à la cellulose (75 p. 100).	»	»	80	80	80	»
Coton-poudre comprimé.	71	45	»	»	75	»
Dynamite Nobel n° 1. . . .	72	74	64	54	56	56
Dynamite blanche n° 1 (*).	»	»	56	28	51	»
Dynamite de Paulilles n° 3	»	»	»	»	»	27

(*) Cette dynamite se composait de 63 p. 100 de nitroglycérine, 10 de sciure de bois, 2 de coton-poudre, 20 de carbonate de chaux et 5 de carbonate de magnésium.

Dans les expériences de Nobel, le lithofracteur et la dynamite à la poudre noire (20 p. 100) donnaient, à poids égal, une portée de 50, tandis que le fulminate de mercure et la poudre de mine Curtis et Harvey descendaient respectivement à 30 et à 28.

CHAPITRE IV.

ACIDE PICRIQUE ET PICRATES.

§ I.

GÉNÉRALITÉS.

L'acide picrique et la plupart des sels qui en dérivent, surtout ceux de potasse et d'ammoniaque, constituent des substances explosives assez peu étudiées jusqu'à ce jour, mais qui n'en paraissent pas moins susceptibles d'être employées dans les mines ou pour le chargement des projectiles creux.

L'acide *picrique* ou *carbazotique* a été découvert en 1788 par Hausmann, en traitant l'indigo par l'acide nitrique (*amer d'indigo*); en 1795, Welter l'a également préparé en faisant agir l'acide nitrique sur la soie (*amer de Welter*). On a ensuite reconnu qu'on pouvait l'obtenir par l'action de cet acide sur la fibrine, la salicine, la coumarine, la résine, et sur un grand nombre de produits pyrogénés. Laurent a, le premier, montré que l'acide picrique dérive de l'acide phénique $C^6H^6O^2$ ou $C^6H^5(HO^2)$, et que sa formule doit s'écrire $C^6H^3(AzO^4)^3O^3$ ou $C^6H^3(AzO^4)^3(HO^2)$.

On prépare aujourd'hui l'acide picrique, d'après Castellaz et Désignolle, en traitant l'acide phénique légèrement chauffé par l'acide nitrique concentré : il se forme une pâte jaune foncé, très-peu soluble dans l'eau froide, soluble dans l'eau bouillante et qui cristallise en paillettes d'un jaune clair. Quant à l'acide phénique, on le retire facilement des huiles de goudron de houille qui distillent entre 150 et 200°, et que l'on mélange avec une dissolution de potasse très-concentrée; la masse cristalline est reprise par l'eau, qui ne dissout que le phénate de potasse, et la liqueur, traitée par l'acide

chlorhydrique, donne l'acide phénique sous forme de cristaux blancs peu solubles dans l'eau et solubles dans l'alcool et dans l'éther.

Le *picrate de potasse* s'obtient en mélangeant avec du carbonate de potasse chaud une dissolution d'acide picrique dans de l'eau bouillante: il se dépose, par refroidissement, sous forme de petites aiguilles cristallines, d'un beau jaune d'or, ayant des reflets rouges et verts à la lumière réfléchie.

Le *picrate d'ammoniaque* se prépare en saturant directement à chaud l'acide picrique par une solution concentrée d'ammoniaque: il cristallise en prismes orangé clair. On peut également l'obtenir cristallisé en belles aiguilles jaune citron, en traitant l'acide picrique par le carbonate d'ammoniaque.

§ II.

POUDRES A L'ACIDE PICRIQUE.

Nous venons de voir que l'acide picrique est un composé de l'acide nitrique. Chauffé légèrement, il se vaporise sans subir aucune autre altération; porté brusquement à une température un peu supérieure à 300°, il détone avec violence. Toutefois, il ne renferme pas assez d'oxygène pour brûler tout son carbone, et l'on doit, pour constituer une véritable poudre, lui ajouter une matière oxydante, telle que du salpêtre, du chlorate de potasse, des oxydes de plomb, de cuivre, d'argent, de mercure, etc. La température d'explosion du mélange est alors inférieure à celle de l'acide picrique pur. Nous donnerons, au paragraphe suivant (p. 737), quelques résultats relatifs à la chaleur de combustion, au potentiel, à la température de combustion et à la force de l'acide picrique.

Borlinetto (1867) a recommandé comme poudre de mine un mélange de 10 parties d'acide picrique, 10 de nitrate de soude et 8,5 de chromate de potasse. Cette poudre aurait l'avantage de ne pas détoner par le frottement ni par le choc. On ne connaît pas les détails de sa préparation, non plus que les expériences dont elle a pu être l'objet.

L'acide picrique est aujourd'hui exclusivement employé à l'état de picrate.

§ III.

POUDRES AU PICRATE DE POTASSE.

I. GÉNÉRALITÉS.

Le picrate de potasse est insoluble dans l'alcool; il se dissout dans 260 parties d'eau à 15° et dans 14 parties d'eau bouillante.

Le picrate sec détone avec violence quand on le chauffe progressivement jusqu'à 310°; un simple choc ou le contact d'un corps en ignition produisent le même effet. Mais, si le picrate renferme environ 15 p. 100 d'humidité, il est impossible de le faire détoner par le choc, et le contact d'un corps en ignition ne produit qu'une déflagration locale.

D'après les calculs de Berthelot, la chaleur de combustion de l'acide picrique et celle du picrate de potasse seraient supérieures à celles de la nitroglycérine et du coton-poudre (p. 481); le contraire résulte des expériences de Roux et Sarrau (p. 479). La chaleur de combustion de l'acide picrique est un peu supérieure et celle du picrate de potasse sensiblement égale à celle des poudres noires; il en est de même pour le potentiel (p. 491) et probablement aussi pour la température de combustion (p. 484). Quant aux forces relatives correspondant aux deux ordres d'explosion, elles sont, d'après les expériences de Roux et Sarrau (p. 495), pour l'acide picrique :

$$f_1 = 5,50, \quad f_2 = 2,04,$$

et, pour le picrate de potasse :

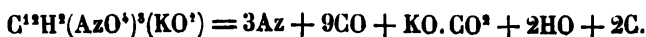
$$f_1 = 5,31, \quad f_2 = 1,82.$$

Cette dernière valeur se rapproche suffisamment de la valeur théorique (p. 497).

D'après Désignolle, la formule de la décomposition du picrate de potasse en vase clos serait la suivante :



Berthelot propose une formule un peu différente, qui paraît plus plausible :



Le picrate de potasse a été employé seul, à titre d'essai, en Angleterre et aux États-Unis, pour le chargement de bombes destinées à percer les cuirasses des navires. Mais, ce sel ne renfermant pas une quantité d'oxygène suffisante pour brûler tout son carbone, on a dû lui ajouter des matières oxydantes, telles que le salpêtre ou le chlorate de potasse. C'est ainsi qu'ont été formées les poudres de Désignolle et de Fontaine.

II. POUDRES DE DÉSIGNOLLE ET DE FONTAINE.

Désignolle (1869) a fait fabriquer au Bouchet 3 espèces de poudre, consistant en un mélange de picrate de potasse et de salpêtre, avec ou sans addition de charbon : poudres pour torpilles, poudres à canon et poudres à mousquet.

Ces divers mélanges étaient faits dans les proportions indiquées par le tableau ci-après :

ÉLÉMENTS.	POUDRES pour torpilles et pour projectiles creux.		POUDRES A CANON.			POUDRES à mousquet.	
			Ordinaires.		Gros calibres.		
Picrate de potasse.	55	50	16,4	9,6	9	28,6	22,9
Salpêtre.	45	50	74,4	79,7	90	65,0	69,4
Charbon.	"	"	9,2	10,7	11	6,4	7,7

Le procédé de fabrication était le suivant. Les matières premières, touillées avec une proportion d'eau variant de 6 à 14 p. 100. étaient triturées sous les meules pendant 3^h pour les poudres de rupture, 9^h pour les poudres à canon et 6^h pour les poudres à mousquet, essorées pendant quelques jours et galetées à la presse hydraulique. Les galettes étaient de nouveau essorées, puis concassées, grenées au grenoir mécanique en grains de grosseur convenable, enfin lissées, séchées et époussetées comme à l'ordinaire.

Les poudres Désignolle paraissent offrir de remarquables avantages au double point de vue de la puissance de leurs effets et de la sécurité de leur emploi. Les poudres pour les torpilles et pour les projectiles creux, essayées à Brest et à Toulon, ont donné de bons résultats. D'après Roux et Sarrau (p. 479), la chaleur de combustion du mélange à 55 p. 100 de picrate serait de 916^{cal}, et celle du

mélange à 50 p. 100 de picrate s'élèverait à 1 180^m; la température de combustion de la seconde poudre serait également bien supérieure à celle de la première (p. 484). Les poudres à mousquet et à canon se sont signalées par une grande régularité d'effets : les vitesses initiales imprimées au projectile différaient à peine de 1 ou 2^m. D'après Jouglet, 60^m de poudre Désignolle produisent le même résultat que 350^m de poudre ordinaire, et la force du nouveau mélange peut varier dans des limites assez étendues suivant la proportion de picrate qu'il renferme. Malgré leur supériorité balistique, les poudres Désignolle paraissent être moins brisantes que la poudre noire; en outre, elles brûlent presque sans fumée, et n'attaquent pas chimiquement le métal du canon, à cause de l'absence du soufre. Enfin, les picrates constituant des corps cristallisés à composition définie et à réactions connues, on n'a pas à craindre les phénomènes de décomposition spontanée qui pourraient résulter de l'emploi de la nitroglycérine ou de ses dérivés.

Les poudres de Fontaine, composées de picrate et de chlorate de potasse et exclusivement destinées au chargement des projectiles creux et des torpilles, ont une force bien supérieure à celle des mélanges précédents; mais elles présentent des dangers de manipulation qui ont été révélés, dès les débuts, par une terrible explosion (Paris, 1869).

§ IV.

POUDRES AU PICRATE D'AMMONIAQUE.

Le picrate d'ammoniaque, qui détone, comme le picrate de potasse, vers 310°, présente sur ce dernier sel l'avantage de ne faire explosion par le choc que très-difficilement. Si on le chauffe à l'air libre à une température inférieure à 300°, il fond et brûle avec une belle flamme fuligineuse.

Brugère, en France, et Abel, en Angleterre, ont simultanément proposé des poudres formées d'un mélange de picrate d'ammoniaque et de salpêtre, et destinées au tir des armes à feu et surtout au chargement des projectiles creux.

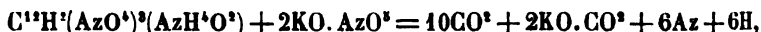
I. POUDRE DE BRUGÈRE.

La poudre de Brugère (1869) se compose de 54 parties de picrate d'ammoniaque pour 46 de salpêtre.

Chauffée à 310°, elle brûle avec une vitesse moitié de celle de la poudre ordinaire; sa force d'explosion n'en est pas moins double ou triple. En outre, d'après Brugère, la poudre au picrate d'ammoniaque est moins hygrométrique; elle laisse un résidu insignifiant, uniquement composé de carbonate de potasse, qui n'attaque pas les parois de l'âme. Enfin, elle dégage peu de fumée, et les gaz produits sont inodores.

Des expériences exécutées au fusil Chassepot avec la nouvelle poudre ont montré qu'elle produisait le même effet, à la charge de 2^{gr},6, que la poudre noire à la charge réglementaire de 5^{gr},5.

D'après la formule de la décomposition adoptée par Brugère :



100^{gr} de la poudre au picrate doivent donner 69^{gr},14 de produits gazeux, soit, à 0° et 0^m,760, un volume de 52^l,05; une détermination directe a fourni 48^l. Si l'on compare ce résultat au résultat analogue trouvé par Bunsen et Schischkoff pour la poudre ordinaire (p. 464), on voit que les deux volumes sont entre eux dans le rapport de 2,5 à 1.

Enfin, la poudre de Brugère est stable, peu dangereuse à manier et à fabriquer, et paraît destinée, malgré son prix un peu élevé (4^{fr} le kil.), à rendre de réels services pour le chargement des obus et des torpilles.

II. POUDRE PICRIQUE D'ABEL.

Abel a donné le nom de *poudre picrique* au mélange de picrate d'ammoniaque et de salpêtre.

Cette poudre, uniquement destinée au chargement des obus, ne détoné que par l'action d'un choc très-violent. En outre, la déflagration est purement locale, et la matière n'a aucune tendance à s'enflammer, même quand elle est soumise à un frottement considérable. Si on la met en contact avec une flamme, il se produit un

sifflement strident aux points touchés, sans que l'inflammation se propage. En vase clos, la poudre picrique détone avec une grande violence; au point de vue de la force d'explosion, elle est inférieure à la nitroglycérine, au coton-poudre et aux poudres au picrate de potasse, mais très-supérieure à la poudre ordinaire.

Enfin, d'après Abel, l'addition au mélange d'une quantité d'eau suffisante pour l'humecter fortement, ne paraît pas provoquer la formation du nitrate d'ammoniaque déliquescents: il en résulte que la poudre picrique est d'une conservation facile, et que la fabrication n'en présente aucun danger, puisqu'il est possible, sans altérer la stabilité du mélange, d'opérer sur des matières humides, en appliquant les procédés de compression et de granulation en usage pour la poudre ordinaire.

APPENDICE.

SUBSTANCES DIAZOTÉES.

A l'acide picrique se rattache un petit nombre de corps diazotés, découverts par Griess, qui les a obtenus par le traitement de certains dérivés de la benzine. Ces corps, extrêmement intéressants au point de vue chimique, sont explosifs et d'une sensibilité extraordinaire. On a proposé de les appliquer à la fabrication des capsules; mais le danger que présente leur maniement s'est jusqu'à présent opposé à leur adoption définitive.

L'*aniline fulminante*, qui n'est autre que du nitrate de benzine diazotée ($C^6H^3Az^2 . AzO^2$), se prépare en introduisant dans une solution de nitrate d'aniline des vapeurs d'acide azoteux. Elle détone moins facilement par le frottement et plus facilement par une élévation de température que le fulminate de mercure.

Caro et Griess ont fait breveter en Angleterre un procédé de fa-

brication du *chromate de benzine diazotée*, consistant à mélanger 1 équivalent de chlorhydrate d'aniline avec 2 équivalents d'acide chlorhydrique, à traiter la liqueur à froid par 1 équivalent d'azotite de chaux en solution concentrée, et à précipiter le chromate par un mélange de 1 équivalent de chromate acide de potasse avec 1 équivalent d'acide chlorhydrique.

CHAPITRE V.

FULMINATES.

§ I.

FULMINATE DE MERCURE.

Le *fulminate de mercure* ou *mercure fulminant* a été découvert par Howard en 1799; ses propriétés éminemment explosives ont tout d'abord empêché de le soumettre à des expériences suivies. La composition exacte des fulminates a été, pour la première fois, établie par les travaux célèbres de Liebig et de Gay-Lussac; Berzélius et Wöhler se sont également occupés du fulminate de mercure. Enfin, Kékulé a récemment fait connaître, avec une approximation suffisante, la constitution chimique des fulminates.

I. FABRICATION.

Les matières premières nécessaires pour la préparation du fulminate de mercure sont : le mercure, l'acide nitrique et l'alcool. Le degré de concentration de ces deux derniers liquides varie peu suivant les procédés.

Howard faisait réagir, sur 1 partie de mercure, 5 parties d'acide nitrique (densité 1,3) et 10 d'alcool (densité 0,85). Ces proportions sont aujourd'hui sensiblement modifiées.

a) Procédé de Chandelon.

D'après Chandelon, on verse 1 partie de mercure dans un grand vase, et on le dissout dans 10 parties d'acide nitrique (densité 1,4)

en chauffant doucement; puis on verse la liqueur, portée à la température de 55° environ, dans un ballon qui contient 8,3 parties d'alcool (densité 0,83): le volume du vase doit être au moins 6 fois égal à celui de la dissolution qu'il renferme. Au bout de 1/4 d'heure environ, la réaction commence et se manifeste par un faible dégagement de bulles gazeuses; bientôt la liqueur entre en ébullition, et le vase se remplit d'écumes, d'abord blanches, puis jaunes. Il se produit, en même temps, d'épaisses vapeurs blanchâtres qui contiennent de l'acide carbonique, du bioxyde d'azote, de l'éther nitrique et de l'éther acétique avec du mercure; ces vapeurs étant facilement inflammables et attaquant les organes de la respiration, il est essentiel d'opérer loin de tout corps enflammé et sous une hotte donnant un fort tirage. Le fulminate de mercure se précipite à proportion en petites aiguilles d'une teinte légèrement grisâtre. La réaction terminée, on verse le contenu du vase sur un filtre double, et on lave le produit jusqu'à ce que les eaux de lavage ne donnent plus trace d'acidité; ces eaux doivent être soigneusement balayées, parce qu'elles renferment des particules de fulminate qui peuvent, en séchant, donner lieu à des accidents. Les cristaux sont alors détachés du filtre avec précaution, étendus par petites portions sur une plaque de terre non émaillée ou sur une brique, et séchés à une température modérée, à l'abri des rayons du soleil, soit en plein air pendant l'été, soit avec de l'eau chauffée par la vapeur à 50°.

Le rendement moyen obtenu par ce procédé est de 125 de fulminate de mercure pour 100 de mercure employé; le rendement théorique est de 142 p. 100.

D'après des expériences anglaises, le procédé Chandelon donne, avec un rendement satisfaisant, des produits de bonne qualité. Si l'on modifiait les quantités de matières premières mises en présence, le fulminate formé pourrait diminuer dans de notables proportions: ainsi, un mélange de 1 partie de mercure pour 8 d'acide nitrique (densité 1,37) et 6,5 d'alcool (densité 0,896) ne donne plus de rendement appréciable. Il faut, en outre, régler la concentration de l'acide d'après le degré de l'alcool, de manière à avoir toujours la même quantité d'eau dans la liqueur.

b) Procédé de Liebig.

Ce procédé consiste à traiter à froid 3 parties de mercure par 36

d'acide nitrique (densité 1,34), dans un vase dont la capacité soit au moins égale à 18 fois le volume de la liqueur ; on ajoute à la dissolution, qui contient de l'acide nitreux, 17 parties d'alcool (de 80 à 85 p. 100), et l'on agite. La réaction commence au bout de quelques minutes ; il se sépare un liquide très-réfringent, que l'on mélange par l'agitation au reste de la masse. La liqueur noircit par suite de la séparation d'une certaine quantité de mercure libre, et alors commence une réaction tumultueuse, que l'on modère par l'addition de 17 autres parties d'alcool. Le mercure mis en liberté disparaît, et il se forme des cristaux de fulminate de mercure qui se déposent au fond du vase ; il ne doit plus rester trace de mercure libre.

Le rendement obtenu varie de 118 à 128 p. 100.

C'est par un procédé analogue que le fulminate de mercure est fabriqué en France. Chevalier a proposé une modification adoptée dans plusieurs établissements, et d'après laquelle les vapeurs sont conduites à travers une série d'allonges, où elles se condensent en partie, jusque dans une cheminée. Le mode d'opérer le plus généralement usité est le suivant : on traite 3 parties de mercure (0^r,300) par 30 parties d'acide nitrique à 40° B., et l'on verse la dissolution ainsi formée dans un ballon renfermant 19 parties d'alcool à 90 p. 100 ; vers la fin de l'opération, on fait deux corrections successives avec 2,38 et 1,58 parties d'alcool ; puis le fulminate est lavé pendant plus de 24 heures et séché sur du papier buvard.

D'après des expériences récemment exécutées en France, l'addition d'alcool froid en quantité trop considérable vers la fin de l'opération paraît avoir pour résultat de donner naissance, par voie de réduction, à une poudre blanche très-légère, facile à séparer par une simple lévigation, qui semble être un sous-azotate de mercure non explosif et dont la présence ne peut que nuire à la qualité du produit final. C'est ainsi que la détonation du coton-poudre comprimé n'est pas toujours certaine avec des capsules contenant 1^r,2 à 1^r,4 de ce fulminate impur, tandis qu'on l'obtient sûrement avec des capsules renfermant 0^r,8 de fulminate pur en cristaux bien tassés.

Stahlschmidt affirme qu'on peut encore obtenir le fulminate de mercure en substituant l'esprit-de-bois (Lignon) à l'alcool : le même effet ne se produit pas lorsqu'on chauffe de l'alcool méthylique *pur* avec un mélange de nitrate de mercure et d'acide nitrique.

Le fulminate sec est enveloppé dans du papier par petites portions (8^{re} au plus), et emballé soit dans des caisses en bois, soit dans des boîtes en gutta-percha, soit dans de grands vases en verre fermés par des bouchons de liège. Il doit être, autant que possible, conservé sous l'eau.

II. PROPRIÉTÉS.

a) Propriétés physiques.

Les cristaux gris de fulminate, vus au microscope, ont l'aspect d'octaèdres, fréquemment réunis sous forme d'aiguilles. Ils sont presque insolubles dans l'eau froide, et il faut 130 parties d'eau bouillante pour en dissoudre 1 partie; la liqueur laisse alors déposer des cristaux jaunâtres d'apparence soyeuse. Ceux-ci ont une saveur douce et métallique. Ils sont très-vénéneux, comme tous les composés mercuriels.

b) Propriétés chimiques.

Liebig et Gay-Lussac, dont les analyses ont établi la composition chimique du mercure fulminant, considéraient ce corps comme du fulminate de bioxyde de mercure et lui donnaient la formule $2\text{HgO.C}^{\text{A}}\text{Az}^{\text{O}}^{\text{A}}$. Cette hypothèse a été depuis abandonnée. Berzélius regarde cette substance comme le sel d'un acide double contenant du mercure. Gerhardt a, le premier, émis l'avis que sa formule devait renfermer un groupe nitrique. Enfin Kékulé, s'appuyant sur les réactions que produit le fulminate de mercure en présence du chlore, du brome et de l'hydrogène sulfuré, a démontré que sa formule rationnelle doit s'écrire $\text{C}^{\text{A}}(\text{AzO}^{\text{A}})(\text{C}^{\text{A}}\text{Az})\text{Hg}^{\text{A}}$.

c) Propriétés mécaniques.

La propriété capitale du fulminate de mercure consiste dans la facilité extraordinaire avec laquelle il fait explosion. Un choc modéré, le frottement entre deux corps durs suffisent pour en provoquer la détonation avec production d'une flamme rougeâtre; l'explosion est d'ailleurs très-violente, par suite de la décomposition presque instantanée en azote, oxyde de carbone et vapeur de mercure (p. 500 et 502).

Si l'on chauffe le fulminate de mercure, il détone à 187°; d'après

Leygue et Champion, la température d'explosion serait de 200°; d'après d'autres auteurs, elle s'abaisserait à 149°. Si on l'enflamme à l'air libre par le contact d'un corps en ignition, il détonè avec un bruit modéré. L'étincelle d'induction produit également la détonation.

La facilité avec laquelle on peut provoquer la décomposition du fulminate varie avec les conditions de l'expérience : la matière sèche détone toujours par le choc de fer sur fer, moins facilement par le choc de marbre sur marbre, très-rarement par le choc de fer sur plomb, et jamais par le choc de bois sur bois. L'explosion se produit d'autant plus facilement que les cristaux sont plus gros et plus purs (p. 745). Elle peut être affaiblie ou même totalement supprimée par l'humectation de la matière : lorsque celle-ci contient de 5 à 30 p. 100 d'eau, les parties directement touchées détonent seules sous l'action d'un choc violent, sans que la décomposition se transmette aux parties voisines.

Dans le vide, le fulminate de mercure se comporte comme le coton-poudre (p. 645). Heeren a constaté qu'un fil rougi par le passage d'un courant électrique ne fait détoner que les particules directement adhérentes, sans production de lumière, tandis que les particules voisines non décomposées sont projetées. C'est d'après cette observation que Ph. Neumann recommande d'effectuer dans le vide l'opération dangereuse du grenage et du mélange du fulminate de mercure ; mais il ne paraît pas qu'il ait réussi à construire un appareil satisfaisant à cette condition.

Roux et Sarrau ont montré (p. 495) que le fulminate de mercure n'est susceptible que de l'explosion de premier ordre ou détonation ; la chaleur de combustion correspondante (p. 479) a été trouvée de 752^{cal}, et la force relative (p. 495) de 9,28.

III. USAGES.

La principale application du fulminate de mercure, qui a pour objet la fabrication des capsules, résulte de son extrême sensibilité au choc. Il eût été peu prudent de chercher à l'utiliser soit pour le tir dans les bouches à feu, soit pour les sautages de mines, à cause de son action excessivement brisante et du danger qu'aurait présenté le maniement de grandes quantités de cette matière ; la décomposi-

tion en est si brusque que, si on la tire dans un canon, les parois sont brisées sans que le projectile ait subi aucun déplacement. Le fulminate ne peut être employé que dans les pistolets de chambre, en très-petites charges introduites dans la capsule en même temps que la balle.

Abel a comparé l'action brisante du fulminate avec la force de projection de la poudre ordinaire. Une bombe chargée de 6^{rs},5 de fulminate de mercure a été presque entièrement pulvérisée, tandis qu'une bombe semblable, chargée de 49^{rs},7 de poudre ordinaire, était rompue en plusieurs gros morceaux qui se trouvaient projetés au loin ; dans le premier cas, les parcelles métalliques étaient restées dans les environs du centre de l'explosion, de sorte que la plus grande partie de la force avait été employée à détruire la cohésion de la masse de fer. — De son côté, Uchatius a soumis le fulminate aux mêmes épreuves que le coton-poudre (p. 650) et d'autres substances explosives : il a trouvé, par l'emploi de petites charges, des pressions intérieures extrêmement élevées.

Aussi le fulminate de mercure est-il exclusivement utilisé pour la préparation des amorces. On le mélange le plus souvent avec d'autres substances inflammables, telles que la poudre ordinaire, le salpêtre, le soufre, le chlorate de potasse, etc., destinées à ralentir la décomposition de la matière fulminante, à rendre son action plus progressive et à augmenter le volume des produits gazeux : on obtient ainsi un jet de flamme allongé, qui pénètre plus profondément dans les interstices de la charge et qui en produit plus sûrement et plus complètement l'inflammation. Il est d'ailleurs essentiel de mélanger intimement le fulminate avec la matière qu'on lui ajoute, ou tout au moins de mettre les deux substances directement en contact dans un espace clos, puisque du fulminate, placé sur de la poudre à l'air libre, détone en projetant celle-ci sans l'enflammer.

§ II.

FULMINE D'ARGENT ET OR FULMINANT.

Au fulminate de mercure se rattachent le *fulminate d'argent* et l'*or fulminant*, soit par leur composition chimique, soit en raison de leur

extraordinaire sensibilité. Ces substances n'ayant d'ailleurs qu'une importance pratique secondaire, il nous suffira de donner une description succincte de leur fabrication, de leurs propriétés et de leurs usages.

I. FABRICATION.

Le fulminate d'argent est généralement connu sous le nom d'*argent fulminant de Brugnatelli* ou de *Howard*.

Pour le préparer, on ajoute, d'après Gay-Lussac et Liebig, une dissolution de 1 partie d'argent dans 20 d'acide nitrique (densité 1,36 à 1,38) à 27 parties d'alcool (de 85 à 90 p. 100); on fait chauffer jusqu'à l'ébullition, on verse de nouveau 27 parties d'alcool et on laisse refroidir. On peut encore obtenir le fulminate d'argent, soit en introduisant dans une dissolution alcoolique de nitrate d'argent de l'acide nitreux préparé en faisant réagir de l'acide nitrique sur la poudre d'amidon, soit en faisant bouillir du fulminate de mercure avec de l'eau, une lame d'argent et une lame de platine. Les cristaux qui se séparent sont portés sur un filtre et lavés jusqu'à ce que les eaux de lavage ne donnent plus de réaction acide. Le filtre encore mouillé est déchiré en bandes et placé sur du papier à filtre dans un endroit tiède, pour être séché. — Le fulminate sec est conservé par petites portions dans des boîtes en carton. La sensibilité de ce produit, supérieure à celle du fulminate de mercure, commande les précautions les plus minutieuses, surtout pour les opérations du filtrage et du séchage. On se sert, pour l'agitation, de baguettes en bois, au lieu de baguettes de verre; la matière sèche est reprise au moyen de feuilles de carton, et, si l'on doit la pulvériser, il faut le faire avec les doigts ou avec des bouchons de liège dans des mortiers de porcelaine, en opérant toujours sur de petites quantités.

Il existe un autre composé connu sous le nom d'*argent fulminant de Berthollet*, qu'on prépare en faisant digérer pendant 24^h de l'oxyde d'argent fraîchement précipité avec un excès d'une dissolution concentrée d'ammoniaque. La poudre noire qui se produit est séchée avec précaution sur du papier gris.

La préparation de l'or fulminant est analogue à celle du fulminate d'argent.

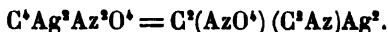
II. PROPRIÉTÉS.

Le fulminate d'argent, très-vénéneux, se présente sous forme d'aiguilles blanches, opaques, d'apparence soyeuse, peu solubles dans l'eau froide, facilement solubles dans l'eau bouillante (36 parties d'eau pour 1 de fulminate). Le simple choc de deux corps durs suffit pour le faire détoner, même sous l'eau. Il est moins sensible que l'aniline fulminante (p. 741) à une élévation de température, et ne fait guère explosion que vers 130°; le contact d'un corps en ignition provoque une détonation violente et perçante; le chlore, l'acide sulfurique concentré produisent le même résultat. Dans le vide, les effets sont considérablement amoindris : d'après Heeren, on observe une simple combustion sans production de lumière.

L'argent fulminant de Berthollet détone sous la moindre pression.

L'or fulminant se distingue également par son instabilité et par la violence de sa détonation.

On n'a pu faire jusqu'à présent que des hypothèses sur la constitution chimique de ces deux derniers corps. Quant au fulminate d'argent, sa formule, analogue à celle du fulminate de mercure (p. 746), peut s'écrire :



III. USAGES.

La sensibilité du fulminate d'argent au frottement en a empêché l'application à la fabrication des amorces de percussion : il n'est utilisé que pour la confection de joujoux. Les *bonbons fulminants*, par exemple, contiennent une petite quantité de fulminate d'argent collée sur une bande de parchemin à laquelle est fixée une autre bande à surface rugueuse, dont le frottement doit déterminer l'explosion. Les *pois fulminants* renferment des perles artificielles, entourées de fulminate collé sur du papier gris. Le fulminate d'argent est encore employé pour la confection des *cornets à amorce*.

L'or fulminant ne paraît pas avoir reçu d'application.

Quant à l'argent fulminant de Berthollet, il est d'une sensibilité telle qu'il ne peut servir à aucun usage.

TROISIÈME PARTIE



LA PYROTECHNIE

HISTORIQUE

La *pyrotechnie*, qui est l'art de composer les feux d'*artifice* ou feux artificiels, a été l'origine des premières découvertes se rattachant à l'emploi de la poudre à canon considérée au point de vue de sa puissance balistique.

D'après les témoignages de Végèce et d'Ammien Marcellin (p. 4), les Romains se servaient de flèches incendiaires de construction spéciale. Il résulte même d'un passage de Claudien (*) que les artifices de joie ne leur étaient pas inconnus.

Suivant toute vraisemblance, diverses compositions incendiaires furent employées en Chine dès le vi^e siècle ; mais ce n'est que vers la fin du x^e siècle, nous l'avons vu, que la fusée fut découverte : alors parut pour la première fois le mélange de salpêtre, de soufre et de charbon. Ce mélange servait également, en Chine, en Perse et dans l'Inde, à former des « feux qui couraient rapidement à la surface du sol en serpentant » et des « gerbes de feu » qu'on faisait brûler de nuit dans les réjouissances.

Les Arabes reçurent de la Chine et de l'Inde (p. 7) la connaissance des matières incendiaires ; ils la transmirent aux Grecs du Bas-Empire, et l'on vit apparaître un grand nombre de compositions destinées aussi bien aux combats corps à corps qu'à l'incendie des navires et des machines de guerre. C'est de cette période que date le *feu grégeois* ou feu grec, dont l'architecte Callinique dirigea l'emploi à la bataille de Cyzique (660), où Constantin Pogonat détruisit une flotte arabe. On se mit également à fabriquer de très-gros

(*) Claudien invite en ces termes les Romains à célébrer le consulat de Fl. Mallius Théodore :

« Mobile ponderibus descendat pegma reductis,
Inque chori speciem spargentes ardua flammæ
Scena rotet; varios effingat Mulciber orbes
Per tabulas impune vagus, pictæque citato
Ludant igne trabes, et non permissa morari
Fida per innocuas errent incendia turres. »

projectiles incendiaires, qui étaient lancés avec de très-fortes machines et dont l'armée de saint Louis eut tant à souffrir en 1249 (p. 11).

L'usage des nouveaux engins de guerre se répandit en Occident dès le **xiii^e** siècle, et l'art de la pyrotechnie militaire ne tarda pas à prendre un développement considérable, particulièrement en France. Ce développement paraît toutefois avoir subi un temps d'arrêt vers la fin du **xvii^e** siècle, si bien que Saint-Remy a pu écrire, dans ses *Mémoires d'artillerie* (1707) : « C'est une mer d'inventions que les Artifices. Ils ne sont plus gueres en usage présentement; car on a remarqué que des tonneaux ou des sacs pleins de Poudre, auxquels on attache une fusée, roulez dans un fossé, sur une bresche ou sur un ouvrage attaqué, faisoient tout autant d'effet que ces machines qui portent des noms extraordinaires et effrayans (*Herisson foudroyant, Serpenteau, Baril flamboyant, etc.*), et qui liennent une place si magnifique chez les plus celebres auteurs qui ont traité de l'Artillerie, et qui presque tous s'étendent incomparablement plus sur les Artifices que sur toute autre chose, s'imaginant que c'en est l'essentiel... Sur tout, conclut Saint-Remy, il faut faire cas de bonnes Bombes et de bonnes Grenades. »

Quant aux artifices de joie, ils constituaient une partie essentielle des anciennes réjouissances françaises; mais le principal élément était le bois. C'est sans doute à cette catégorie qu'il faut rattacher la *salamandre de feu*, emblème de François I^{er}, qui fut lancée lors de l'entrevue du Drap d'or (1520). Le premier feu d'artifice avec poudre paraît avoir été tiré en 1606 dans la plaine de Fontainebleau, aux frais du duc de Sully. Nous rappellerons enfin que la cérémonie, abolie en 1783, de la présentation de la haquenée au pape par le roi de Naples, donnait lieu à de très-beaux feux d'artifice.

Les progrès de la chimie moderne et la découverte de nouveaux explosifs, tels que le fulminate de mercure, le coton-poudre, la nitroglycérine, ont fait de la pyrotechnie un art véritable, permettant d'obtenir, par des combinaisons rationnelles d'éléments parfaitement connus, les divers effets d'inflammation, d'illumination, d'incendie, etc., qui sont le plus souvent recherchés soit pour les usages civils, soit pour les usages militaires.

SECTION UNIQUE.

AMORCES, FUSÉES ET ARTIFICES.

La propriété que possède le fulminate de mercure de détoner facilement et sûrement par le choc (p. 746) l'a fait employer, presque aussitôt après sa découverte, pour la fabrication des amorces à percussion ; cette industrie ne tarda pas à prendre un grand développement. Mais les nombreuses explosions, suivies d'accidents, qui se produisirent dès les premières années, firent désirer que le fulminate de mercure pût être remplacé par d'autres substances moins dangereuses. Ces dernières, bien que d'un usage encore restreint, n'en ont pas moins acquis une certaine importance, surtout au point de vue de la pyrotechnie militaire.

Le premier chapitre traite de la fabrication des capsules et des amorces à percussion et à friction le plus habituellement employées. Le second se rapporte aux mélanges de toutes sortes usités pour produire l'inflammation des charges ou des artifices, ainsi qu'aux compositions d'artifices les plus importantes.

CHAPITRE I.

AMORCES A PERCUSSION ET A FRICTION.

§ I.

AMORCES A PERCUSSION.

C'est en 1816 que le fulminate de mercure, mélangé à de la cire ou à de la teinture de benjoin alcoolique, a été pour la première fois appliqué à la confection des amorces. Enrayée pendant quelque temps à la suite de plusieurs explosions consécutives, cette fabrication ne tarda pas à être reprise, et dès 1819 apparurent les capsules en cuivre. Les dangers que ce genre d'industrie présentait pour la vie des ouvriers, aussi bien que pour tout le voisinage des ateliers, engagèrent plusieurs gouvernements à soumettre l'installation des capsuleries à des règlements spéciaux. Les principales prescriptions portaient sur les points suivants : les fabriques doivent être éloignées de tous lieux habités ; les diverses manipulations doivent se faire dans des ateliers différents et séparés les uns des autres ; le sol des ateliers est en plâtre ou recouvert de plaques de plomb ; il est interdit d'allumer du feu à l'intérieur ou dans le voisinage des ateliers ; au besoin, le chauffage se fait à l'aide de la vapeur d'eau ; les ouvriers doivent avoir au moins 18 ans ; avant l'installation, il doit être déposé un plan exact des dispositions intérieures de l'usine, lequel, après approbation, doit être scrupuleusement exécuté ; enfin, la police est autorisée à visiter l'établissement, pour s'assurer que toute cause de danger est autant que possible écartée.

Bien que l'introduction de machines spéciales ait singulièrement

diminué les dangers de la fabrication des capsules, il est encore utile de se conformer à la plupart des prescriptions précédentes.

I. AMORCES AU FULMINATE DE MERCURE.

La fabrication des amorces au fulminate de mercure comprend la série des opérations suivantes : préparation du fulminate, confection de la capsule de cuivre, préparation et grenage de la composition, chargement de la capsule et confection de l'amorce.

a) Préparation du fulminate de mercure.

Cette préparation a été décrite plus haut (p. 743).

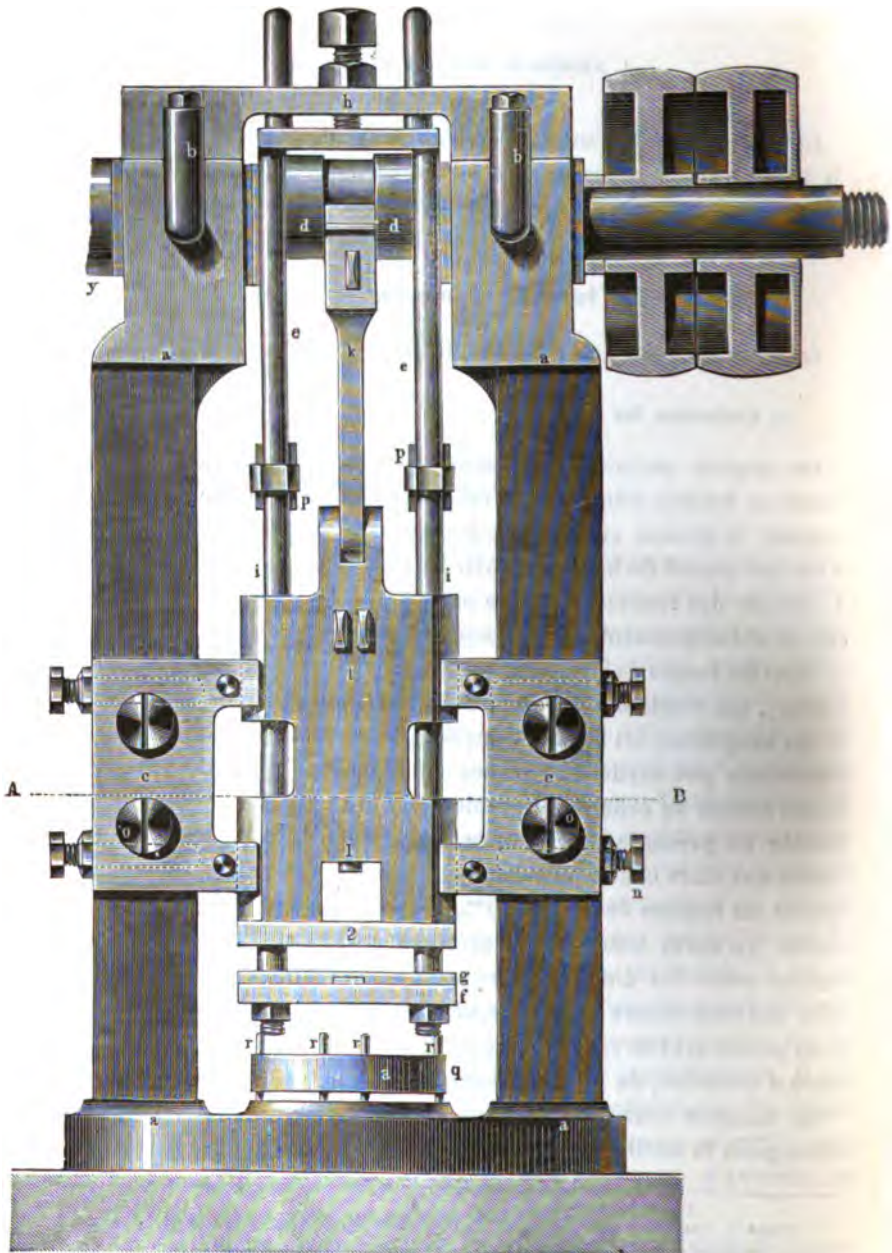
b) Confection des capsules.

On emploie exclusivement, pour la confection des capsules, du cuivre en feuilles minces; on s'est aussi servi, à l'origine, de cuivre argenté; le bronze et la tôle de fer, qui ont été également essayés, n'ont pas donné de bons résultats. Il faut mettre le plus grand soin à obtenir des feuilles de cuivre parfaitement souples et polies; le cuivre chimiquement pur possède ces qualités au plus haut point. — Dans les forges de l'Oural, le minerai dit *cuivre de la dime* (Zehentkupfer), qui contient, entre autres métaux, du fer, du manganèse et du tungstène, est fondu et purifié par un fort courant d'air, qui commence par oxyder et scorifier ces métaux; l'opération est terminée lorsqu'un échantillon, prélevé sur la masse, est suffisamment flexible et présente une cassure rugueuse d'apparence rosée. Le cuivre est alors coulé, puis soumis à plusieurs recuits successifs et laminé en feuilles de 0^{mm},26 à 0^{mm},4 d'épaisseur. Ces feuilles ne sont reçues qu'après une épreuve préalable : elles ne doivent pas seulement avoir les dimensions convenables et un poids déterminé; elles doivent encore supporter, sans se rompre, de fortes déformations plusieurs fois répétées; enfin, la surface doit être unie et sans trace d'entailles, de plis ou de gerçures.

On emploie souvent des capsules fendues (*), que l'on obtient en découpant la feuille de cuivre en étoiles à 4 ou 6 secteurs, lesquelles

(*) Pour la confection des *baguettes étoilées* (Sternflöten) qui servent à découper les capsules fendues et striées, voir Dingler, *Polyt. Journ.*, vol. 141, p. 161 (Josten)

Fig. 101.



sont enfoncées par un poinçon dans un trou de forme circulaire : les secteurs se replient les uns sur les autres, et réalisent une obturation qui résiste à l'inflammation même de la matière explosive. Ces capsules sont cependant plus faciles à dégager du piston que celles qui sont faites d'une seule pièce.

Ces dernières sont fabriquées à l'aide de machines spéciales, qui découpent la feuille de cuivre en disques par un système de balancier à vis, et qui donnent ensuite à ces disques la forme de capsules. On se sert exclusivement de capsules cylindriques, unies ou cannelées ; quelquefois, le bord inférieur est recourbé, pour permettre de reconnaître dans l'obscurité l'extrémité ouverte. Nous décrirons la machine de Josten, qui paraît réaliser les derniers perfectionnements apportés à cette fabrication.

Les *fig. 101* à *113* montrent l'ensemble et les détails de cette machine : l'élévation antérieure (*fig. 101*), la coupe transversale sui-

Fig. 102.

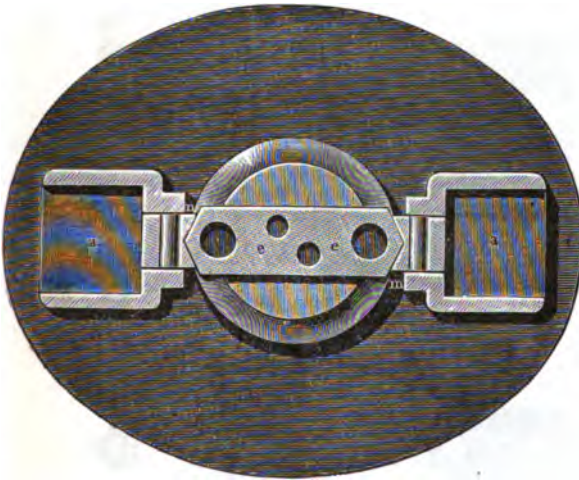


Fig. 103.



vant AB (*fig. 102*), l'arbre moteur avec sa manivelle et son excentrique (*fig. 103*), le plan (*fig. 104*) et la section longitudinale (*fig. 105*) du récipient des baguettes creuses, la coupe d'une de ces baguettes (*fig. 106*), la coupe d'un poinçon avec son écrou (*fig. 107*), le plan de la plaque qui le supporte (*fig. 108*), enfin l'élévation latérale des tiges *ee* et *i* (*fig. 109*), avec le plan de la traverse dans la-

Fig. 105.

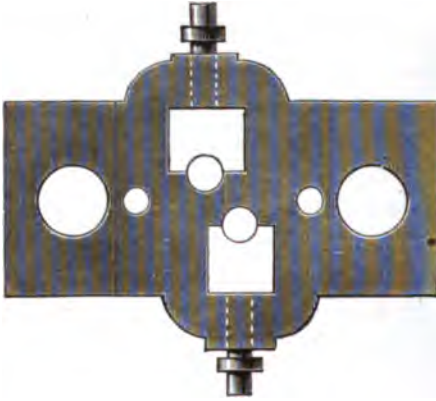


Fig. 104.

[Fig. 111.

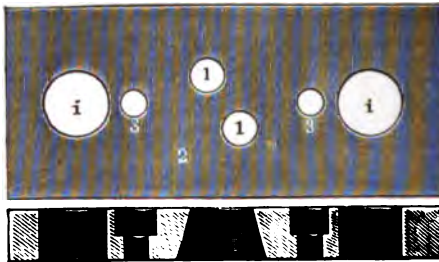


Fig. 111.

Fig. 110.

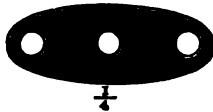


Fig. 109.



quelle elles s'engagent (*fig. 110*); les *fig. 111, 112 et 113*, correspondant aux *fig. 104, 105 et 106*, représentent les dispositifs le plus souvent adoptés dans les machines ordinaires. Les *fig. 101, 102, 103, 109 et 110* sont à l'échelle de $\frac{1}{4}$; les *fig. 104, 105, 111 et 112*, à l'échelle de $\frac{1}{2}$; les autres sont en vraie grandeur.

Le bâti *aaaa* provient d'une même coulée; l'arbre horizontal *dd*,

Fig. 106.

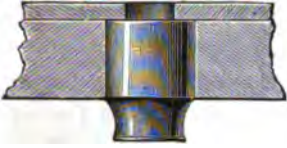


Fig. 113.



Fig. 107.

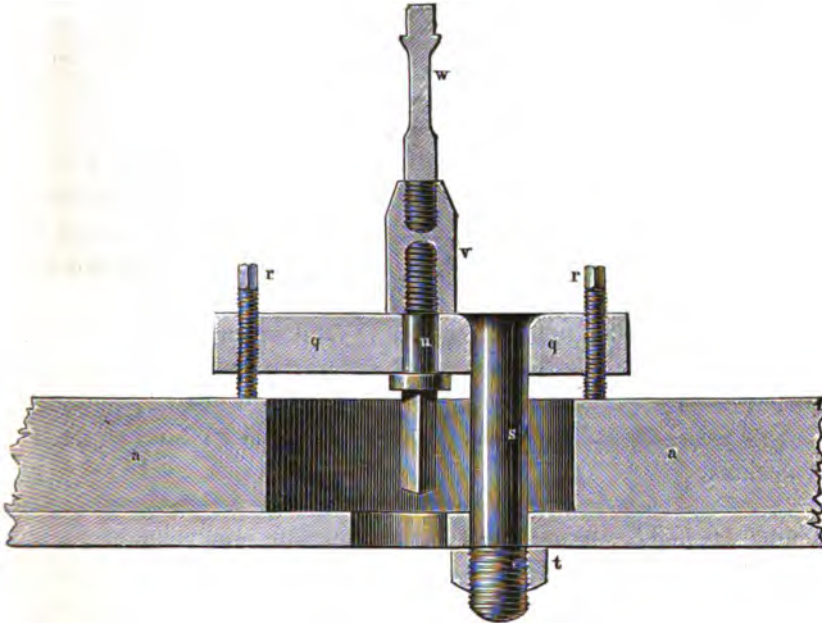


Fig. 108.



qui se meut dans des coussinets en bronze, est muni d'un volant et de deux poulies : on peut aussi visser une manivelle à l'une de ses extrémités. La traverse *b*, qui constitue le chapeau des paliers, sert en même temps à augmenter la solidité de l'appareil. Le milieu de l'arbre forme manivelle et donne ainsi un mouvement vertical de

va-et-vient au tirant *k* et, par suite, au prisme *l* qui est guidé par les pièces *m*. De part et d'autre de la manivelle, l'arbre porte deux excentriques, dont la rotation imprime également un mouvement vertical aux tiges d'acier *ee*, solidement vissées aux tiges d'acier inférieures *ii*; deux écrous permettent de fixer la tige *i* dans l'ouverture centrale de la traverse à la hauteur voulue. La plaque-découpoir *f*, avec la pièce supérieure *g*, est ainsi solidement assujettie; par l'effet de la rotation de l'arbre, elle reste un instant immobile, puis remonte aussitôt. La feuille de cuivre est découpée en disques pendant que la plaque est au repos, la capsule se forme pendant le mouvement descendant; cette dernière opération se fait par les poinçons et les baguettes creuses. Celles-ci (*fig.* 406) sont fixées dans les plaques en acier trempé 2 (*fig.* 404, 404 et 405), qui sont réunies au prisme par deux vis 3,3 (*fig.* 411); quant aux poinçons *w* (*fig.* 407), ils sont fixés dans les écrous *v* assujettis à la plaque *g* au moyen des vis *u*: cette plaque est reliée au bâti par la vis *s* et l'écrou *t*, et l'on peut en faire varier la hauteur en agissant sur les vis de pression *rr*. Les capsules une fois formées peuvent s'échapper par une ouverture ménagée à la partie supérieure de la plaque 2, et qui permet en même temps à l'ouvrier d'examiner l'intérieur de la machine.

Une machine de Josten, qui, mue à la main, livrait 90 000 capsules par jour, a pu marcher d'une manière continue pendant 2 ans sans aucune réparation. Ce nouvel appareil présente ces deux avantages, qu'il peut fabriquer indifféremment des capsules de toutes dimensions et que toutes ses parties sont accessibles à l'ouvrier.

Les capsules, au sortir de la machine, sont toujours nettoyées, soit par une immersion dans l'acide sulfurique étendu et un séchage dans de la sciure de bois, soit par un nettoyage à l'eau de savon, suivi d'un séchage et d'un polissage par agitation dans de la sciure de bois.

Les capsules ainsi préparées peuvent recevoir la composition d'amorce.

Nous citerons encore le mode de confection de J. et J. D. Horraks, consistant à garnir l'intérieur de la capsule de gutta-percha, que l'on introduit chaude et que l'on étend à l'aide d'un poinçon. Cet enduit a pour objet de donner une fermeture hermétique et d'appropriier les capsules, par son élasticité même, à des pistons de différentes grosseurs.

c) Préparation de la composition fulminante.

Une composition d'amorce ordinaire contient une très-faible quantité de fulminate de mercure : mais on y ajoute toujours d'autres substances destinées à en ralentir la combustion (p. 748) et, par suite, à assurer l'inflammation de la charge. Ces substances sont, tantôt du salpêtre pur, tantôt un mélange de salpêtre avec du soufre, rarement avec du charbon, et le plus souvent du pulvérin. On se sert quelquefois, pour accroître la puissance de l'amorce, d'un mélange de salpêtre et de chlorate de potasse.

Dans tous les cas, le mélange se fait à l'état humide. Les matières que l'on joint au fulminate sont étendues sur une table de marbre poli, avec de l'eau pure ou avec une solution d'eau de gomme, et converties en pâte à l'aide de broyeurs ou de rouleaux en bois dur, ordinairement en buis ; puis on ajoute progressivement le fulminate de mercure humide, en ayant soin que la répartition se fasse uniformément dans toute la masse. Le poids de l'eau doit représenter environ les 0,3 de celui du fulminate.

Dans le cas où l'on mélange le fulminate avec du salpêtre pur, on peut adopter les proportions suivantes, qui ont été successivement employées :

Fulminate de mercure.	100		100		100
Salpêtre.	33 $\frac{1}{2}$		50		60

Pour un mélange de salpêtre et de soufre, les proportions généralement usitées sont les suivantes :

Fulminate de mercure.	100		109		100
Salpêtre.	62,5		117		45,5
Soufre.	29		23		14,5

Pour le cas d'une simple addition de pulvérin, on s'est arrêté aux proportions ci-après :

Fulminate de mercure.	100
Pulvérin.	60

Autrefois, on croyait avantageux d'effectuer le mélange des matières en présence d'une solution alcoolique de gomme-laque ou de gomme de benjoin. L'usage de l'eau pure est aujourd'hui presque général et ne présente aucun danger sérieux.

d) Grenage de la composition fulminante.

L'opération du grenage, nécessaire pour la confection des charges des capsules, est beaucoup plus dangereuse que celle du mélange. Elle exige, en effet, que les matières ne soient pas trop humides; or, la sensibilité au frottement de la composition fulminante croît très-rapidement à proportion que celle-ci se dessèche, et il est à peu près impossible d'éviter les frottements d'une manière absolue pendant le grenage.

L'atelier de grenage doit être séparé des autres bâtiments; le sol est formé par des plaques de plomb, et les parois par des planches lisses. On n'opère que sur de faibles quantités de matières à la fois. La composition est tamisée au-dessus d'une table recouverte d'une étoffe de laine, sur laquelle est tendue une toile cirée noire. On se sert de tamis de crin, fermés à leur partie inférieure par une plaque de plomb et à travers lesquels on force la matière à passer par compression. Après chaque opération, les tamis sont lavés à l'eau pure ou mieux à l'acide sulfurique très-étendu.

La matière grenée est versée dans des boîtes doublées de feuilles d'étain et munies d'un couvercle en plomb. Pour donner aux grains de la consistance, on les étend sur des feuilles de papier dans des caisses en bois, afin de les faire sécher à une température modérée, sur des châssis en bois tendre disposés autour d'un poêle. La matière est alors époussetée, et les poussières sont mis de côté pour être ajoutés plus tard aux compositions qui seraient trop humides avant le grenage. Les grains sont conservés, soit dans des boîtes munies d'un couvercle en carton verni, soit dans des flacons doublés de cuir, où ils sont introduits à l'aide d'un entonnoir en papier. — Le papier sur lequel la matière a été séchée est, par précaution, lavé à l'acide chlorhydrique étendu.

e) Chargement et confection des capsules.

Appareil de chargement. — L'opération du chargement des capsules doit s'effectuer dans des ateliers où les causes de frottement soient le plus possible évitées et qui, par suite, présentent les mêmes dispositions intérieures que celles des ateliers de grenage.

D'après les anciennes méthodes, le chargement constituait une manipulation dangereuse pour les ouvriers. L'appareil comprenait deux parties essentielles : 1° la *main*, qui est une plaque en cuivre

percée de trous dans laquelle on reçoit les capsules; 2° l'*entonnoir*, qui se compose de trois parties mobiles : un récipient supérieur, que l'on charge de matière grenée; l'appareil de distribution, formé de deux plaques percées de trous et pouvant glisser l'une sur l'autre; enfin le porte-poinçons, plaque en cuivre également percée de trous et plus épaisse, qui porte vers l'extérieur des poinçons permettant de comprimer la matière à l'intérieur des capsules.

Avec les nouvelles machines, l'ouvrier se trouve à l'abri de toute explosion. L'appareil de Josten (*fig. 114-120*) repose sur le même principe que le précédent. Nous représentons ci-contre la vue de côté de cette machine (*fig. 114*), la coupe longitudinale de l'appareil de chargement proprement dit (*fig. 115*), la vue de face en supposant le manteau *b* enlevé (*fig. 116*), la coupe transversale par le plan AB (*fig. 117*), la vue en projection horizontale (*fig. 118*), la coupe transversale du tiroir de chargement avant (*fig. 119 a*) et après (*fig. 119 b*) le perçage, enfin la coupe longitudinale du fond de l'appareil de chargement avant (*fig. 120 a*) et après (*fig. 120 b*) le perçage. Les *fig. 119* et *120* sont en vraie grandeur, et les autres à l'échelle de 1/4.

La machine est installée dans l'atelier d'emplissage : l'ouvrier peut s'abriter derrière un manteau *b* en fer forgé, qui mesure 1^m,60 de hauteur sur 0^m,85 de largeur et 0^m,016 d'épaisseur; ce manteau est légèrement recourbé (*fig. 118*) et se trouve solidement relié au bâti de la machine à l'aide des vis *ee*. A travers une ouverture pratiquée dans le manteau se meut le tiroir en laiton *c*, qui reçoit la plaque de chargement portant des moules remplis de capsules vides (la main), et qui, guidé par la petite tige en acier fondu *d*, vient butter contre la vis de pression *g*; on fixe la plaque de chargement à l'aide de poinçons disposés sur le tiroir et pénétrant dans des cavités correspondantes de celles-ci. Le rebord *n* (*fig. 116* et *117*) est destiné à empêcher les projections de matière fulminante pendant les changements de plaque.

A l'autre extrémité du bâti *a* se trouvent les vis de pression *hh* (*fig. 117* et *118*) : l'appareil de chargement proprement dit, saisi entre les pointes de ces vis, peut ainsi basculer à la manière d'un balancier. La construction de cet appareil est particulièrement soignée : plus il sera léger, tout en ne laissant rien à désirer sous le rapport de la solidité, moins graves seront les dégâts résultant des explosions. Le cadre *ii*, qui est d'un bois à fibres fines, com-

Fig. 114.

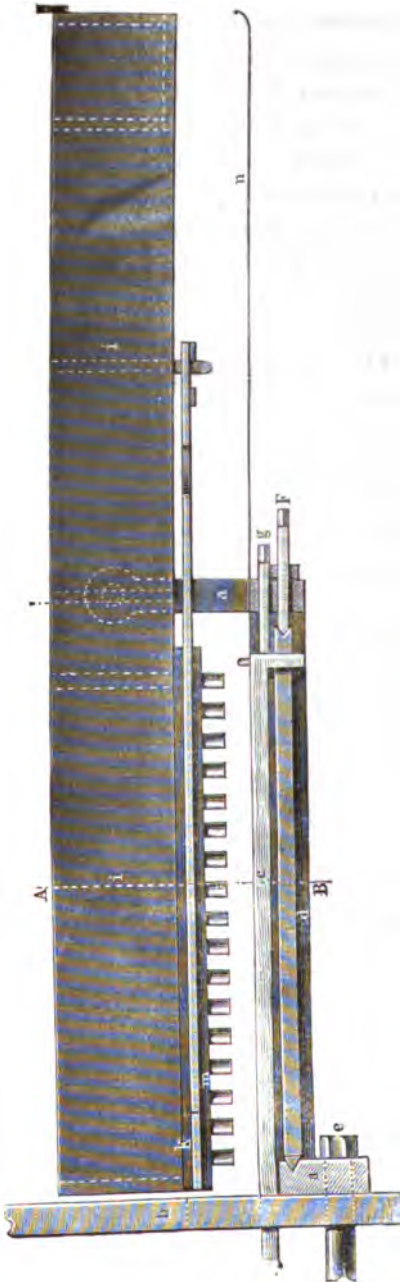


Fig. 118.



Fig. 115.



Fig. 116.



Fig. 117.

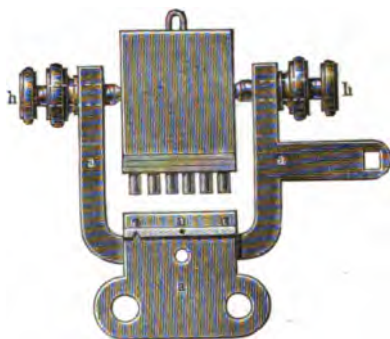


Fig. 119.

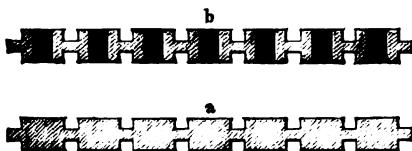


Fig. 120.



prend plusieurs compartiments : la partie située en avant du manteau *b* est la caisse d'emplissage, dont le fond se compose d'une

plaque légère en laiton *k* (*fig. 114* et *118*); nous représentons séparément les dispositions qu'il affecte dans les anciennes machines (*fig. 115*) et dans la machine de Josten (*fig. 120 b*). Au-dessous de ce fond se meut, par l'intermédiaire du tirant *o*, le tiroir de chargement *l* (*fig. 119 b* et *118*), dont les surfaces frottantes ont été réduites au strict minimum, de même que celles du fond. Enfin, au-dessous du tiroir, se trouve la plaque des tubes *m*. Les saillies *p* et *q* (*fig. 115*) fixent les positions extrêmes de *l*: suivant que *p* ou *q* buttent contre la tige *r*, la communication est établie ou interrompue entre la caisse de chargement et les tubes.

Un poids ou un ressort de caoutchouc, disposé à l'autre extrémité, tend constamment, en soulevant l'appareil de chargement, à l'éloigner de la plaque qui porte les capsules: une corde passant sur une poulie permet à l'ouvrier de l'abaisser à volonté. Pour faire une opération, il suffit donc de pousser d'une main la tige *d* avec la plaque des capsules, d'abaisser avec le pied l'appareil de chargement, et d'agir sur le tirant avec l'autre main.

La construction de cette machine résout de la manière la plus heureuse d'assez sérieuses difficultés. En premier lieu, les frottements, source de tant de dangers, ont été aussi complètement éliminés que possible; en outre, l'ouvrier se trouve suffisamment protégé contre une explosion accidentelle. Enfin, les diverses parties de l'opération peuvent être exécutées avec rapidité et précision.

Appareil de compression. — On a cherché de différentes manières à donner du corps à la composition fulminante introduite dans la capsule et à la préserver en même temps des influences atmosphériques. Le procédé le plus employé aujourd'hui consiste à appliquer sur la matière, à l'aide d'un pilon, une petite feuille de cuivre ou de bronze. Nous décrivons l'appareil de Josten destiné à cet usage; nous donnons, à l'échelle de $1/4$, la coupe longitudinale (*fig. 121*) et le plan (*fig. 122*) de deux machines symétriques, montées sur la même plaque *z* et disposées de part et d'autre de la pièce en fonte *x*, chacune d'elles occupant un ouvrier.

Le disque en laiton *a*, qui reçoit les capsules, est solidement relié à un fuseau vertical en acier *5*; la construction doit en être très-soignée. Le bord est muni de 24 dents, contre lesquelles vient butter le crochet d'arrêt *c*, pressé par un ressort. A la surface du disque sont disposées deux séries concentriques de trous également espacés; dans les trous de la circonférence intérieure sont vissés des

poinçons contre lesquels vient frapper la dent *b*, qui produit ainsi la rotation du disque; les trous de la circonférence extérieure reçoivent les capsules chargées de matière fulminante.

L'ouvrier tourne de la main droite la manivelle *v*, pendant que, de la main gauche, il remplit les trous qui se présentent successivement. Le mouvement du pignon *u* se transmet à la roue *S* et au treuil *t*, qui lui est relié par l'intermédiaire de l'arbre *1*; les bras de ce treuil portent 4 galets *w*, qui rencontrent successivement le levier *g* et qui le soulèvent de manière que le poinçon *e*, fixé au cylindre *f* et relié à *g* par la charnière *h*, sorte de l'une des cavités du disque *a*; un contre-poids, supprimé sur les figures, produit le mouvement descendant du levier. En même temps, la roue *S* communique un mouvement de rotation à la roue *r*, à l'excentrique *m* et au pignon conique *q*, qui engrène avec la roue *p* montée sur l'arbre *o*. Les dents *d* et *b* sont ainsi entraînées dans la rotation; la dent *b* fait tourner le disque *a* dès que le poinçon *e* se trouve suffisamment relevé, tandis que *d* soulève le crochet d'arrêt. Le disque reste immobile jusqu'au moment où *b* vient butter contre la tige suivante; *e* se trouve alors au-dessus d'un nouveau trou et le levier *g* est à son maximum d'élévation: il est aussitôt lâché et retombe de tout son poids jusqu'à sa position la plus basse, en même temps que le poinçon pénètre dans la capsule placée au-dessous; celle-ci reçoit également l'empreinte de la marque de fabrique au moyen de la petite enclume *y*. Pendant l'arrêt du disque, l'excentrique *m* met en mouvement le levier coudé *l*, qui presse sur un ressort muni d'une tige mince: cette dernière fait tomber dans un récipient disposé au-dessous les capsules encore engagées dans le disque. L'arrêt *i* est destiné à empêcher celles-ci de rester suspendues après le poinçon *e*.

Cet appareil de compression des capsules se distingue par la facilité avec laquelle on peut le mettre en mouvement, par la sécurité relative qu'offre son maniement et par son débit considérable: il peut fournir journellement 30 000 capsules avec couverture métallique. Chacune d'elles étant ainsi parfaitement fermée, on n'a pas à craindre une explosion générale de toute la masse.

Mode de chargement. — On préférait autrefois mélanger la composition fulminante avec des solutions résineuses, qui servaient à fois de liant et de préservatif contre l'humidité. Les dissolutions de laque ou de sandaraque dans l'alcool, qui ont été quelquefois employées, présentaient l'inconvénient d'oxyder le cuivre, et la décom-

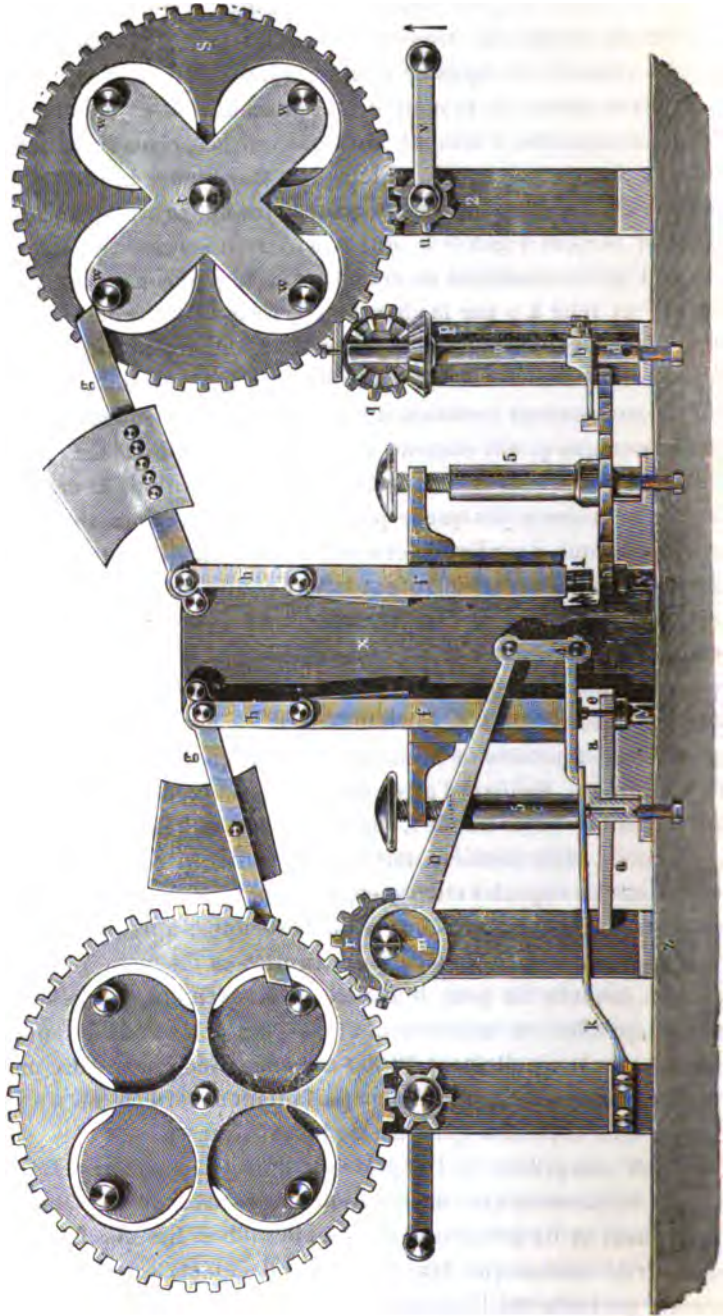


Fig. 121

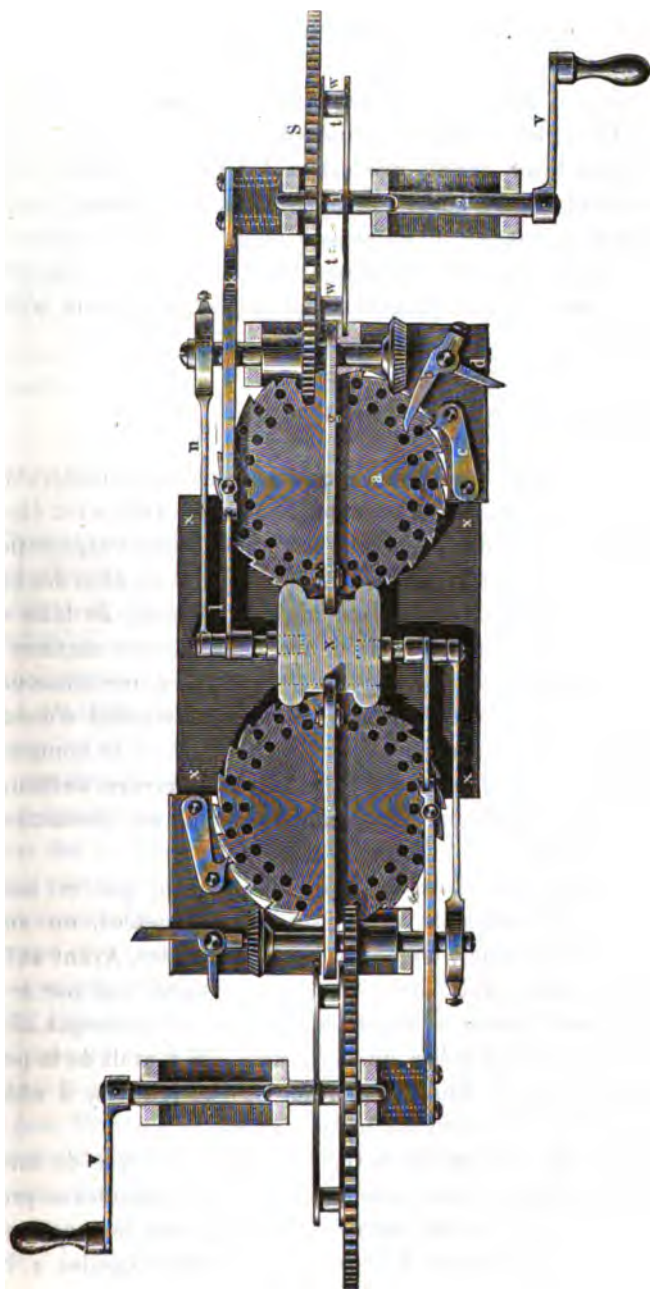


Fig. 192.

position se communiquait fréquemment à la charge. La dissolution de mastic dans l'essence de térébenthine paraît avoir donné de meilleurs résultats.

La charge d'une capsule en matière fulminante est, en moyenne, de 15 à 16^m : les capsules destinées aux usages militaires ont une charge plus forte, tandis que celles des fusils de chasse ont une charge plus faible. D'après des documents autrichiens, il suffit de 0^r,500 de fulminate de mercure pour charger 32 000 capsules militaires ou 59 000 capsules de chasse ; d'après d'autres expériences, ces deux nombres se rapprocheraient respectivement de 40 000 et de 57 000.

f) Production, conservation et transports.

La fabrication des capsules a reçu une extension considérable ; en France, par exemple, la production de l'année 1835 s'est élevée à 800 000 000 de capsules, dont 3 à 400 000 000 pour l'exportation.

Les capsules sont conservées dans des cornets ou dans des boîtes que l'on enferme dans des caisses doublées de peau, de toile ou de cuir ; les intervalles sont remplis avec des plantes marines, des rognures de papier, etc. Pour les usages militaires, une caisse ne doit pas contenir plus de 300 000 capsules. Il est essentiel d'emmagasiner les caisses dans un local parfaitement sec : si la composition fulminante devient humide, le fulminate de mercure s'effleurit et cristallise ; il est alors particulièrement sensible aux frottements et aux chocs (p. 745).

D'anciennes expériences de Lovel ont montré que, si, sur une masse assez considérable de capsules empaquetées, on en fait détoner quelques-unes, les autres restent intactes. Ayant enfermé 500 capsules dans une caisse, Lovel en fit partir une par le choc d'un pilon qui passait à travers le couvercle : il provoqua ainsi la détonation de 3 ou 4 pièces au plus. Mais, s'il y avait de la poudre en grains ou que la caisse renfermât des cartouches, il obtenait régulièrement l'explosion de toute la masse.

Des essais plus récents de la Chambre de commerce de Birmingham ont également prouvé que le transport des capsules ne présentait pas de danger, quand même les paquets qui les contiennent viendraient à prendre feu. Une caisse de 50 000 capsules a brûlé sans explosion dans un fourneau de fusion ; des paquets de 5 000

pièces ont pu être écrasés par une masse de fer de 50^l tombant d'une hauteur de 4^m, sans produire aucune détonation violente.

g) Conclusion.

Pour résumer ce qui concerne la fabrication des amorces au fulminate de mercure, le danger principal paraît résider dans la préparation du fulminate et de la composition d'amorces, ainsi que dans certaines manipulations inhérentes au mode de chargement des capsules.

Nous nous contenterons de mentionner ici l'emploi du fulminate de mercure sous forme de *pastilles* pour les fusées d'obus ou de shrapnells.

II. AUTRES AMORCES A PERCUSSION.

Malgré les récents perfectionnements apportés à la fabrication des amorces au fulminate de mercure, on n'a pu réussir à éviter complètement les explosions accidentelles résultant de l'extrême sensibilité de ce corps : aussi a-t-on cherché à lui substituer d'autres matières pour le chargement des amorces. Plusieurs compositions dignes d'intérêt ont été successivement proposées ; mais elles n'ont pas jusqu'ici été l'objet d'expériences suivies, et le fulminate a gardé toute son importance au point de vue qui nous occupe.

Au premier rang des nouvelles compositions d'amorces figurent la plupart des pyroxyles. — Abel a proposé un mélange, facile à préparer, de *coton-poudre* et de *chlorate de potasse*. — Caldwell emploie du *coton-poudre* plongé dans une dissolution concentrée de *chlorate de potasse* et séché ; l'explosion se produit dans les mêmes conditions que pour le fulminate d'argent. — Nous avons déjà signalé (p. 673) l'usage de la *nitromannite* comme matière fulminante : ce corps présente le double avantage de détoner facilement par le choc et d'être beaucoup moins sensible que le fulminate au frottement et à une élévation de température. — Il n'en est pas de même des *substances diazotées*, qui ont été également proposées comme compositions d'amorces (p. 741).

On a encore remplacé le fulminate de mercure par du *picrate de plomb*.

Lesimple recommande un mélange de 3 parties de *nitrate de*

plomb pour 1 de *phosphore amorphe*, dont la préparation est peu coûteuse (2^r,50 le kil.) et ne présente aucun danger. La même composition avait été déjà introduite par Achleitner, après avoir été expérimentée avec soin par Vohl.

Le *chlorate de potasse* joue le principal rôle dans toutes les autres compositions, qui sont sensibles au frottement ou au choc. Neumann le mélange avec du *cyanure de cuivre*, Abel avec du *phosphore de cuivre*, tandis que la composition d'Armstrong, formée de chlorate de potasse et de *phosphore amorphe*, est généralement employée en Angleterre pour les capsules et autres appareils de mise de feu.

III. CAPSULES DES FUSILS A AIGUILLE.

a) Compositions diverses.

La composition fulminante destinée à la confection des capsules et qui doit s'enflammer par le choc de l'aiguille, peut s'obtenir, d'après Reich, en lessivant à l'eau bouillante de la poudre à carabine, en reprenant le résidu par quelques gouttes d'alcool et d'huile de naphte, et en le broyant avec un mélange pulvérisé, composé de :

Chlorate de potasse.	16
Sulfure d'antimoine.	2
Sucre.	3
Prussiate jaune de potasse.	2
Peroxyde de plomb.	4

La matière est introduite encore humide dans la cartouche et séchée avec précaution.

On a également proposé la composition suivante :

Chlorate de potasse.	16
Sulfure d'antimoine.	8
Fleur de soufre.	4
Poussière de charbon, humectée d'eau gommée ou sucrée.	1

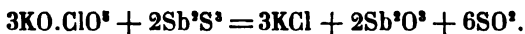
Le mélange est additionné de 5 gouttes d'acide nitrique, broyé avec précaution et séché.

Les compositions adoptées dans la pratique sont d'une préparation généralement plus simple. Wiederhold indique le mélange sec suivant :

Chlorate de potasse.	5
Sulfure d'antimoine.	4

La pastille pesait 0^r,75 et, conservée pendant 5 ans, n'éprouvait aucune altération dans ses effets.

Darapsky recommande une composition analogue, qu'il nomme *universelle* et qu'il croit destinée à supplanter le fulminate de mercure. Les proportions, qui sont celles de Wiederhold, correspondent à 3 équivalents de chlorate pour 2 de sulfure environ. La décomposition du mélange serait représentée par la réaction suivante :



Cette matière doit être employée pour toutes les amorces à percussion destinées à faire facilement explosion, telles que capsules, étoupilles, cartouches-amorces, et aussi pour les amorces à friction. Il est très-important de la mettre à l'abri de l'humidité ; à cet effet, tous les joints de l'enveloppe métallique qui la reçoit sont enduits de gomme-laque. Des capsules ainsi préparées peuvent impunément séjourner sous l'eau pendant plusieurs semaines.

b) Capsules adoptées en Prusse et en France.

En Prusse, suivant Gottlieb, on emploie le mélange suivant :

Chlorate de potasse.	4
Sulfure d'antimoine.	2
Soufre.	1

Les matières sont broyées avec de l'eau gommée.

D'après une instruction détaillée concernant la préparation du mélange fulminant, celle-ci peut se faire par voie sèche ou par voie humide, les proportions relatives des composants étant d'ailleurs sensiblement différentes de celles de Gottlieb.

La préparation par voie sèche ne doit être pratiquée que pour de petites quantités de matières. Elle consiste à mélanger sur une feuille de papier, à l'aide d'une spatule en bois, 5 parties de chlorate de potasse pulvérisé avec 4 de sulfure d'antimoine, et à saupoudrer le mélange d'un peu de fleur de soufre. La composition est ensuite introduite dans les capsules soit complètement sèche, soit légèrement humectée d'alcool dilué.

La préparation par voie humide doit être préférée en raison de la sécurité qu'elle présente et des applications plus générales du produit ainsi obtenu. Les matières sont mélangées dans les mêmes proportions, le chlorate ayant été préalablement humecté; on y

ajoute 1/2 partie de gomme arabique ou mieux 1 partie de colle de pâte. La composition peut alors être introduite dans la capsule par deux procédés différents : 1° la masse pâteuse est convertie, sur une planchette, en barres dans lesquelles on découpe les pastilles à l'aide d'un moule à balles de dimensions convenables : ces pastilles sont introduites dans les cavités correspondantes des cartouches et séchées au soleil ou près d'un fourneau ; 2° on lubrifie la masse sur une plaque métallique percée de trous de la grosseur des pastilles, lesquels sont d'abord fermés par une plaque formant obturateur : cette dernière étant enlevée, on comprime la matière à l'aide d'un outil convenable et on la fait pénétrer dans les capsules disposées en dessous, où elle est ensuite séchée. L'opération suivante, qui est celle de la compression des pastilles dans les capsules, a une grande importance : on porte celles-ci dans une mortaiseuse spéciale, et l'on produit une pression uniforme au-dessus des pastilles à l'aide d'une presse à levier munie d'un poinçon à trois faces : s'il survient une explosion de la matière, l'ouvrier ne court aucun danger, à cause du jeu qui subsiste entre le poinçon et les parois de la capsule. La pastille ainsi formée a la dureté de la pierre et s'attaque à peine à l'air humide.

Les parties essentielles d'une cartouche de fusil à aiguille sont (*fig. 123*) : la balle *a*, la capsule *b* avec la pastille *c*, la charge de

Fig. 123.



poudre *d* et la douille *f* avec un fond de toile *e*, plongé dans un mélange de cire et de paraffine et muni d'une entaille en forme de croix. La douille en papier *f* ayant été préparée sur un mandrin convenable, on y adapte le disque en toile *e*, puis on introduit 4^{rs},5 à 5^{rs} de poudre, on place au-dessus de la charge un cylindre (Spiegel) formé par deux bandes de fort papier enroulé et comprimé qui porte à la partie antérieure une ouverture pour recevoir le projectile, et à la partie postérieure un petit logement pour la pastille. Le projectile ayant été mis en place, on lie la douille au-dessus et l'on enduit de suif la partie supérieure de la cartouche. Le poids total de celle-ci est de 40^{rs}, dont 25^{rs} pour le projectile. — Pour les cartouches à plomb de chasse du fusil à aiguille, on dispose, en outre, une espèce de capsule qui sert de culot (Treibspiegel) à l'extrémité an-

térieure de la charge de plomb. La capsule d'inflammation ne diffère pas sensiblement de la cartouche de guerre. Le poids de la charge de plomb est, en général, triple de celui de la poudre.

La cartouche du chassepot contient une capsule au fulminate de mercure. La douille est une feuille métallique mince, munie d'un fond en cuivre ou en fer zingué; ce dernier est percé d'une ouverture centrale, à travers laquelle pénètre l'aiguille pour atteindre la capsule.

§ II.

AMORCES A FRICTION.

L'étoupille à friction adoptée en France, qui est destinée à enflammer la charge des bouches à feu, se compose d'un tube extérieur, dit *grand tube*, en cuivre rouge embouti, ayant 45^{mm} de longueur sur 4^{mm},3 de diamètre intérieur et muni, à sa partie supérieure, d'un tampon en bois percé d'un petit trou suivant l'axe et assujetti près de la tête par un étranglement; un tube intérieur, dit *petit tube*, également en cuivre et séparé du tampon par une rondelle de caoutchouc, renferme la composition fulminante, qui occupe le tiers de sa longueur et est percée d'un trou suivant l'axe pour le passage du *rugueux*. Ce dernier est un fil de laiton aplati à l'une de ses extrémités, taillé en queue d'aronde dentelée et terminé par un crochet qui est assujetti sur l'extrémité inférieure du petit tube. Le vide intérieur du grand tube est rempli de poudre fine bien tassée, et l'on bouche l'extrémité inférieure avec de la cire mélangée de poix blanche; enfin, on verse une goutte de cire fondue dans le petit calice central ménagé sur la tranche supérieure du tampon en bois. — La matière fulminante est formée de :

Chlorate de potasse	1/3
Sulfure d'antimoine	2/3

que l'on a humectés avec de l'alcool gommé, puis séchés avec soin. Le poids de l'étoupille est d'environ 5^{gr}, et son prix de revient de 0^{fr},016.

En Allemagne, le tube de l'étoupille est en laiton; on commence

par le remplir de poudre grenée, que l'on tasse au-dessus d'un mandrin, de manière à y ménager un logement de forme conique. L'appareil de friction se compose d'une enveloppe qui entoure une petite plaque à surface rugueuse : la plaque et l'enveloppe sont enduites de matière fulminante, dont on détermine l'explosion en tirant brusquement la première. — La composition est préparée dans les laboratoires militaires et toujours par petites quantités. On mélange intimement dans un mortier, à l'aide d'une spatule en bois, 33^{gr} de chlorate de potasse avec 12^{gr} environ d'une dissolution de colle de poisson (1^{gr} de colle dans 70^{gr} d'eau), et l'on ajoute au mélange 33^{gr} de sulfure d'antimoine. On poursuit le broyage pendant 3/4 d'heure, en général, jusqu'au moment où la masse prend une consistance mielleuse ; on la passe alors, au moyen d'un pinceau, sur l'appareil de friction, et l'on fait sécher à l'air. La confection de 1 000 étoupilles exige 2^{kg},5 de poudre, 133^{gr} de chlorate de potasse et autant de sulfure d'antimoine.

Les artilleries des autres nations emploient des étoupilles analogues, mais avec des compositions différentes. En Angleterre, on se sert uniquement de la composition d'Armstrong (p. 774). En Suède, on a adopté, sur la proposition de Callerström, des étoupilles dont l'inflammation se produit par le contact d'acide sulfurique concentré avec une composition formée de chlorate de potasse, de sucre, de soufre, de charbon et de cinabre (cf. p. 617 et 750).

CHAPITRE II.

FUSÉES ET ARTIFICES.

Nous avons décrit, dans le chapitre précédent, les principaux types d'amorces dont l'inflammation peut être facilement produite par le choc ou par le frottement. Nous allons nous occuper de différentes compositions à inflammation plus difficile et à combustion plus lente : les unes servent, comme les précédentes, à mettre le feu aux charges, cartouches, pièces d'artifice, etc.; les autres constituent, suivant leur nature, des matières fusantes, des fusées d'éclairage, des fusées incendiaires, etc.

Ces mélanges contiennent toujours des corps *combustibles*, tels que du charbon, du soufre, du sulfure d'antimoine, de la résine, des goudrons, etc., et des corps *oxydants*, le plus souvent destinés à produire des effets particuliers : des sels de baryte, de strontiane, de cuivre, etc., pour colorer la flamme; des corps aromatiques, pour répandre des parfums agréables; des métaux à l'état pulvérulent (fer, zinc, etc.), pour donner des gerbes d'étincelles.

Nous décrirons d'abord avec quelques détails la préparation et les propriétés des *compositions fondamentales* employées pour la confection de ces mélanges; puis nous examinerons séparément les deux catégories d'*artifices* que nous avons signalées plus haut. Nous indiquerons enfin le procédé général d'*analyse chimique* des compositions d'artifice.

§ I.

COMPOSITIONS FONDAMENTALES.

Les compositions dites *fondamentales* forment la base de la plupart des fusées et des artifices actuellement en usage. Ce sont :

- 1° La poudre à tirer ;
- 2° Le soufre-salpêtre ;
- 3° La matière grise.

I. PRÉPARATION.

La *poudre à tirer* est prise, suivant le but que l'on se propose, à l'état de grains, de poussier ou de galette. Elle est employée sous forme de grains pour l'inflammation des charges de canons, qui demande une combustion vive de la fusée, et sous forme de poussier pour les fusées à combustion lente. En soumettant le pulvérin à un battage plus ou moins énergique, on peut en ralentir encore la combustion.

Le *soufre-salpêtre* se compose de :

Salpêtre.	3
Soufre.	1

ce qui correspond à peu près à 1 équivalent de salpêtre pour 2 de soufre. Il se dégage, par suite de la décomposition, de l'acide sulfureux et de l'azote, en vertu de la formule :



— La composition dite *mélange soufre-salpêtre* (Salpeterschwefelmenkung), qui est plus rarement employée, se compose de parties égales des deux substances.

La *matière grise* n'est autre que du soufre-salpêtre mélangé d'une certaine quantité de charbon ou de pulvérin, destinée à augmenter le volume des gaz produits. Elle se compose, par exemple, de :

Soufre-salpêtre.	100	}	soit {	93,46
Pulvérin.	7			6,54

En mélangeant ces trois substances dans des proportions convenables, on peut obtenir des compositions dont la durée de combus-

tion et les effets soient extrêmement différents : or, la durée de combustion est de la plus grande importance pour les fusées à temps ; quant aux effets, on doit pouvoir les modifier à volonté suivant le but à atteindre.

Pour la préparation de ces matières et le chargement des fusées, on se conforme, en général, aux prescriptions suivantes :

La pulvérisation se fait dans des mortiers ou, pour des quantités plus considérables, sur des tables. Les matières pulvérisées sont le plus souvent soumises à un tamisage. Les sels déliquescents sont préalablement séchés au bain de sable. — La composition est dite *froide* ou *chaude*, suivant qu'on l'obtient par un simple mélange à froid ou en faisant fondre la masse. L'intensité du mélange, qui doit en constituer une propriété essentielle, est plus facile à réaliser par le second procédé. — Les substances dont la manipulation présente peu de danger sont le plus souvent triturées dans des tonnes. Si, au contraire, les frottements sont à redouter, comme pour les compositions contenant du chlorate de potasse, on triture les matières séparément à la main dans de petites auges en bois ou sur une feuille de papier ; on peut encore les triturer ensemble, mais par plus petites portions, à l'aide d'une spatule en bois ou en corne. — On préfère, en général, le soufre en canons pulvérisé à la fleur de soufre, dont les impuretés pourraient provoquer l'inflammation spontanée du mélange.

II. PROPRIÉTÉS.

Clarke a signalé divers cas d'inflammation spontanée des matières fusantes. Ayant préparé des mélanges de chlorate de potasse, de soufre et de nitrate de strontiane ou de baryte, il remarqua, au bout de peu de temps et surtout avec des substances qui n'avaient pas été complètement séchées, un dégagement de gaz couleur orange, puis la liquéfaction de la masse en différents points, et finalement son inflammation. Une petite quantité de sulfure d'antimoine semble empêcher la décomposition. Les compositions arrivées à un certain degré d'humidité doivent être séchées avec les plus grandes précautions, car, même en présence du sulfure d'antimoine, elles possèdent une forte tendance à l'inflammation spontanée.

Arnall a fait des observations analogues ; il a cherché à expliquer ces phénomènes par la formation d'acide sulfurique, qui exercerait une action de décomposition sur le chlorate de potasse (p. 647 et 778). Quoi qu'il en soit, il paraît démontré qu'il se produit quelque réaction chimique de cette nature ; aussi a-t-on proposé de mélanger les compositions avec de petites quantités d'un carbonate alcalin (cf. p. 642).

Websky croit que, pour les compositions qui renferment du chlorate de potasse avec du soufre, il y aurait avantage à lui substituer du perchlorate de potasse, si l'on connaissait un procédé de fabrication de ce dernier sel plus rapide et moins coûteux. Les compositions ainsi obtenues s'enflamment moins facilement et brûlent plus lentement, mais avec un éclat beaucoup plus vif.

§ II.

ARTIFICES DE MISE DE FEU.

Les compositions que nous allons décrire sont destinées à produire l'inflammation des charges de toute nature (armes à feu, projectiles creux, trous de mine, etc.), aussi bien que celle des artifices. A ce titre, elles sont quelquefois combinées avec les mélanges fulminants qui ont fait l'objet du chapitre précédent (*).

I. MÈCHES ET ÉTOUPILLES.

a) Mèches et étoupilles à la pâte de pulvérin.

La *pâte de pulvérin* est un mélange de poudre et d'esprit-de-vin ou d'eau-de-vie de grain, dont on fait un fréquent usage pour la confection des mèches et des cordeaux. On y ajoute souvent de la gomme arabique, pour lui donner une certaine force de liaison. Le mélange se fait à la main dans un bassin en cuivre. Les proportions adoptées sont les suivantes :

(*) A moins d'indication contraire, les descriptions de ce paragraphe se rapportent à la pyrotechnie prussienne.

SUBSTANCES COMPOSANTES.	PRUSSE.		FRANCE.
	Pâte dense.	Pâte légère.	
Pulvérin.	1 ^k	1 ^k	1 ^k
Eau-de-vie.	0 ^l ,57	0 ^l ,72	0 ^l ,75
Gomme arabique.	16 ^{gr} (dissous dans 0 ^l ,14 d'eau.)		11 ^{gr} ,25

Le *papier-étoupe* est du papier buvard blanc, dont les deux faces ont été enduites de pâte de pulvérin légère et saupoudrées de pulvérin. On s'en sert assez souvent en Prusse pour assurer l'inflammation des charges.

La *mèche à étoupilles* ou *mèche à feu* sert à amorcer tous les artifices et la plupart des étoupilles en usage dans l'artillerie. Elle se compose de 3 à 4 fils de coton, complètement imprégnés de pâte de pulvérin dense et saupoudrés de pulvérin. Les fils de coton restent en contact avec la pâte pendant 6 à 8 heures; ils sont ensuite enroulés sur un tour et passés à travers un calibre, sorte de planchette munie d'un trou de diamètre convenable et destinée à donner à la mèche l'épaisseur réglementaire. Le séchage se fait à l'air libre et dure 4 à 6 jours, suivant la saison. La mèche est de nouveau trempée dans la pâte additionnée de gomme arabique, passée au calibre et saupoudrée de pulvérin aussi régulièrement que possible; elle est enfin séchée, enveloppée dans du papier, et conservée dans des caisses à cartouches ou dans des barils. Les conditions de la fabrication et la vitesse de combustion de la mèche sont résumées dans le tableau suivant :

LIEU de la fabrication.	DIAMÈTRE de la mèche.	QUANTITÉS DE MATIÈRES NÉCESSAIRES pour la confection de 100 ^m de mèche.				DURÉE de combustion de 1 ^m de mèche.
		Pulvérin.	Eau-de-vie.	Gomme arabique.	Coton.	
Prusse. . .	5 ^{mm} ,2	2 ^k ,94	4 ^l ,35	21 ^{gr} ,2	0 ^l ,240	24 ^{sec}
France. . .	2 ,2	0 ,80	0 ,60	90 ,0	0 ,885	15

Une bonne mèche doit présenter partout la même résistance,

n'avoir pas de nœuds, s'enflammer facilement et propager régulièrement l'inflammation d'une extrémité à l'autre.

La *mèche de communication* ou *porte-feu* (Leitfeuer) sert à communiquer le feu d'un endroit à un autre; elle se compose d'une mèche ordinaire entourée d'une enveloppe de papier plus ou moins longue, suivant la distance à laquelle on veut transmettre l'inflammation. L'*étoupille de communication* (Papierstoppine, Ludelfaden) comprend également une enveloppe de papier, à l'intérieur de laquelle ont été introduits des morceaux de mèche ordinaire ayant 285^{mm} de longueur sur 2^{mm},1 à 3^{mm},3 de diamètre; elle sert, comme le porte-feu, à communiquer l'inflammation à distance et peut, en outre, être substituée, dans le tir des canons de gros calibres, à l'étoupille à friction dont la fabrication est si coûteuse. — En France, les *étoupilles* ou *tuyaux d'amorce*, se composent de tubes de roseau de 4 à 5^{mm} de diamètre, coupés en morceaux de 8^{mm} pour les pièces de campagne, de 13 à 14^{mm} pour les pièces de siège, et remplis d'un mélange de pulvérin, d'eau-de-vie et de gomme; 2^l,5 de pulvérin, humectés de 2^l,5 d'eau-de-vie, suffisent pour 1 000 à 1 100 roseaux. Les *mèches de communication* ne diffèrent des étoupilles que par leurs compositions: les mèches à combustion très-vive contiennent 9 de pulvérin pour 1 de fulminate de mercure, et les mèches à combustion très-lente (1^{re} en 3^{ms}) 8 de pulvérin pour 2 de soufre. — On remplace encore le papier par des tuyaux de cuivre, de plume, de paille, et l'on introduit dans la composition d'amorce du salpêtre, du sulfure d'antimoine, du charbon, de l'alcool, etc.

b) Mèches au chlorate de potasse.

La mèche de Gomez et Mills, dite *mèche américaine*, se compose d'un mélange de parties égales de chlorate de potasse et de cyanure double de fer et de plomb, humecté d'esprit-de-vin et étendu sur une bande de papier très-mince à raison de 0^g,41 par mètre de longueur; la bande est ensuite placée dans une enveloppe de papier, que l'on enduit de poix, de résine, etc.

Thill trempe de la laine dans le même mélange et comprime la mèche dans une enveloppe de plomb.

c) Mèches au coton-poudre et à la dynamite.

On a également cherché à mettre le coton-poudre et la dynamite sous forme de mèche à feu. Cette dernière substance, moulée en

cylindres de 0^m,16 de longueur sur 0^m,007 de diamètre et enveloppée dans du papier, était placée dans un tube en toile gommée. Des embranchements, ménagés à l'aide de tuyaux en plomb, permettent de faire partir presque en même temps plusieurs charges de mine; en faisant usage d'une amorce fulminante pour enflammer la mèche à la dynamite, on peut produire presque instantanément l'explosion à une distance de 20^m. Les cartouches électriques (p. 789), dont le prix de revient est relativement élevé, doivent toujours être amorcées par des mèches de cette espèce.

d) Lances et tubes à feu.

Les *lances à feu* sont des cartouches ou fourreaux de papier roulés et collés, remplis d'une composition qui possède la propriété de ne pas s'éteindre à la pluie; elles peuvent ainsi, en cas de mauvais temps, remplacer la corde à feu (*) pour enflammer les charges des canons et toute espèce d'artifices. Le tableau suivant en résume les principaux éléments :

LIEU de la fabrication.	DIMENSIONS de la lance.		DURÉE de la combus- tion.	COMPOSITION.					
	Diamètre.	Longueur.		Pulvé- rin.	Salpê- tre.	Sou- fre.	Colo- phae.	Anti- moine.	
Prusse. . . .	»	390 ^{mm}	10 à 12 ^{min}	85	75	25	7	»	
France	a. . . .	15 ^{mm}	400	10 à 12 ^{min}	3	32	16	»	»
	b. . . .	15	400	10 à 12 ^{min}	1	6	3	»	»
	c. . . .	15	400	10 à 12 ^{min}	1	16	8	»	1
Suède. . . .	»	pour 26 ^{mm}	1 ^{min}	11	24	14	1	»	

(*) La *corde à feu* ou *mèche à canon*, qui n'est presque plus employée depuis l'invention des étoupilles fulminantes, est un cordage de chanvre ou de lin qui, par une préparation convenable, acquiert la propriété de prendre feu facilement et de propager l'inflammation d'un de ses bouts à l'autre. En Prusse, on fait digérer pendant plusieurs jours 50^l d'écheveaux de chanvre purifiés avec une dissolution de 1^l,8 d'acétate de plomb ou de chromate de potasse dans 143^l d'eau; puis on les retire pour les faire sécher. En France, on fait digérer pendant 1/4 d'heure au plus, si l'on opère à chaud, et pendant 6 à 8^h, si l'on opère à froid; les écheveaux sont ensuite séchés à l'ombre, après avoir été tordus et lissés; il faut 1^l,25 d'acétate et 25^l d'eau pour préparer 100^m de mèche de 13 à 14^{mm} de diamètre, brûlant de 0^m,162 par heure et formant un charbon dur de 0^m,02 de longueur, qui se termine en pointe et résiste à une légère pression. La mèche à canon a été employée d'abord pour mettre directement le feu au canon, puis pour allumer les lances à feu.

On comprime la matière par petites portions à l'intérieur d'une forte enveloppe de papier, en donnant, à l'aide d'un refouloir, de petits coups sur une massette; l'extrémité de la charge n'est soumise à aucune pression, afin de faciliter l'inflammation. En Prusse, il faut 9^g,5 de composition pour 100 lances; en France, il suffit de 7^g de la composition c. La longueur du jet de flamme varie de 0^m,08 à 0^m,40.

Les *tubes à feu* (Satzröhrchen), qui servent également à assurer l'inflammation des artifices, sont des cylindres de papier, au fond desquels se trouve une couche de pulvérin légèrement comprimé de 0^m,02 de hauteur, et dont la partie supérieure est remplie d'une composition d'amorce spéciale (Zehrungssatz); cette dernière est formée d'un mélange de 100 parties de soufre-salpêtre avec 25 de pulvérin. Il faut 5^g de la composition d'amorce et 0^g,5 de pulvérin pour 100 tubes.

II. FUSÉES.

On désigne sous le nom de *fusée* tout appareil destiné à produire l'inflammation de la charge d'un projectile creux ou généralement d'une pièce d'artifice quelconque.

On divise les fusées en deux classes principales, suivant que l'inflammation doit se produire au bout d'un temps déterminé ou instantanément.

Les fusées de la première classe se partagent en trois catégories :

1° Les fusées *fusantes*, destinées à provoquer l'éclatement du projectile pendant sa course, au bout d'un temps déterminé à compter du départ;

2° Les fusées *percutantes*, dont l'inflammation doit se produire par suite du choc que subit le projectile à son point de chute;

3° Les fusées *mixtes*, qui sont construites de manière à se comporter à volonté comme fusantes ou comme percutantes. Cette dernière espèce de fusées, qui présenterait le plus grand intérêt pour l'artillerie de campagne, n'ayant pu encore être établie sur un type entièrement satisfaisant, nous ne nous occuperons que des deux premières catégories.

La seconde classe comprend les fusées *électriques*, qui ont pour but de provoquer l'inflammation instantanée de la charge.

a) Fusées fusantes.

Ces fusées (*fusées à temps, fusées réglées; Zeitzünder; time fuze*) se composent, en général, de tubes fermés à une extrémité et remplis d'une composition dont la combustion doit avoir une durée parfaitement déterminée. Cette composition consiste le plus souvent en un mélange de matière grise et d'une quantité de pulvérin variable avec la durée de combustion que l'on veut obtenir. Les proportions à adopter résultent d'ailleurs du tableau suivant :

COMPOSITION.		DURÉE de la combustion de 26 ^{mm} .	COMPOSITION.		DURÉE de la combustion de 26 ^{mm} .
Matière grise.	Pulvérin.		Matière grise.	Pulvérin.	
100	0	42 ^{sec} ,62	45	55	2 ^{sec} ,83
90	10	22 ,91	40	60	2 ,76
80	20	7 ,21	35	65	2 ,75
70	30	4 ,54	30	70	2 ,72
65	35	3 ,65	20	80	2 ,50
60	40	3 ,42	10	90	2 ,32
35	45	3 ,18	0	100	2 ,29
50	50	2 ,97			

Au-dessus de la composition se trouve une couche de pulvérin destinée à lui transmettre l'inflammation. Si l'on veut corriger la durée de la combustion de la fusée, en raison même de celle du parcours du projectile, que l'on calcule d'après la distance du but à atteindre, il ne faut jamais modifier l'état de compression des matières : on se contente de couper la fusée à la longueur correspondant à la durée cherchée.

Nous donnons ci-dessous quelques-unes des compositions employées en Prusse :

	Matière grise.	Pulvérin.
Canons à bombes, mortiers de 25 et de 50 livres (projectiles lourds).	70	30
Mortiers de 7 et de 10 livres.	75	25
Grenades à main et grenades de mortier à main.	80	20

En France, les fusées pour bombes et obus se composent d'un corps de fusée en bois, dans lequel est enfoncé un tube en laiton, qui contient la matière fusante; un calice de forme tronc-conique

est percé dans la tête du corps de fusée et rempli d'une composition d'amorce, à laquelle aboutissent les extrémités de deux brins de mèche à étoupilles. Des amorces de trous, pratiquées à différentes distances sur la surface extérieure, indiquent les points où l'on doit percer latéralement le corps de fusée pour obtenir l'éclatement du projectile au bout d'un nombre de secondes déterminé. — Les fusées pour grenades à main se composent d'un corps de fusée en bois, percé d'un canal longitudinal qui renferme la composition fusante; celle-ci est enflammée à l'aide d'une amorce fulminante au chlorate de potasse, et sa combustion dure 4^{sec}. 2. Les fusées de grenades, pour mitraille des mortiers, devant prendre feu par les gaz de la charge, sont amorcées avec de la mèche à étoupilles et de la poudre tassée dans le calice; la durée de la combustion est de 7^{sec}. — Enfin, les fusées à six durées pour obus à balles de 24 sont en laiton; un système de canaux, remplis de composition fusante et aboutissant à une même chambre à poudre, permet, en débouchant l'un des six événements, d'obtenir l'éclatement au bout d'un temps déterminé.

Le tableau suivant indique les proportions adoptées pour la matière fusante en France, en Autriche, en Angleterre et en Suède :

LIEU DE LA FABRICATION.	COMPOSITION FUSANTE.			
	Pulvérin.	Salpêtre.	Soufre.	
France.	{ guerre.	3	2	1
	{ marine.	490	294	216
Autriche.	{ gros calibres.	4	3	1
	{ petits calibres.	3	3	2
Angleterre.		9	6	5
Suède.		60,5	75	25

b) Fusées percutantes.

Les *fusées percutantes* employées en France se composent d'un corps de fusée en laiton ou en bronze, à l'intérieur duquel sont disposés une amorce fulminante et un percuteur en acier, en laiton ou en bronze, destiné à l'enflammer : tantôt c'est le percuteur qui, au moment du choc, pénètre dans l'amorce, tantôt c'est l'inverse qui

se produit. Les *fusées à double réaction* de la marine peuvent se rattacher au premier système : le percuteur, qui est en bronze, a la forme d'une bouteille dont le goulot va frapper l'amorce; il renferme, en outre, une charge de poudre dont les gaz chassent un tampon placé à l'extrémité antérieure et communiquent l'inflammation à la charge du projectile.

En Prusse, des fusées analogues ont été récemment construites pour le tir des shrapnells ou obus à balles.

c) Fusées électriques.

On fait usage des fusées fusantes dans tous les cas où l'on veut produire l'inflammation des charges des projectiles ou des pièces d'artifices au bout d'un temps déterminé. Si, au contraire, cette inflammation doit être presque instantanée et si l'on veut faire partir plusieurs charges à la fois, on est conduit à employer des *fusées électriques*. Quel que soit d'ailleurs le mode d'inflammation adopté (étincelle électrique ou fil métallique porté à l'incandescence), on devra toujours, pour opérer avec sûreté, se servir d'une substance conductrice auxiliaire, dite *conducteur secondaire*.

Gaiffe et Comte font passer l'étincelle d'induction à travers du fulminate de mercure. Leur fusée coûte moins cher que celle de Stateham, dont la construction repose sur le même principe.

La fusée Stateham se compose de deux fils conducteurs en cuivre ou en fer galvanisé, distants de 2 à 3^{mm} et fixés dans un tube en caoutchouc dont les parois intérieures sont revêtues d'une couche de sulfure de cuivre. C'est cette couche qui sert de conducteur secondaire et qui assure l'inflammation d'une petite charge de fulminate de mercure, mélangé avec de la poudre de chasse et renfermé dans un petit sac en caoutchouc. Le prix d'une fusée est de 0^{fr},50 (4 gros).

Abel enflamme, à l'aide d'un appareil magnéto-électrique, un mélange de chlorate de potasse et de cyanure de cuivre, auquel on a ajouté du coke en poudre, afin d'en augmenter la conductibilité.

Mowbray se sert d'un mélange de chloraté de potasse et de sulfure ou de phosphore de cuivre. Deux fils métalliques isolés aboutissent à l'extrémité effilée d'un tube en bois, préalablement trempé dans la paraffine fondue, et sont assujettis au moyen de gutta-percha; on place au-dessus la composition à enflammer, puis une capsule contenant 1^{gr} de fulminate de mercure, et finalement on enduit le tube

d'un vernis à l'asphalte. Trois ouvriers peuvent fabriquer 1000 fusées par jour.

Ebner a également employé avec succès un appareil électro-magnétique. Ses amorces, spécialement destinées à l'explosion des mines, présentent deux fils de cuivre auxquels aboutissent les conducteurs de l'appareil électrique; ces fils sont isolés et maintenus par une masse de soufre et de verre fondus ensemble. On place entre leurs extrémités intérieures une composition formée de parties égales de chlorate de potasse et de sulfure d'antimoine, avec addition de sulfure de plomb ou de cuivre. L'amorce est ensuite fermée par un simple bouchon de liège. — Ebner avait d'abord recommandé l'électricité de frottement comme l'agent d'inflammation le plus efficace : il a pu ainsi faire partir des amorces jusqu'à une distance de 4 lieues; mais il a rencontré de sérieuses difficultés pour la construction de machines convenables, pouvant fonctionner sûrement dans des endroits humides. Le constructeur Bornhardt, de Brunswick, livre des machines qui, hermétiquement enfermées dans une caisse en tôle, peuvent impunément séjourner sous l'eau pendant un certain temps.

Les fusées d'Abegg, qui se composent de deux fils de fer entourés de cire et mis en relation avec une machine électrique, se recommandent par leur bon marché : 100 fusées coûtent 9^{fr} (2 thalers, 12 gros).

Nous avons décrit plus haut (p. 451) l'exploseur magnéto-électrique Bréguet, dit *coup-de-poing*.

§ III.

ARTIFICES DIVERS.

En dehors des artifices de mise de feu, on fait usage, en pyrotechnie, d'un grand nombre d'autres compositions dont la nature varie avec les effets que l'on veut produire. Ces effets peuvent être divisés en trois catégories distinctes :

1^o Production de *lumière* : fusées lumineuses, feux colorés, feux d'étincelles, compositions doubles;

2^o Production de *gaz* : fusées volantes, fusées pour balles à fumée, fusées de désinfection, extincteurs;

3° Production d'une *flamme* longue, vive et à température élevée fusées incendiaires, mixtes comburants et feux liquides.

A un autre point de vue, on peut distinguer les compositions *vives* et les compositions *lentes*. On peut encore, surtout pour les artifices de joie, distinguer les feux d'*étincelles* et les feux de *flamme* : les premiers sont caractérisés par un jet de particules en ignition ou en incandescence, la flamme proprement dite n'ayant qu'une importance secondaire ; les seconds, au contraire, sont caractérisés par la coloration de leur flamme ; ces deux propriétés sont quelquefois réunies dans les compositions *doubles*. Les feux d'*étincelles* ne sont d'aucun usage dans la pyrotechnie militaire.

I. PRODUCTION DE LUMIÈRE.

Si l'on se propose uniquement de produire une flamme d'un éclat aussi vif que possible, on peut résoudre le problème au moyen de mélange très-simples ; mais il arrive souvent que l'on doit donner à la flamme une coloration déterminée, ce que l'on obtient par l'addition de certaines substances. La lumière répandue par une flamme provient, soit de particules solides entraînées par les produits de la combustion et portées à l'incandescence, soit de gaz en ignition : dans les deux cas, l'intensité de la lumière dépend essentiellement de la température de la flamme.

L'élément principal de la plupart des fusées lumineuses est constitué par du soufre-salpêtre, dans lequel le salpêtre peut être remplacé en tout ou en partie, suivant la nature de la fusée, par une quantité équivalente de chlorate de potasse. Souvent aussi on transforme le soufre-salpêtre en matière grise en lui ajoutant du pulvérin, afin d'augmenter la production de gaz. La matière grise brûle avec une belle flamme blanche, dont l'éclat est dû aux particules solides de sulfate de potasse entraînées.

a) Fusées lumineuses.

Les *balles à feu* sont des sachets en toile remplis de matière grise ; celle-ci a été rendue aussi compacte que possible par l'addition d'un peu d'eau-de-vie. Les balles à feu sont amorcées à l'aide d'un tube à feu (p. 786). Elles sont utilisées pendant la guerre de siège : on les lance à la main pour éclairer le terrain environnant.

Les *balles luisantes* sont lancées à de plus grandes distances par des pièces spéciales ou simplement tirées dans des tubes à bombes, pour servir de signaux pendant la nuit. La composition, qui renferme 76,6 de matière grise pour 23,4 de soufre, est préparée à chaud : on introduit par petites portions la matière grise dans le soufre fondu, en ayant soin d'agiter pour faciliter l'intimité du mélange. La composition est ensuite chargée dans une enveloppe spéciale, dite *carcasse en fer*.

Les *tubes à bombes* sont de forts cartouches en papier, remplis de couches alternantes d'une composition lente (2 de pulvérin et 1 de charbon) et d'une petite charge de poudre en grains, sur laquelle repose une balle luisante. On les enfouit debout en terre ; ils sont surtout employés comme signaux nocturnes. On tire également dans ces tubes des balles luisantes à feux colorés (p. 794).

Le *flambeau* ou *feu de conserve* est un tube cylindrique rempli d'une composition éclairante qui sert à faire des signaux ou à indiquer une position, et qui est formée de 107 de matière grise pour 5 de sulfure d'antimoine. En France, on emploie un mélange de 6 de salpêtre, 3 de soufre et 1 de pulvérin, humecté de 10,5 d'eau gommée.

La *roche à feu* (Kaltgeschmolzenzeug) est tirée dans les tubes à bombes avec une composition plus lente. Elle se compose :

Matière grise.	85,6
Pulvérin.	29,4
Sulfure d'antimoine.	5,0

Ces substances sont humectées d'eau-de-vie, intimement mélangées et moulées en forme de balles. La roche à feu est souvent employée pour sa flamme blanche, qui possède un vif éclat. — Le mélange suivant, qui ne renferme que les éléments de la poudre, jouit presque au même degré de propriétés analogues :

Salpêtre.	75,0
Soufre.	22,5
Charbon.	2,5

Les *feux indiens*, qui donnent une flamme blanche, renferment 24 de salpêtre, 7 de soufre et 2 de réalgar (bisulfure d'arsenic).

b) Feux colorés.

La production des feux colorés a donné lieu, surtout pour les

artifices de joie, à un grand nombre de compositions différentes. Les matières colorantes généralement employées sont des nitrates ou des chlorates qui, portés à l'incandescence, possèdent la propriété de donner une couleur déterminée à la flamme dans laquelle ils se trouvent en suspension; et, comme ces sels abandonnent en même temps leur oxygène avec une grande facilité, il en résulte qu'ils contribuent à augmenter la température et, par suite, l'éclat de la flamme.

Le fond de presque tous les feux colorés est constitué par une flamme blanche, légèrement violette, résultant de la combustion du soufre-salpêtre ou plus souvent encore d'un mélange à équivalents égaux de chlorate de potasse et de soufre (Chlorkalischwefel). L'emploi de ce dernier mélange, qui se distingue par un dégagement considérable de gaz et de chaleur, est surtout recommandé lorsque les sels colorants sont difficilement volatils. L'addition d'une petite quantité de charbon accélère la combustion du mélange, sans modifier la coloration de la flamme; mais, si l'on en ajoute une proportion notable, on donne à cette coloration une nuance rougeâtre.

Dans la préparation des artifices, les différentes colorations s'obtiennent respectivement au moyen des sels suivants :

Rouge : nitrate de strontiane $\text{SrO} \cdot \text{AzO}^5$; pour le rouge clair, nitrate de chaux ou chlorure de calcium. La magnifique coloration rouge donnée par les sels de lithine revient à des prix trop élevés; elle est d'ailleurs d'un emploi difficile, en raison de la déliquescence de la plupart de ses composés.

Jaune : nitrate de soude $\text{NaO} \cdot \text{AzO}^5$, ou bicarbonate de soude.

Vert : nitrate de baryte $\text{BaO} \cdot \text{AzO}^5$.

Bleu : carbonate de cuivre $\text{CuO} \cdot \text{CO}^3$, ou sulfate de cuivre ammoniacal. Le protoxyde de cuivre, primitivement employé, semble donner au mélange une certaine tendance à la décomposition spontanée.

Nous indiquerons les principales compositions de feux colorés employées dans la pyrotechnie militaire et dans la pyrotechnie civile.

Pyrotechnie militaire. — Les mélanges suivants sont particulièrement employés pour former la garniture des fusées (p. 800) et servent aussi de signaux :

Blanc. . . . | Roche à feu (p. 792).

Rouge. . .	{	Chlorate de potasse.	29,7
		Nitrate de strontiane.	45,7
		Soufre pulvérisé.	17,2
		Sulfure d'antimoine.	5,7
		Charbon.	1,7
Bleu. . . .	{	Chlorate de potasse.	54,5
		Sulfate de cuivre ammoniacal.	27,4
		Charbon de bois.	18,1
Vert. . . .	{	Chlorate de potasse.	32,7
		Nitrate de baryte.	52,3
		Soufre.	9,8
		Charbon de bois.	5,2
Jaune. . . .	{	Salpêtre.	62,8
		Soufre.	23,6
		Nitrate de soude.	9,8
		Charbon.	3,8

Les matières sont mélangées avec précaution, humectées d'un peu d'alcool et introduites dans des cartouches de papier avec un battage modéré.

Artifices de joie. — Les principales compositions employées pour les balles luisantes (p. 792) sont les suivantes :

		A	B	C	D	
Blanc. . .	{	Salpêtre.	9	70	"	"
		Chlorate de potasse.	"	"	16	"
		Soufre.	3	14	8	"
		Sulfure d'antimoine.	2	"	1	"
		Nitrate de plomb.	"	"	16	"
		Réalgar.	"	10	"	"
		Laque.	"	1	"	"
Rouge. . .	{	Antimoine métallique.	"	12	"	"
		Nitrate de strontiane.	8	4	"	"
		Chlorate de potasse.	4	3	"	"
		Soufre.	3	"	"	"
		Sulfure d'antimoine.	2	"	"	"
		Salpêtre.	"	"	5	14
		Charbon pulvérisé.	"	"	"	1
		Laque.	"	"	"	3
Vert. . . .	{	Sucres de lait.	"	2	"	"
		Noir de fumée.	"	"	1	"
		Nitrate de baryte.	16	40	40	"
		Carbonate de baryte.	"	"	"	1
		Chlorate de potasse.	8	20	20	6
		Soufre.	6	13	10	2
		Sulfure d'antimoine.	3	"	"	"
Vert. . . .	{	Calomel.	"	13	"	"
		Noir de fumée.	"	1	1	"
Vert. . . .	{	Laque.	"	1	1	"
			"	1	1	"

Jaune.	}	Nitrate de soude.	8	8	8
		Oxalate de soude.	2	1	2
		Chlorate de potasse.	4	4	4
		Nitrate de potasse.	9	9	9
		Soufre.	3	2	2
		Sulfure d'antimoine.	1	1	1
		Charbon pulvérisé.	1	1	1
		Laque.			
Blanc.	}	Carbonate de cuivre (ocre bleue).	5	5	5
		Limaille de cuivre.	5	5	5
		Chlorate de potasse.	12	8	8
		Soufre.	5	4	4
		Calomel.	1	6	6
		Sucre de lait.	5	5	5
Violet.	}	Carbonate de cuivre.	1	1	1
		Nitrate de strontiane.	4	5	5
		Limaille de cuivre.	4	4	4
		Chlorate de potasse.	9	5	5
		Soufre.	6	3	3
		Calomel.	1	3	3

Pour assurer l'inflammation des balles luisantes, on les amorce au moyen de diverses compositions. Websky se sert du mélange suivant : 8 de pulvérin, 4 de salpêtre, 1 de soufre.

Les *étoiles* sont de petits corps ronds ou cubiques, renfermant une composition humectée d'alcool et qui servent le plus souvent de garnitures pour les fusées. Les mélanges usités pour les étoiles colorées diffèrent peu des précédents. Les étoiles blanches et jaunes d'or présentent les compositions suivantes :

	Blanc.		Jaune d'or.	
Salpêtre.	16	16	16	16
Soufre.	8	7	10	8
Pulvérin.	3	4	16	8
Charbon.	»	»	4	2
Noir de fumée.	»	»	2	2

Feux du Bengale. — Tandis que les artifices que nous venons de décrire ont beaucoup moins pour objet d'éclairer les environs que de produire dans l'air, à une certaine hauteur, des effets lumineux pouvant servir de signaux, les feux du Bengale ou feux de théâtre sont destinés, au contraire, à répandre une lumière d'une couleur déterminée sur des espaces d'une étendue plus ou moins considérable. Il existe un très-grand nombre de compositions de ce genre : nous nous contenterons de mentionner les plus importantes.

Les matières sont intimement mélangées à l'état sec ; puis on les comprime dans les capsules ou dans les boîtes en tôle où elles doivent être enflammées. Les différentes colorations s'obtiennent surtout par l'addition des chlorates de baryte, de strontiane, de cuivre, etc., pourvu que ces sels ne soient pas trop hygrométriques.

		A	B	C	D	E	
Blanc...	Salpêtre.	12	32	24	"	"	La composition A est la plus employée; elle donne une flamme blanc bleuâtre. C ne se distingue des feux indiens (p. 792) que par l'addition d'antimoine métallique.
	Soufre.	4	8	7	"	"	
	Sulfure d'antimoine.	1	"	"	"	"	
	Réalgar.	"	"	2	"	"	
	Antimoine métallique.	"	12	1	"	"	
	Minium.	"	10	"	"	"	
Rouge. . .	Nitrate de strontiane.	40	56	"	"	"	A, B, C brûlent avec une belle flamme rouge. D avec une flamme pourpre, E avec une flamme rosée. Les feux rouges de Holtz se composent de: Nitrate de strontiane, 4; Laque, 1.
	Carbonate de strontiane.	"	"	23	"	"	
	Carbonate de chaux.	"	"	"	23	"	
	Chlorure de calcium.	"	"	"	"	23	
	Chlorate de potasse.	5	20	61	61	61	
	Soufre.	13	24	16	16	16	
	Charbon.	2	"	"	"	"	
Jaune. . .	Nitrate de soude.	48	"	"	20	"	
	Carbonate de soude.	"	20	23	"	"	
	Soufre.	16	17,5	16	5	"	
	Sulfure d'antimoine.	4	"	"	1	"	
	Charbon pulvérisé.	1	1,5	"	1	"	
	Salpêtre.	"	61	"	"	"	
	Chlorate de potasse.	"	"	61	"	"	
Vert. . .	Nitrate de baryte.	43	60	8	12	"	
	Chlorate de potasse.	10	18	3	5	"	
	Soufre.	10	22	3	4	"	
	Sulfure d'antimoine.	1	"	"	"	"	
Bleu. . .	Carbonate de cuivre.	"	"	"	"	"	A bleu pur. B bleu foncé. C bleu clair.
	Sulfate de cuivre ammoniacal.	15	12	"	"	"	
	Alun calciné.	"	12	23	"	"	
	Chlorate de potasse.	28	60	61	"	"	
	Soufre.	15	16	16	"	"	
	Sulfate de potasse.	15	"	"	"	"	
	Salpêtre.	27	"	"	"	"	
Violet. . .	Alun.	12	16	"	"	"	A violet foncé. B violet clair.
	Carbonate de potasse.	12	16	"	"	"	
	Chlorate de potasse.	60	54	"	"	"	
	Soufre.	16	14	"	"	"	

Thenius a fait connaître un procédé de préparation des *torches du Bengale*, qui peuvent être employées comme les torches à poix, et de

plusieurs autres compositions analogues, dont la durée de combustion se trouve ralentie par l'addition de laque ou d'acide stéarique.

Feux divers. — On peut citer encore plusieurs mélanges d'un emploi plus coûteux et, par suite, plus rare, malgré la beauté des effets lumineux qu'ils produisent.

La composition d'Uhden renferme :

Salpêtre.	20
Soufre.	5
Sulfure de cadmium.	4
Charbon pulvérisé.	1

Elle brûle avec une belle flamme blanche bordée de bleu.

Le mélange de Crookes :

Chlorate de thallium.	8
Calomel.	2
Résine.	1

donne une magnifique flamme verte.

Désignolle a obtenu, avec du picrate d'ammoniaque, les colorations verte et rouge :

	Vert.	Rouge.
Picrate d'ammoniac.	48	54
Nitrate de baryte.	52	»
Nitrate de strontiane.	»	46

Enfin, Brugère a produit une belle flamme verte au moyen d'une composition formée de :

Picrate d'ammoniac.	25
Nitrate de baryte.	67
Soufre.	8

Colorations mélangées. — On pourrait croire, au premier abord, qu'il est facile d'obtenir les couleurs intermédiaires par une combinaison convenable des compositions correspondant aux couleurs principales ; mais cette reproduction n'est possible que dans des limites assez restreintes, car la superposition des couleurs complémentaires tend à donner un blanc plus ou moins pur. D'après Winkelblech, l'addition de 2 p. 100 d'une composition jaune à une rouge donne une flamme sans coloration appréciable. Les flammes vertes sont extrêmement sensibles et tournent au gris avec une grande facilité par l'addition d'une composition étrangère ; Field a

obtenu une flamme d'un blanc bleuâtre par le mélange de deux compositions rouge et verte, et une flamme d'un blanc pur par le mélange d'une composition verte et d'une composition rosée de la formule E (p. 796). Une belle flamme violette ne peut s'obtenir que par le mélange du rouge et du bleu (p. 795 et 796).

On peut toutefois réaliser des effets lumineux assez remarquables par la combustion de diverses compositions juxtaposées et choisies de telle sorte que leurs couleurs soient, autant que possible, complémentaires. Si, par exemple, on fait brûler une composition d'un vert pâle à côté d'une flamme d'un rouge intense, on obtient une coloration d'un vert d'herbe très-prononcé; si, au contraire, on fait brûler une flamme d'un vert foncé dans le voisinage d'une composition d'un rouge faible, celle-ci prend une magnifique teinte cramoisie. De même, une coloration d'un bleu pâle se trouve renforcée par le voisinage d'une flamme d'un rouge vif ou d'un jaune intense. Ces phénomènes sont d'ailleurs absolument subjectifs; ils sont dus à la propriété que possède notre œil de se fatiguer par l'éclat des rayons fortement colorés et de devenir moins sensible à leur perception, tandis que, par un effet inverse, sa sensibilité se trouve accrue pour les couleurs complémentaires.

c) Feux d'étincelles.

Ces sortes de compositions ont acquis une très-grande importance pour les artifices de joie, parce qu'elles donnent des effets assez brillants à peu de frais.

Les mélanges les plus simples se composent, soit de pulvérin et de charbon concassé, soit de salpêtre, de soufre et de charbon. Les proportions relatives de ces divers éléments sont les suivantes :

Pulvérin.	10 à 8	"	"
Salpêtre.	"	12	16
Soufre.	"	3	4
Charbon concassé.	1 à 3	5	9

Le charbon concassé donne des étincelles rougeâtres. On peut encore employer certains métaux à l'état pulvérisé, tels que des rognures de fer ou d'acier exemptes de rouille, qui donnent des étincelles rouges ou blanches, et des rognures de cuivre ou de zinc, qui donnent des étincelles vertes ou d'un vert bleuâtre. C'est à ces matières que les fusées dites *d'honneur* ou *en brillants* doivent l'éclat

de leurs feux. Les plus usuelles présentent les compositions suivantes :

Pulvérin.	16	16	»
Salpêtre.	8	12	12
Soufre.	3	3	1
Charbon.	3	3	1
Rognures de fonte (fils de Lyon).	10	12	2

Tous ces mélanges sont brûlés dans des *lances à feu*, sortes de cartouches dont la partie antérieure ou gorge présente un étranglement plus ou moins prononcé. On peut les combiner et les grouper de manière à obtenir des *soleils*, des *étoiles fixes*, des *éventails*, des *cascales*, etc.

d) Compositions doubles.

Les *compositions doubles* (p. 791) brûlant avec un fort résidu solide, il y a avantage à élargir l'étranglement de la gorge de la lance à feu.

Les mélanges qui contiennent du noir de fumée sont le plus souvent rapportés à ce genre de fusées. Ils donnent, en effet, une flamme rougeâtre avec des étincelles en forme d'étoiles, comme, par exemple, la composition suivante :

Salpêtre.	4
Soufre.	1
Noir de fumée.	1

Les *bâtons-fusées* du Japon donnent lieu aux mêmes phénomènes.

Les mélanges contenant du zinc sont encore rangés dans la classe des compositions doubles : leur flamme possède, en effet, une coloration caractéristique, verte en plein jour, bleue dans l'obscurité.

II. PRODUCTION DE GAZ.

On peut partager les fusées de cette catégorie en deux classes principales :

1° Les fusées dans lesquelles les produits gazeux servent à imprimer au système un mouvement d'ascension, de rotation, etc. : telles sont les *fusées volantes* ;

2° Les fusées dans lesquelles les produits gazeux sont uniquement considérés au point de vue de leurs propriétés spécifiques : tels sont les *balles à fumée*, les *fusées de désinfection* et les *extincteurs*.

A. Fusées volantes.

Les fusées volantes se rattachent aux fusées lumineuses (p. 791), parce que, dans plusieurs cas, elles peuvent servir de signaux; par leur composition, elles se rapprochent des feux d'étincelles (p. 798).

a) Fusées de signaux et de réjouissance.

Les fusées de signaux et de réjouissance consistent en un cartouche de papier rempli d'une matière fusante, fortement comprimée et habituellement munie d'une *garniture*; celle-ci se compose, en général, de pulvérin avec une addition de charbon destiné à augmenter la production de gaz par suite de la formation d'oxyde de carbone. La garniture, dont les éléments sont les mêmes que ceux des feux d'étincelles, peut être formée de 8 de pulvérin pour 3 de charbon concassé, ou de 16 de salpêtre pour 4 de soufre et 9 de charbon en poudre. Quant à la composition même de la fusée, les principales proportions en usage sont les suivantes :

ÉLÉMENTS composants.	FRANCE.					PRUSSE.	AUTRI- CHE.	ANGLETERRE.	
	Fusées de signaux.			Fusées de réjouissance.					
Pulvérin.	25,368	1	»	1	»	32	10	»	»
Salpêtre.	44,527	8	16	10	4	32	59	8	5
Soufre.	9,137	2	4	2	1	12	22	2	3
Charbon de bois (dur) en poudre.	20,368	3	9	4	2	16	1	3	8

Pour confectionner une fusée volante *simple*, on introduit la cartouche en fort papier enroulé dans un moule en cuivre à deux compartiments, que l'on remplit de composition fusante par cuillerées; chaque portion de la matière est comprimée par une série de petits coups d'une baguette en bois ou en métal, donnés simplement à la main ou à l'aide d'un maillet. La charge doit être

munie, sur une partie de sa longueur, d'une cavité légèrement conique, qui est l'*âme* de la fusée, partant de la base du cylindre et destinée à augmenter la surface d'inflammation; suivant que cette cavité doit être obtenue par l'opération même du chargement ou par un forage ultérieur, on fait usage, soit d'une série de baguettes creuses, destinées à coiffer exactement une broche conique en fer doux disposée au fond du cartouche, et d'une baguette massive avec laquelle on achève le chargement au-dessus de la broche, soit d'une seule baguette massive. Ce dernier procédé paraît généralement préféré, en Allemagne, parce qu'il assure une compression plus régulière de la masse. La partie du cylindre située au-dessus de l'âme s'appelle le *massif*. Les dimensions de l'âme varient suivant les pays; la hauteur du massif dépend du calibre de la fusée. On arrête le massif par un tampon de papier double, que l'on perce de quelques trous au poinçon et sur lequel on applique une coiffe conique en papier fort, destinée à diminuer la résistance de l'air à l'ascension de la fusée. L'inflammation se produit au moyen d'une mèche ordinaire assujettie à l'intérieur de l'âme. Enfin, une baguette en bois sec et léger, ayant la forme d'une pyramide à quatre pans, est fixée à la fusée, dont elle sert à diriger le vol; en Allemagne, la longueur de la baguette, qui est exactement parallèle à l'axe de la fusée, est de 2^m,66 pour les fusées de 1 livre, et de 2^m,33 pour celles de 1/2 livre (on désigne les fusées volantes par le poids d'une balle sphérique en fer de même diamètre). Pour assurer l'ascension verticale du système, on assujettit la baguette de telle sorte que le centre de gravité de l'ensemble se trouve, pour les fusées de 1 livre, à 0^m,01 au-dessous de l'orifice du cartouche; en France, cette distance varie de 0^m,02 à 0^m,03. — Pour tirer une fusée volante, on enfonce d'au moins 0^m,7 dans le sol un montant vertical de 4^m de longueur environ, garni, à son extrémité supérieure, d'un fort clou à crochet et, à son extrémité inférieure, d'un anneau ouvrant: la gorge de la fusée se pose sur le clou à crochet, et l'on passe la baguette dans l'anneau. La mèche est allumée au moyen d'une lance à feu fixée à une longue tige. Une fusée bien faite doit rester pendant quelques instants suspendue au clou, puis s'élever verticalement avec une grande vitesse, en laissant après elle une traînée lumineuse à partir du sol.

Les fusées volantes avec *garniture*, qui comprennent toutes les fusées de signaux, ne se distinguent des précédentes que par l'inter-

position, entre le tampon et la coiffe, d'un pot cylindrique contenant divers artifices auxiliaires dont l'inflammation est produite par la combustion du massif; les trous du tampon sont d'ailleurs remplis de pulvérin ou de poudre de chasse. Les artifices qui composent la garniture sont extrêmement variables. Dans la pyrotechnie militaire, on emploie surtout les roches à feu (p. 792), les balles luisantes (p. 792), les pétards, les saucissons, les marrons, les météores et les pétroles; dans la pyrotechnie civile, on se sert en outre des étoiles cubiques, moulées ou détonantes, des serpenteaux, des lardons, de diverses fusées à feux colorés (p. 794), avec ou sans parachute, et quelquefois même de nitroglycérine (p. 697).

Les *pétards* sont des cartouches formés de deux cartes sèches roulées l'une sur l'autre, remplis de poudre, fermés par un bout et amorcés par l'autre. Les *saucissons* se composent de cylindres en carton contenant une forte charge de poudre grenée, étranglés aux deux bouts, ficelés et amorcés avec un brin d'étoupille qu'on enfonce jusqu'à la poudre; ils peuvent servir de signaux de jour ou de nuit. Les *marrons* sont des cartouches de forme cubique, remplis de poudre grenée, recouverts de plusieurs rangs de ficelle ordinairement enduite de poix et amorcés comme les saucissons; employés comme garniture, ils ont de 0^m,02 à 0^m,05 de côté. Les *marrons luisants*, qui sont des marrons cubiques de 0^m,03 de côté, revêtus de coton imbibé de pâte liquide d'étoile (même page) et roulés sur du pulvérin, servent uniquement comme garniture. Les *météores* sont de gros marrons luisants de 0^m,06 à 0^m,08 de côté, que l'on emploie en garniture de fusée ou de bombe d'artifice (p. 792). Enfin, les *pétroles* sont des cartouches de gros papier, roulés sur une baguette de fusil et remplis de poudre ou de composition fulminante: ils sont repliés sur eux-mêmes alternativement en dessus et en dessous, et on lie le centre de chaque révolution avec de la ficelle, de manière à former une suite de pétards. — Les diverses *étoiles* présentent la même composition (3^l,2 de salpêtre, 1^l,6 de soufre, 0^l,9 de cristal pilé, 0^l,02 de gomme arabique et 1^l d'eau-de-vie): les étoiles *cubiques* ont 13^m,5 de côté; les étoiles *moulées* sont munies d'un canal par lequel se fait l'inflammation; les étoiles *détonantes* sont des cartouches en carton, contenant une charge de poudre à fusil surmontée de pâte d'étoile qui, en finissant de brûler, cause l'explosion de la poudre. Les *serpenteaux* sont de petits cartouches, formés avec une ou deux cartes à jouer, ayant 0^m,007 de diamètre sur 0^m,08 de longueur et contenant une couche

mince de son, surmontée d'une colonne de poudre grenée et d'une seconde colonne de composition de fusée volante (p. 800); l'inflammation se produit au moyen d'un brin d'étoupille introduit dans l'un des étranglements. On varie l'effet des serpenteaux, soit en établissant une communication entre les étranglements par un brin d'étoupille, soit en remplaçant la poudre grenée ou la composition de fusée volante par une pluie de feu, des étincelles, des étoiles ou tout autre composition : on obtient ainsi les *serpenteaux à pirouette, à étoiles*, etc. Les *lardons* sont de gros serpenteaux du calibre de 0",009 à 0",012, percés d'un canal de 0",012 à 0",015 de longueur, destiné à donner plus de rapidité à leur vol brusque et irrégulier.

Le poids de la garniture, limité par la nécessité de ne pas diminuer outre mesure la force d'ascension du système, peut varier suivant le calibre des fusées : il est de 131^{gr} pour la fusée de 22^{mm} de la marine pesant 500^{gr}. On peut, en général, adopter les rapports suivants pour les poids des garnitures des fusées de 20, 27 et 34^{mm} :

Fusée de 20 ^{mm}	1
Fusée de 27 ^{mm}	2
Fusée de 34 ^{mm}	3

On rattache à cette espèce de fusées un grand nombre d'artifices qui, par leur combustion même, produisent un déplacement quelconque du système éclairant. Tels sont plusieurs feux d'étincelles dont les enveloppes, percées de trous latéraux, sont animées d'un mouvement de rotation par suite de l'échappement des produits gazeux de la combustion, et entre autres les *tournequets à air*, les *roues de feu simples et doubles*, les *spirales*, les *serpents*, etc.

b) Fusées de sauvetage.

On a fabriqué, dans ces dernières années, diverses fusées volantes dont le calibre s'élève jusqu'à 50 et 80^{mm}, destinées à faciliter le sauvetage des naufragés.

La *fusée de bouée de sauvetage* permet de relier la côte aux épaves au moyen d'une corde fixée au corps de l'appareil. Elle consiste en une fusée qu'on renferme dans un tube en fer-blanc et qui s'enflamme par une étoupille fulminante à friction; on amorce avec 4 brins d'étoupille retenus par une croix métallique. La composition employée en France est la suivante : 410^{gr} de salpêtre, 555^{gr} de soufre, 5^{gr} de pulvérin et 30^{gr} de charbon.

La *fusée à ancre* a pour but de permettre aux canots de sauvetage de s'éloigner facilement du rivage.

B. Fusées diverses.

a) Balles à fumée et fusées de désinfection.

Les *balles à fumée* sont destinées à produire, par leur combustion, une grande quantité de gaz irrespirables, et servent, en temps de guerre, à chasser l'ennemi des casemates, etc. La composition généralement employée est du soufre-salpêtre, qui brûle avec formation d'acide sulfureux et d'azote. On peut également se servir, pour le même objet, des *balles à feu* (p. 791).

Les *fusées de désinfection*, dont l'action est encore due au dégagement de l'acide sulfureux, renferment un mélange de 58 de salpêtre pour 36 de soufre et 3 de charbon pulvérisé.

b) Extincteurs.

Les *boîtes à éteindre le feu*, étant allumées dans un espace aussi bien fermé que possible, doivent raréfier l'air par le fait du dégagement de chaleur, et étouffer le feu par suite de la production d'acide sulfureux, d'acide carbonique et d'azote.

La composition des boîtes de Bucher résulte des analyses suivantes :

	D'après		
	Wittstein.	Schweizer.	Heeren.
Salpêtre.	60	58,53	63,73
Soufre.	36	36,33	28,93
Charbon.	4	3,14	3,80
Sable.	»	0,75	»
Sesquioxyde de fer.		1,25	3,54

La combustion de 1^{re} du mélange fournit, en moyenne, 298^l d'acide sulfureux, 68^l d'acide carbonique et 48^l d'azote.

Les boîtes de Zeisler, à peine différentes de celles de Bucher, renferment 60 parties de salpêtre pour 36 de soufre et 4 de charbon, avec une addition de chaux.

Les matières composantes sont pulvérisées, mélangées et fortement comprimées dans un cartouche en carton. Dans un incendie, il suffit de lancer les boîtes au milieu du feu, où elles s'enflamment

facilement; il faut compter environ 1^{er} de matière pour un espace de 15^m. Ce procédé paraît avoir parfaitement réussi dans l'incendie d'un magasin de toiles cirées; il n'aurait toutefois, d'après Heeren, qu'une importance pratique assez restreinte : le succès n'en serait assuré qu'à la condition d'opérer dans des espaces parfaitement clos. Au surplus, la production abondante de gaz irrespirables, qui pourraient mettre en danger la vie des habitants, commande la plus grande circonspection dans l'emploi des boîtes à éteindre le feu.

Les autres appareils destinés à combattre les incendies reposent en partie sur le même principe que les précédents, et en partie sur le principe d'un refroidissement extérieur à produire : de ce nombre sont les *extincteurs* proprement dits ou les *bassins à éteindre le feu*. Ce sont des cylindres fermés en tôle de fer, dans lesquels diverses substances, telles que l'acide tartrique et le bicarbonate de soude, le carbonate de chaux et l'acide sulfurique étendu, dégagent une quantité considérable d'acide carbonique, lequel est en grande partie absorbé par la liqueur : lorsqu'on ouvre le tube d'écoulement, la pression intérieure qui s'est développée chasse l'eau avec une grande force. En se vaporisant et en mettant en liberté l'acide carbonique qu'elle renferme, cette eau agit à la fois comme réfrigérant et comme extincteur; en outre, les sels contenus dans la dissolution rejailissent sur les objets enflammés, et forment une croûte solide qui rend une nouvelle inflammation plus difficile.

III. PRODUCTION DE FLAMME.

a) Compositions incendiaires usuelles.

Les matières incendiaires doivent brûler avec un flamme longue, chaude et persistante. Pour obtenir ce résultat, on ajoutera aux compositions fusantes ordinaires, à la matière grise, par exemple, des substances à combustion plus lente, telles que de la poix, du goudron, de la résine, des étoupes, du pétrole, de la térébenthine, etc.

On peut distinguer les artifices destinés à porter l'incendie directement à une faible distance, et ceux qui sont destinés à propager le feu au loin.

A la première catégorie se rattachent : les *boulets incendiaires* et les *balles à feu*, autrefois en usage dans l'armée et la marine françaises, et composés de 4 de salpêtre, 3 à 4 de soufre, 4 de pulvérin

et 3 de colophane en poudre; les *chemises à feu* de la marine, destinées à incendier les bâtiments et contenant du salpêtre, du soufre, du brai gras, de la poudre grenée, du pulvérin, de l'essence de térébenthine, de l'alcool, du pétrole et des étoupes blanches rognées, avec 7 bouts de lance à feu et 6 brins d'étoupilles; les *barils ardents*, les *barils foudroyants*, les *brandons*, les *balais de bruyère*, les *brandes*, les *cravates*, les *panaches*, les *allumettes*, les *pelotes*, les *boulets creux soufrés*, les *grenades à hérisson soufrées*, employés dans la marine pour la confection des *brûlots*; enfin, les *couronnes incendiaires* (Brandkränze), employées en Allemagne, qui sont des cercles de baril de 0^m,24 de diamètre, entourés d'étoupes, plongés plusieurs fois dans de la poix fondue additionnée de goudron et fortement saupoudrés d'une composition fusante (80 de matière grise pour 20 de pulvérin), et qui doivent brûler vivement pendant 1/2 heure.

Les artifices de la seconde catégorie comprennent les *bombes* et les *obus incendiaires* et les *fusées incendiaires à la Congreve*.

Pour le chargement des bombes et des obus, on emploie, en France, des *cylindres incendiaires de roche à feu*, dont le diamètre varie de 20 à 30^{mm}, la longueur de 45 à 74^{mm} et le poids de 25 à 80^g. On prépare la *roche à feu* en faisant fondre dans une chaudière 4 de suif de mouton avec 4 de térébenthine, et en ajoutant au mélange fondu 3 de colophane, 4 de soufre, 10 de salpêtre et 1 de régule d'antimoine; la masse est ensuite versée dans des moules, où elle se solidifie, et amorcée avec de la *mèche incendiaire*, obtenue en trempant de la mèche à canon imprégnée de salpêtre dans la roche à feu liquide. — En Prusse, on emploie un mélange de 76 de matière grise avec 24 de colophane, obtenu en jetant la matière grise par petites portions dans la colophane fondue. — En Bavière, on se sert, pour le chargement des bombes incendiaires, d'une composition spéciale (Warmgeschmolzenzeug), formée de 22 de salpêtre, 22 de soufre et 3,75 de pulvérin, à laquelle on ajoute du pulvérin et de la poudre à canon.

Les *fusées à la Congreve* ou *rockets à boulets* sont des fusées volantes de grandes dimensions, destinées à lancer des projectiles détonants ou incendiaires, et dont l'emploi est à peu près abandonné. Leur diamètre variait de 0^m,06 à 0^m,21, leur longueur de 0^m,19 à 0^m,67, et le poids de leur boulet de 0^{kg},5 à 3^{kg} environ. Quant à la matière fusante, elle se composait de 1 de charbon, 1 de soufre, 4 à 18 de chlorate de potasse et 2 à 9 de salpêtre; on a également employé

du pulvérin seul, un mélange de pulvérin avec du soufre ou avec du salpêtre, et enfin de la poudre de mine en grains.

b) **Mixtes comburants et feux liquides.**

Certaines compositions, appelées *mixtes comburants*, sont destinées à s'enflammer spontanément lorsque, par une action mécanique, on amène l'eau au contact du potassium, du sodium ou du phosphore de calcium qu'elles renferment. Tels sont les mélanges de Nièpce (benzine, huile de pétrole ou sulfure de carbone avec du potassium ou du phosphore de calcium), et la composition, à base de sodium, de Fleck. Nous avons mentionné (p. 617 et 778) divers systèmes d'inflammation reposant sur un principe analogue.

Pendant la dernière guerre d'Amérique, on a employé, sous la dénomination de *feu liquide* ou *feu féniain* (liquid fire, Fenian-feuer), une dissolution de phosphore dans le sulfure de carbone : l'évaporation du sulfure laissait un résidu de phosphore à l'état de particules fines, qui prenait feu spontanément. — Darapsky a essayé de charger les projectiles incendiaires avec une composition formée de 3 de phosphore pour 4,3 de sulfure de carbone. Il a pu constater que ce mélange n'attaquait pas la fonte ; il en a, de plus, augmenté la puissance destructive en ajoutant à la charge, enfermé dans une ampoule en peau, un mélange de camphine ou d'huile de pétrole avec une matière incendiaire. Darapsky croit devoir attribuer à ces engins une importance toute spéciale au point de vue des opérations maritimes, parce qu'une humectation préalable ne nuit en rien à leur efficacité.

Niklès a proposé, sous le nom de *feu lorrain*, un mélange de sulfochlorure avec une dissolution phosphorique de sulfure de carbone : ce mélange jouit de la propriété de s'enflammer en dégageant d'épaisses vapeurs rougeâtres, dès qu'il est mis en contact avec une dissolution ammoniacale. — Le trichloride de phosphore, mélangé avec de l'ammoniaque ou du sulfhydrate d'ammoniaque, donne lieu aux mêmes phénomènes. — D'après P. Guyot, on peut remplacer le sulfochlorure par du sulfobromure : la matière ainsi obtenue est d'une combustion plus lente, mais d'une manipulation moins dangereuse.

D'après Sophronius, un mélange de 3 parties d'acide sulfurique concentré avec 2 de permanganate de potasse provoque sûrement

l'inflammation de plusieurs substances organiques, telles que l'huile de térébenthine, le papier, le bois, etc.

§ IV.

ANALYSE CHIMIQUE DES COMPOSITIONS D'ARTIFICE.

Bolley a proposé, pour faire l'analyse qualitative et quantitative des compositions d'artifice, la méthode générale qui suit :

On lessive quelques grammes de la matière à l'eau froide ou à l'eau bouillante, et, dans la dissolution filtrée, on détermine qualitativement ou quantitativement, par les procédés connus, les divers éléments solubles : *cuivre, baryum, strontium, calcium, potassium, sodium; ammoniacque; acides nitrique, sulfurique et chlorique.*

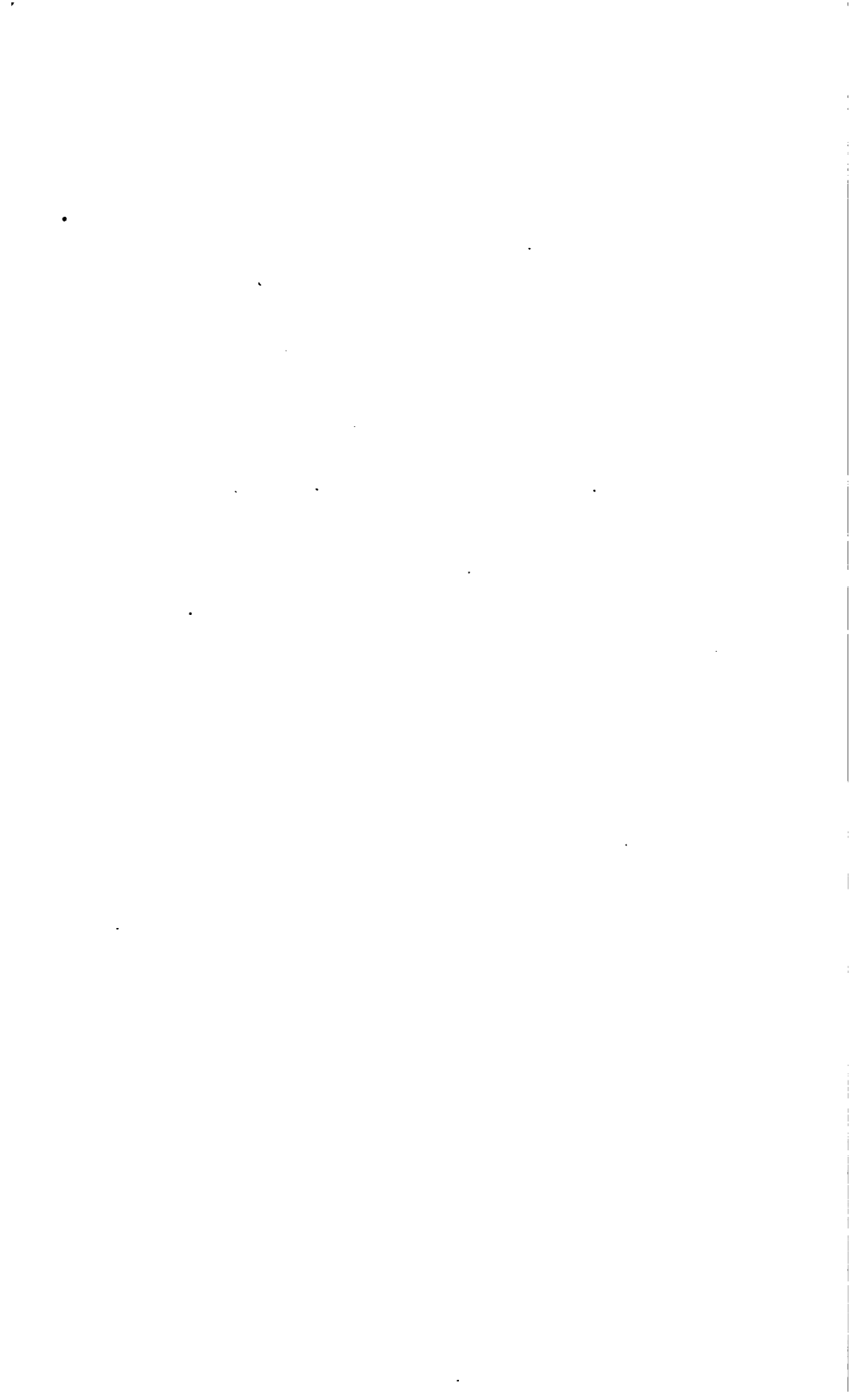
Le résidu est traité par l'alcool chaud, afin d'en extraire les substances *résineuses*, qui sont ensuite précipitées par l'eau pure dans la dissolution alcoolique.

La partie insoluble dans l'alcool est reprise par l'acide chlorhydrique concentré, qui dissout les métaux à l'état libre (*zinc, fer, cuivre*), le *sulfure d'antimoine* et les *carbonates* (de *baryte, de chaux* et de *cuivre*).

Le résidu final peut encore contenir du soufre, du charbon et diverses substances organiques insolubles dans l'alcool.

QUATRIÈME PARTIE

**BIBLIOGRAPHIE, TABLES
ET PLANCHES**



INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

TRAITÉS GÉNÉRAUX ET PUBLICATIONS PÉRIODIQUES.

TRAITÉS GÉNÉRAUX
ET PUBLICATIONS
PÉRIODIQUES.

- Bottée et Riffault**, *Traité de l'art de fabriquer la poudre à canon*, Paris, Ouvrages français. Leblanc, 1811 ⁽¹⁾.
- A.-D. et P. Vergnaud**, *Nouveau Manuel complet de l'artificier : 1^{re} partie, pyrotechnie militaire; 2^e partie, pyrotechnie civile*; Paris, librairie encyclopédique de Roret, 1865 ⁽²⁾.
- Piobert**, *Traité d'artillerie théorique et pratique, partie théorique et expérimentale*, 2^e édition, 2^e tirage, Paris, Gauthier-Villars, 1869 ⁽³⁾.
- Knapp**, *Traité de chimie technologique et industrielle, traduit, revu et augmenté par Mérijot et Debize*, Paris, Dunod, 1876 ⁽⁴⁾ : 2 ⁽⁵⁾.
- Steerk et Spilt**, *Guide pratique de la fabrication des poudres et salpêtres, suivi d'un appendice sur les feux d'artifice*, Paris, Lacroix, 1867.
- Berthelot**, *Sur la force de la poudre et des matières explosives*, Paris, Gauthier-Villars, 1872 ⁽⁶⁾.
- Laboulaye**, *Dictionnaire des arts et manufactures*, Paris, librairie du dictionnaire, 1870 : art. *Poudre*.
- Laboulaye**, *Complément du dictionnaire des arts et manufactures*, 1875 : art. *Poudre et Pyroxyles*.
- Pelouze et Frémy**, *Traité de chimie générale, analytique, industrielle et agricole*, Paris, Gauthier-Villars, 1860-1865.
- Joulin**, *La question des poudres en Russie, en Prusse, en Autriche et en Italie*, Toulouse, Privat, 1877.
- Riffault et Bottée**, *Manuel du commissaire des poudres et salpêtres*, Imprimerie de la République, nivôse an VIII.
- Timmerhans**, *Essai d'un traité élémentaire d'artillerie, Poudre à canon*.
- Timmerhans**, *Description des divers procédés de la fabrication de la poudre à canon*, Paris, 1839.

(1) Abrév. : **Bottée et Riffault**.

(2) Abrév. : **Vergnaud**, *Man. de l'artif.*

(3) Abrév. : **Piobert**, *Traité d'art.*

(4) Abrév. : **Knapp**.

(5) 2 = second volume.

(6) Abrév. : **Berthelot**, *Force*.

- Boillot, *Modelles artifices de feu*, Chaumont, 1598 ⁽¹⁾.
- Appier, dit Hanzelet, et Thybovrel, *Recueil de plusieurs machines militaires et feux artificiels pour la guerre*, Pont-à-Mousson, 1620 ⁽²⁾.
- Ouvrages allemands. Graham-Otto, *Ausführliches Lehrbuch der anorganischen Chemie* : 2. *Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie*, 1. Aufl. : 7. Karmarsch, *Technisches Wörterbuch oder Handbuch der Gewerbekunde* : 3. Knapp, *Lehrbuch der chemischen Technologie* : 2. Krünitz, *Oekonomisch-technologische Encyclopädie* : 142. Meyer, *Vorträge über Artillerie-Technik, dessen Ergänzungen dazu*. Muspratt-Stohmann, *Handbuch der chemischen Technologie* : 3 u. 4. Prechtel, *Technologische Encyclopädie* : 8, 12 u. 16. Wagner, *Lehrbuch der chemischen Technologie*.
- Ouvrages anglais. Smith, *A Handbook of the manufacture and proof of gunpowder, as carried on at the Royal Gunpowder Factory, Waltham Abbey*, London, Eyre and Spottiswoode, 1870 ⁽³⁾. Whitehorse, *Certain waies for the ordering of Souldiours, etc., and how to make Saltpetre, Gunpowder, etc.*, London, 1588. *The true way to make all sorts of Gunpowder and Matches*, 1647. *Supplement of Encyclopædia Britannica*, Edinburg : 6, 353 ⁽⁴⁾ a. 11, 81 (On gunpowder, Macculloch).
- Ouvrage espagnol. Fraozo, *Tratado de la Teoria y Fabricacion de la Polvora en general*, Segovia, 1817.
- Publications périodiques. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, par MM. les secrétaires perpétuels*, Paris, Gauthier-Villars ⁽⁵⁾. *Mémorial de l'artillerie de la marine*, Paris, Chamerot ⁽⁶⁾. *Revue d'artillerie*, Paris, Berger-Levrault et C^{ie} ⁽⁷⁾. *Mémorial de l'artillerie*, Paris, Gauthier-Villars ⁽⁸⁾. *Mémorial de l'officier du génie*, Paris, Gauthier-Villars ⁽⁹⁾. *Revue de technologie militaire*, Paris et Liège ⁽¹⁰⁾. Chevreur, Dumas, Boussingault, Regnault, Wurtz, Bertin, *Annales de chimie et de physique*, Paris, Masson ⁽¹¹⁾. *Revue scientifique de la France et de l'étranger*, Paris, Germer-Baillière ⁽¹²⁾. V. Neumann und Schröder, *Archiv für die Artillerie und Ingenieur-Offiziere des deutschen Reichsheeres*, Berlin, Ernst Siegfried Mittler und Sohn ⁽¹³⁾. *Mittheilungen über Gegenstände des Artillerie- und Genie-Wesens, herausg. vom k. k. technischen und administrativen Militär-Comité*, Wien, Druck und Verlag der k. k. Hof- und Staatsdruckerei ⁽¹⁴⁾.

(1) Abrév. : Boillot, *Mod. art.*(2) Abrév. : Hanzelet, *Recueil*.

(3) Abrév. : Smith.

(4) 6, 353 = sixième volume, page 353.

(5) Abrév. : *Compt. rend.*(6) Abrév. : *Mém. art. mar.*(7) Abrév. : *Revue*.(8) Abrév. : *Mém. art.*(9) Abrév. : *Mém. du génie*.(10) Abrév. : *Rev. de technol. milit.*(11) Abrév. : *Ann. Chim. Phys.*(12) Abrév. : *Revue scient.*(13) Abrév. : *Archiv*.(14) Abrév. : *Mittheil.*

- Dingler**, *Polytechnisches Journal* ⁽¹⁾.
Journal für praktische Chemie ⁽²⁾.
Annalen der Chemie und Pharmacie ⁽³⁾.
Polytechnisches Centralblatt ⁽⁴⁾.
Philosophical Magazine ⁽⁵⁾.
Philosophical Transactions of the Royal Society ⁽⁶⁾.

POUDRE.

POUDRE.

IIISTORIQUE.

Historique.

- Meyer**, *Handbuch der Geschichte der Feuerwaffen-Technik*.
Recueil des mémoires sur les Chinois : 2, 492.
Favé, *Études sur le passé et l'avenir de l'Artillerie* : 3.
Vegetius Renatus (Végèce), *Epitoma rei militaris* : lib. 4, cap. 18.
Ammianus Marcellinus (Ammien Marcellin) : lib. 23, cap. 4.
Marco Polo, *Die Reisen des Venezianers Marco Polo im 13. Jahrhundert*,
 von Aug. Bürck.
Reinaud et Favé, *Du feu grégeois*, Paris, 1845.
Du Halde, *Description géographique, historique, etc., de l'Empire de la
 Chine* : 2, 47.
Apollonius de Thyane : lib. 2, cap. 33.
A Code of Gentow laws : 52 (Des attributs nécessaires de l'autorité); 8 (De l'in-
 téré).
Reinaud et Favé, *Journal asiatique* : 4^e série, 14, 310.
Alexandre de Humboldt, *Cosmos* : 2^e partie, 2, 257.
Marcus Græcus, *Liber ignium ad comburendos hostes tam in mari quam
 in terra*, Paris, 1804 : 5 et 6.
Albertus Magnus, *De mirabilibus mundi, i. f.*, Argentorati, 1607 : 188,
 239.
Plot, *Natural history of Oxford*, London, 1715.
Rogierius Baco, *Epistola de secretis Operibus artis et naturæ et de nulli-
 tate magiæ*, Hamburgi, 1618 : cap. 6 et 8.
Rogierius Baco, *Opus majus*, Londini, 1733 : 474.
Joinville, *Histoire de S. Lovys*, Paris, 1668 : 39.
Malleolotus, *De nobilitate et rusticitate* : cap. 30.
Archiv : 4, 218; 5, 211; 20, 12; 58, 258; 63, 128.

(1) Abrév. : **Dingler**.

(2) Abrév. : *Journ. f. prakt. Chem.*

(3) Abrév. : *Ann. Chem. Pharm.*

(4) Abrév. : *Polyt. Centralbl.*

(5) Abrév. : *Phil. Mag.*

(6) Abrév. : *Phil. Trans.*

Salpêtre.

SALPÊTRE.

Documents généraux.

Stahls, *Ueber die Natur und Nützlichkeit des Salpeters*, Stettin und Leipzig, 1748.

Tronson du Coudray, *Mémoire sur la meilleure méthode d'extraire et de raffiner le salpêtre*, Upsal, 1774.

Instruction sur l'établissement des nitrières et sur la fabrication du salpêtre, publiée par ordre du Roi par les Régisseurs généraux des poudres et salpêtres, Paris, imprimerie royale, 1777.

Recueil de mémoires et d'observations sur la fabrication du salpêtre, Paris, 1779.

Bottée et Riffault, *L'art du salpêtrier*, Paris, Leblanc, 1813.

C. Mayer, *Essai sur la fabrication du salpêtre en France*, Mézières, Trécourt et Defarge, 1848.

Violette, *Mémoire sur la raffinerie nationale de salpêtre de Lille*, Lille, Danel, 1863.

Propriétés.

Ann. Chim. Phys. : 9, 9 (solubilité du salpêtre).

Dingler : 117, 452 (id.).

Ann. Chim. Phys. : 5^e série, 12, 140, 145 et 153 (nitriification, *Berthelot*).

Compt. rend. : 82, 1202 (id., *Schlessing*); 84, 301 (id., *Schlessing et Müns*); 85, 1018 (id., id.).

Ann. Chim. Phys. : 5^e série, 8, 5 (id., *Boussingault*).

Nitrate de soude et chlorure de potassium.

Compt. rend. : 81, 730 (nitrate de soude de l'Amérique du Sud, *L'Olivier*).

Ann. Chim. Phys. : 5^e série, 7, 289 (id., id.).

Compt. rend. : 80, 1164 (solubilité du nitrate de soude, *Ditte*).

Bulletin de la Société chimique de Paris, 1865-1866 ; (Les potasses et les soudes de Stassfurt, *Joulin*).

Extraction, fabrication, raffinage.

Knapp : 2, 115 (extraction du salpêtre), 104 (extraction du salpêtre du Chili), 35 et 280 (extraction du chlorure de potassium), 128 (fabrication).

Dingler : 39, 271 (raffinage, à Spandau).

Archiv : 34, 123 (id., en Danemark); 1, 107 (id., en Suède); 1, 228 (id., dans les Indes orientales).

Dingler : 125, 208 (id., en Angleterre).

Smith : 13 (id., à Waltham-Abbey).

Épreuves des potasses.

Ann. Chim. Phys. : 5^e série, 11, 561 (séparation de la potasse et de la soude. *Schlessing*).

Compt. rend. : 83, 338 et 390 (dosage de la potasse, *Carnot*); 84, 1504 (id., id.); 85, 301 (id., id.); 86, 478 (id., id.).

Knapp : 2, 287 (épreuves des potasses du commerce).

Ann. Chim. Phys., 1829 : (essai des potasses du commerce, *Gay-Lussac*).

Violette, *Essai des acides du commerce*, Lille, Danel, 1856.

Épreuves du salpêtre.

Bottée et Riffault : 103 (épreuves du salpêtre, *Bottée et Riffault*).

Berzelius, *Lehrbuch der Chemie*, 5. Aufl. : 3, 127 (id., *Schwartz*).

Journ. f. prakt. Chem. : 52, 303 (id., id.).

Archiv : 29, 268 (id., *Werther*).

- Journ. f. prakt. Chem.* : 52, 302 (.
Archiv : 32, 16 (id., *Kayser*).
Ann. der Chem. : 100, 78 (id., *Toel*).
Dingler : 142, 284 (id., id.).
Meyer, *Militär-Chemie* : 234 (id., *Meyer*).
Quartely Journal of the Chem. Society : 9, 97 a. 10, 107 (id., *Abel et Bloxam*).
Dingler : 143, 282 (id. id.).
Compt. rend. : 24, 209 (id., *Pelouze*).
Journ. f. prakt. Chem. : 40, 324 (id., id.).
Zeitschrift für analytische Chemie : 1, 329 (id., *Lowenthal et Lessen*).
Répertoire de Chimie appliquée, 1861 : 253 (id., *Persoz*).
Dingler : 161, 284 (id., id.).
Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift, 1861 : Nro 21 (id., *Reich*).
Dingler : 160, 357 (id., id.).
Ann. Chem. Pharm. : 100, 81 (id., *Toel et Hoyer*).
Dingler : 142, 286 (id., id.); 149, 190 (id., *Anthon*); 162, 214 (id., *Bolley*).
Jahrbuch für Pharmacie : 7, 19 (id., *Reinsch*).
Polyt. Centralbl., 1856 : 414 (id., *Wild*).
Böttger, *Polytechnisches Notizblatt*, 1867 : Nro 20 (id., *Nöllner*).
Dingler : 186, 334 (id., id.).
Archiv : 32, 16 u. 189 (id., à Spandau).

SOUFRE.

Soufre.

Knapp : 2, 3 (extraction), 15 (raffinage).

CHARBON.

Charbon.

- Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle* : 72, 267 et 78, 384 **Propriétés.**
 (inflammabilité du charbon, *Proust*).
Ann. Chim. Phys. : 3^e série, 22, 479 et 22, 304 et 346 (propriétés des charbons de bois, *Violette*).
Compt. rend. : 36, 850 (id., id.).
Journ. f. prakt. Chem. : 54, 313 u. 344 (id., id.); 59, 332 (id., id.).
Compt. rend. : 38, 23 janv. 1854 (rapports sur les mémoires de *Violette*).
Archiv : 2, 220 (inflammation spontanée).
Ann. Chim. Phys. : 14, 73 (id., *Aubert*).
Dingler : 39, 121 (id., id.).
Journ. f. prakt. Chem. : 9, 101 (id., *Hadfield*).
Dingler : 49, 246 (id., id.).
Phil. Mag., 1833, August : 89 (id., *Davies*).
Dingler : 50, 22 (id., id.).
Journ. f. prakt. Chem. : 67, 385 (fabrication). **Fabrication.**
Dingler : 141, 292 (id.); 39, 278 (id.); 78, 206 (id.).

- Smith** : 27 (id., appareils anglais).
Maurouard, *Nouveaux appareils pour la production des charbons à poudre*, Metz, Blanc, 1864 : (id., cylindres mobiles).
Ann. Chim. Phys., 1848 : 475 (id., par la vapeur d'eau surchauffée, *Violette*).
Dingler : 110, 193 (id., id., id.); 141, 297 (id., id., *Kahl*).
Journ. f. prakt. Chem. : 67, 398 (id., id., id.); 8, 321 (id., procédés généraux).
Dingler : 91, 374 (id., id.); 92, 46 (id., id.); 95, 367 (id., id.).
Vincent, *Carbonisation en vase clos et utilisation des produits dérivés*, Paris, Gauthier-Villars, 1873 : (id.).

DOSAGE.

Dosage.

- Berthelot**, *Force* : 94 (poudre avec excès de nitre).
Hanzelet, *Recueil* : liv. 4, p. 13 (variations du soufre, au xv^e siècle).
Tartaglia, *Questi e investioni diversi*, Ven., 1546 : lib. 3, quesito 5, p. 43 (id., aux xvi^e et xvii^e siècles).
Simienovicz, *Ars magna Artilleriæ*, Paris : liv. 2, ch. 14, p. 99 (id.); Amsterodami, 1650 : 74 (id.).
De Bry, *Recueil de secrets*, Oppenheim, 1619 : (id.).
Lechuga, *Discurso en que trata de la Artilleria*, Milano, 1611 : 147 (expériences de Bruxelles).
Boillot, *Mod. art.* : 95 (dosage six, as et as).
Davelourt, *Briefve instruction*, Paris, 1697 : 23 (poudre titre du roi).
Saint-Remy, *Mémoires d'artillerie*, Paris, 1697⁽¹⁾ : 2, 110 (id.).
Saint-Julien, *Forge de Vulcain*, La Haye, 1606 : 7 (id.).
Piobert, *Traité d'art.* : 18 (id.).
Léonhard Fronspurger, *Kriegsbuch*, 1555 : (poudres allemandes).

FABRICATION DES POUDRES ORDINAIRES.

Fabrication des
poudres
ordinaires.
Documents
généraux.

- Collection des décrets de la Convention nationale et des arrêtés du Comité de Salut public relatifs aux salpêtres et poudres, du 8 brumaire au 27 ventôse de l'an second de la République française une et indivisible*, Paris, Imprimerie du Comité de Salut public, an II.
Cossigny, *Recherches physiques et chimiques sur la fabrication de la poudre à canon*, Paris, Gagnard, 1806.
Renaud, *Instruction sur la fabrication de la poudre, approuvée par le Ministre de la guerre*, Paris, Magimel, 1811.
Brianchon, *Sur la poudre à tirer*, Paris, Dondey-Dupré, 1822.
La Cabane, *De la poudre à canon et de son introduction en France*, Paris, 1845.
Mém. art. : 4, 221 (Mémoire sur les effets des poudres des différents procédés de

(1) Abrév. : Saint-Remy, *Mém. d'art.*

- fabrication, expériences d'Esquerdes, 1831-1832); 6, 555 (Résumé des expériences comparatives faites à Metz en 1836 et 1837 sur les poudres de guerre des différents procédés de fabrication, *Piobert*); 7, 339 (Expériences exécutées à Metz dans les années 1836, 1837, 1838, 1839 et 1842, pour déterminer, au moyen du pendule balistique, les vitesses initiales imprimées au projectile par la poudre ordinaire de guerre dans les bouches à feu de l'artillerie française, *Piobert, Morin et Didion*).
- Piobert**, *Mémoires sur les poudres de guerre des différents procédés de fabrication (Esquerdes 1831-1832, Metz 1836-1837)*, Paris, Gauthier-Villars, 1844.
- Roux**, *Armes et poudres de chasse*, Paris, Lacroix, 1869.
Revue : 5, 243 (Étude sur les poudres de guerre à fusil, *Roux*).
- Oppermann**, *Portefeuille économique des machines*, Paris, Dunod : 17 (appareils divers de la poudrerie de Sévran).
- Coleman**, *Mémoire sur la poudre de guerre, traduit de l'anglais par Vylantrois*, an II.
- Phil. Mag.* : 9 (On the manufacture and constituent parts of Gunpowder, *Coleman*).
- W. Congreve**, *Statement of Facts relative to Savings and Improvements in the Manufacture of Gunpowder at the royal Mills since 1783*, London, 1811.
- W. Congreve**, *A short Account of Improvements in Gunpowder made by sir W. Congreve*, London, 1818.
- Braddock**, *Memoir on Gunpowder*, London, 1832.
- Mordecai**, *Reports on Experiments with Gunpowder in Washington Arsenal in the years 1843-1844*, Washington, 1845.
Transact. Royal Irish Academy : (Observations on Gunpowder, *Napier*).
- Anderson and Parlbj**, *Sketch of the mode of Manufacturing Gunpowder at the Ishopore mills in Bengal, with record of experiments, etc.*, London, 1862.
- Biringuccio**, *Della pirotechnia*, Venezia, 1550 : lib. 10, cap. 4, fol. 158 (grenage).
- Omodej**, *Dell' origine della polvere da guerra, etc.*, 1834.
Archiv : 18, 67 (fabrication, à Neisse); 34, 125 (id., en Danemark); 1, 108 (id., en Suède); 2, 148 (id., à Berne); 4, 229 (id., dans les Indes orientales).
- Dingler** : 117, 43 (id., à Wetteren); 125, 208 (id., à Waltham-Abbey).
Rev. de technol. milit. : 7, 203 (id., à Wetteren, *Grandeau*); 1, 517 (id., à Waltham-Abbey, *Chandelon*).
- Mittheilungen des Hannov. Gewerbe-Vereins*, 1865 : 265 (id., à Fallingbostal).
Revue : 10, 271 (La question des poudres en Angleterre, *Morgan*).
- Poudrerie royale de Wetteren (près de Gand)*, Bruxelles, Coomans, 1875.
Archiv : 4, 226 (historique).
- C. Plinius secundus**, *Naturalis historia*, ed. Sillig : lib. 31, cap. 10, § 111, p. 458 (id.).
- Smith** : 38 (meules anglaises).
Revue : 4, 396 (durée de trituration sous les meules, *Chabrier*).
- Piobert**, *Traité d'art.* : 119 (id., *Piobert*).
- Vergnaud**, *Man. de l'artif.* : 1, 166 (procédés divers de trituration, *A.-D. Vergnaud*).

Fabrications
étrangères.Trituration,
mélange
et galetage.

- Smith** : 38 (tonnes anglaises); 44 (machine à broyer); 45 (presse hydraulique de Waltham-Abbey).
Revue : 44, 298 (poudre Wiener).
Journal de l'artillerie italienne, 1865-1866 : (expériences comparatives sur les poudres des meules et des presses).
- Grenage.** **Boillot, Mod. art.** : 97 (grenage, grains de la grosseur de lentilles).
Saint-Remy, Mém. d'art. : 2, 108 (id., une seule poudre de guerre).
W. Bourne, Art of shooting in great Ordnance, 1507, 1578 : chap. 1 (id., force de la poudre en grains et en poussier).
Journ. f. prakt. Chem. : 77, 480 (id., hygrométrie de la poudre grenée, Vogel jun.).
- Lissage.** **Smith** : 56 (grenoir à cylindres de Waltham-Abbey); 67 (blutoirs anglais); 70 (tonnes de lissage anglaises).
Liebig u. Kopp, Jahresbericht, 1855 : 297 (plombagine, Brodie).
Dingler : 139, 245 (id., id.).
Polyt. Centralbl., 1855 : 1404 (id., Löwe).
- Emballage.** **Dingler** : 21, 557 (emballage).
Archiv : 15, 37 u. 219 (id.); 21, 154 (id.); 37, 73 (id.).
Compt. rend. : 40, 320 (id., Piobert).
Piobert, Traité d'art. : 239 (id., id.).
Piobert, Sur les moyens de diminuer les dangers des explosions de la poudre, Paris, Gauthier-Villars : (id., id.).
Dingler : 76, 467 (id., id.).
Compt. rend. : 18, 1148 (id., Fadéieff).
Dingler : 93, 281 (id., id.).
Archiv : 19, 169 (id., id.).
Dingler : 117, 456 (id., Gale).
Poudre inexplosible, Paris, Corréard, 1866 : (id., id.).
Plessix, Nouveau cours spécial d'artillerie, Paris, Dumaine, 1877 : 259 (nouvelles caisses à poudre, en France).
Revue : 4, 283 (id., id.); 5, 559 (caisses à poudre inexplosibles, en Angleterre).
Compt. rend. : 47, 287 (magasins à poudre).
- Emmagasinage.** **Dingler** : 149, 405 (id.).
Archiv : 34, 236 (id.).
Dingler : 120, 405 (dépôts de poudre sur les navires, William Newton).
Revue : 6, 501 (magasins à poudre en Allemagne, Demimuid).
Compt. rend. : 64, 21 janv. 1867 (paratonnerres des magasins à poudre, en France).
Occasional papers, Royal Artillery Institution : 4, 55 a. 129 (id., en Angleterre, Snow Harris).
Archiv : 15, 219 (épreuve de roulement, en Prusse); 34, 239 (transports); 43, 47 (id.).
Dingler : 172, 463 (id., sur les chemins de fer américains).
Rapport, Instruction et Arrêté du Directoire exécutif sur l'épreuve, emmagasinement et transport des poudres de guerre, Paris, 1799.
- Généralités.** *Archiv* : 6, 196 u. 63, 87 (généralités).

Handbuch für die Offiziere der k. Armee : (poudres prussiennes de l'ancien armement).

Revue : 1, 431 (poudres russes); 2, 10 (id.); 10, 396 (id.); 1, 360 (poudres anglaises); 2, 356 (poudres italiennes); 2, 409 (poudres suisses); 10, 566 (id., en 1876).

Morin, *Aide-Mémoire de mécanique pratique*, Paris, Hachette, 1864 : 542-554 (travail des appareils).

Militär. Wochenblatt, 1872 : Beiheft Nro 10 (consommation des poudres de guerre par les armées allemandes).

Revue : 4, 81 (consommation de munitions, guerres récentes); 7, 209 (id., 1870-1871); 12, 478 (id., 1877-1878).

FABRICATION DES POUDRES A GROS GRAINS.

Revue : 6, 108 (charges comprimées, *Castan*).

Archiv : 69, 53 (id.); 61, 143 (id.).

Revue : 6, 188 (Expériences faites en France sur les poudres à canon, de 1862 à 1873); 12, 481 (id.); 13, 24 (id.); 1, 98 et 195 (Étude des poudres pour le nouveau matériel de l'artillerie de terre, *Castan*); 3, 273 (Sur l'emploi des nouvelles poudres, id.).

Castan, *Sur l'emploi des nouvelles poudres dans les canons de tous calibres*, Paris, Berger-Levrault, 1874 : (id., id.).

Sébert, *Les nouvelles bouches à feu de la marine française*, Paris, Tamera, 1873 : (id., *Sébert*).

J. D. Marwin, *Granulation of Gunpowder*, Naval experimental Battery, Annapolis, Maryland, 1875.

Vivian Dering Majendie and Orde Brown, *Military Breech loading rifles with detailed notes on Snider and Martini-Henry rifles and Boxer ammunition* : 116.

Kropatschek, *Ueber das österreichische Hinterladungsgewehrssystem kleinen Kalibers mit Werndl-Verschluss*.

Dingler : 202, 348 (poudre prismatique); 196, 308 (poudre pebble); 202, 347 (id.).

Revue : 8, 556 (poudres prismatiques, russes); 9, 186 (id., id.); 10, 299 (id., id.).

Das preussische prismatische Pulver, Berlin, 1874 : (id., prussiennes).

Smith : 74 (machine pellet).

Polyt. Centralbl., 1871 : 571 (poudre pellet).

Mittheil., 1872 : 7. Heft (poudres espagnoles à grande densité, *Beer*).

Mém. art. mar. : 3, 661 (poudre à gros grains d'Oker, *Kaygorodoff*).

Revue : 11, 97 (poudre à compensation, *Tatten*).

Archiv : 82, 167 (id., id.).

Revue : 4, 559 (poudres italiennes, canon de 32^{mm}); 10, 132 (id., id.); 8, 568 (id., canon de 100^{mm}); 9, 178, 236 et 468 (id., id.); 11, 193 (id., id.); 2, 357 (id., poudre à dés); 9, 357 (id., essais divers); 7, 84 et 477 (poudres anglaises, canon de 81^{mm}); 8, 87, 264 et 470 (id., id.); 9, 79 et 170 (id.); 6, 334 et 451 (poudres autrichiennes, 1873-74); 10, 377 et 451 (id., 1875-76); 7, 303 (poudres allemandes); 8, 59 (id.).

Fabrication des poudres à gros grains.

Charges comprim.

Documents généraux sur les poudres à gros grains.

Poudres diverses.

Propriétés
physiques.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE LA POUDRE.

- Documents généraux.** *Règlement sur les épreuves des poudres dans les établissements du service des poudres et salpêtres*, Paris, Imprimerie impériale, 1857.
Instruktion für die Untersuchung des in der k. k. Pulverfabrik zu Stein erzeugten Geschütz- und Gewehrpulvers, 1871.
Jacob, *Practical hints on the proof of gunpowder*, 1846.
Journal de l'artillerie italienne, 1869 : 2^e partie, 91 (épreuves de Fossano).
- Aspect extérieur.** *Archiv* : 25, 84 (aspect extérieur, etc.); 34, 254 (id.); 45, 266 (id.).
Dingler : 39, 269 (id.).
- Densité.** *Archiv* : 22, 159 u. 24, 221 (densité, *Marchand, Kopp, Say et Hoffmann*).
Werther, *Unorgan. Chem.* : Abthl. 2, 86 (id.).
Guyton et Lavoisier, *Annales de Chimie*, 1797 : 23 (id., *Kopp et Say*).
Ann. Chem. Pharm. : 35 (id., id.).
Müller, *Lehrbuch der Physik*, 7. Aufl. : 1, 187 (id., id.).
Timmerhans, *Description des divers procédés de fabrication de la poudre à canon*, Bruxelles : 218 (id., *Timmerhans*).
Mittheil. des Hannov. Gew.-Vereins, 1856 : 168 (id., *Heeren*).
Heeren, *Ueber die Bestimmung der Dichtigkeit des Schießpulvers* : (id., id.).
Rev. de technol. milit. : 2, 433 (id., id.).
Dingler : 141, 279 (id., id.).
Archiv : 46, 98 (id., *Otto*).
Ann. Chim. Phys. : 2^e série, 20, 141 (id., *Pouillet*).
Gilbert, *Annalen der Physik* : 73, 356 (id., id.).
Revue : 3, 353 (id., *Bianchi*); 11, 320 (id., *Ricq*).
Piobert, *Traité d'art.* : 74 (id., *Maguin*); 89 (id., action de l'humidité, *Piobert*); 119 (id., influence des procédés de fabrication, id.); 47 (humidité, influence sur les propriétés balistiques, id.).
Mém. art. mar. : 4, 678 (id., id., *Noble et Abel*).
Archiv : 22, 160 (humidité et hygrométrie); 1, 410 (id.); 25, 84 (id.); 45, 266 (id.).
- Humidité et hygrométrie.** **Vergnaud**, *Man. de l'artif.* : 1, 235 (crassement, A.-D. *Vergnaud*).
Piobert, *Traité d'art.* : 49 (id., *Piobert*).
- Crassement.**

Propriétés
chimiques.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DE LA POUDRE.

Analyse
quantitative.

- Ann. Chem. Pharm.* : 109, 53 (analyse, *Linck*).
Archiv : 20, 100 (id., *Werther*).
Journ. f. prakt. Chem. : 13, 505 (id., *Marchand*); 32, 53 (id., id.); 38, 206 (id., id.).
Jahrb. des k. k. polyt. Inst. zu Wien : 17 (id., *Becker*).
Journ. f. prakt. Chem. : 32, 53 (id., id.).
Berichte der Wiener Akademie der Wissenschaften : 40, 748 (id., *Uchatins*).
Dingler : 132, 371 (id., id.).

- Berzelius**, *Lehrbuch der Chemie*, 3. Aufl. : 4, 92 (id., *Berzelius*).
Dingler : 4, 382 (id., *Hermbstädt*).
Ann. Chim. Phys. : 16, 434 (id., *Gay-Lussac*).
Pelouze et Frémy, *Traité de Chimie générale*, 2^e éd., Paris, Masson, 1854 :
 2, 359 (id., id.).
Journ. f. prakt. Chem. : 32, 48 (id., id.); 18, 128 (id., *Löwig*).
Archiv : 20, 109 (id., *Millon*).
Erdmann, *Journ. f. techn. u. ökon. Chem.* : 9, 256 (id., *Ure*).
Bottée et Riffault : 450 (id., *Bottée et Riffault*).
Archiv : 20, 94 (id., id.).
Compt. rend. : 48, 1110 (id., *Cloez et Guignet*).
Journ. f. prakt. Chem. : 75, 175 (id., id.).
Dingler : 6, 16 (id., *Beaumé*).
Schweizer Gewerbeblatt, 1842 : 297 (id., *Bolley*).
Dingler : 86, 51 (id., id.).
Bolley, *Handbuch der techn. chem. Untersuchungen*, 2. Aufl. : 229
 (id., id.).
Ann. Chem. Pharm. : 90, 129 (id., *Wetzién*).
Journ. f. prakt. Chem. : 63, 310 (id., id.).
Fresenius, *Traité d'analyse chimique quantitative*, trad. par *Forthomme*,
 Paris, Savy, 1875 : 748 (analyse de la poudre); 597 et 624 (dosage volumétrique
 de l'azote); 438 (dosage de l'acide azotique); 378 (dosage de l'acide carbonique);
 613 et 584 (analyse organique élémentaire).

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA POUDRE.

- Gay-Lussac**, *Rapport au comité des Poudres et Salpêtres*, février 1823.
Piobert, *Traité d'art.* : 293 (rapport de *Gay-Lussac*).
Chevalier, *Des effets de la poudre à canon, principalement dans les mines*,
 Paris, Corréard, 1846.
École des mines, Paris, Claye, 1875.
Ann. Chim. Phys., 1870: sept. et oct. (Nouvelles études sur les propriétés des
 corps explosibles, *Abel*).
Abel, *On some Phenomena exhibited by Gun Cotton and Gunpowder under
 special conditions of exposure to heat.*
Proceedings Royal Artillery Institution : 1, 110 (Belgian Experiments on the
 Proof of Gunpowder in 1858).
Kruger, *Chemical Meditations on the Explosion of Powder* (in Latin), 1636.
Hawksbee, *On Gunpowder*, 1686.
Winter, *On Gunpowder* (in Latin).
D'Antoni, *Esame della polvere*, Torino, 1765.
D'Antoni, *Examen de la poudre*, trad. par de *Flavigny*, Amsterdam, Ge-
 nève et Paris, 1773.
Dingler : 21, 364 (inflammation); 76, 467 (id.); 80, 78 (id.).
Compt. rend. : 36, 852 (id., *Violette*).
Journ. f. prakt. Chem. : 59, 335 (id., id.).

*Propriétés
 mécaniques.*

*Documents
 généraux.*

Inflammation.

- Dingler** : 190, 250 (id., *Horsley*).
Compt. rend. : 73, 1478 (id., *Leygue et Champlon*).
- Dingler** : 203, 303 (id., id.); 50, 16 (id., par l'électricité); 51, 431 (id.); 73, 117 (id.); 85, 275 (id.); 87, 78 u. 462 (id.); 88, 215 (id.); 93, 316 (id.); 101, 103 (id.); 103, 263 (id.); 173, 125 (id.); 176, 201 (id.).
- Archiv* : 9, 259 (id.).
- Journ. f. prakt. Chem.* : 14, 381 (id.).
- Piobert**, *Traité d'art.* : 219 et 234 (id., vitesse, *Piobert*).
- Ann. Chim. Phys.* : 5^e série, 5, 28 (appareils et amotes électriques, *Champlon, Pellet et Grenier*); 3^e série, 39, 331 (id., *Violette*).
- Combustion. **Compt. rend.** : 78, 1227 et 1432 (explosion et détonation, *Abel*); 82, 469 (id., *Berthelot*); 55, 97 (combustion dans le vide, *Bianchi*).
- Dingler** : 169, 235 (id., id.).
- Berichte über die Naturforscher-Versammlung zu Hannover im September 1865* : 135 (id., *Heeren*).
- Dingler** : 160, 286 (id., id.).
- Chem. News* : 9, 206 a. 218 (id., *Abel*).
- R. Wagner**, *Jahresbericht* ⁽¹⁾ : 11, 313 (id., id.).
- Piobert**, *Traité d'art.* : 130 (vitesse de combustion, *Piobert*).
- Archiv* : 53, 54 (id., id.); 22, 160 (id.).
- Produits de la combustion. **Chevreul**, *Dictionnaire des sciences naturelles* : 36, 56 (produits de la combustion, *Chevreul*).
- Dingler** : 136, 156 (id., *Vogel jun.*).
- Encyclopédie britannique* : art. Poudre à canon (id., *Graham*).
- Bunsen et Schischkoff**, *Théorie chimique de la combustion de la poudre*, trad. par Terquem, Paris, Corréard, 1859 : (id., *Bunsen et Schischkoff*).
- Proceedings Royal Artillery Institution* : 1, 297 a. 312 (id., id., d'après *Abel*).
- Poggendorf's Annalen* ⁽²⁾ : 102, 321 (id., id.).
- Ann. Chem. Pharm.* : 169, 53 (id., *Linck*).
- Dingler** : 152, 72 (id., id.).
- Pogg. Ann.* : 118, 552 (id., *Károlyi*).
- Phil. Mag.* : 4^e série, 26, 266 (id., id.).
- Dingler** : 168, 158 (id., id.); 169, 432 (id., id.).
- Vignotti**, *De l'analyse des produits de la combustion de la poudre*, Paris, 1861 : (id., *Vignotti*).
- Archiv* : 63, 109 (id., id.).
- Jahresber.*, 1861 : 232 (id., *Craig*).
- Dingler** : 161, 462 (id., id.).
- Zeitschrift für Chemie* : 12, 12 (id., *Federow*).
- Jahresber.* : 15, 248 (id., id.).
- Archiv* : 59, 172 (id., *Poleck*).
- Phil. Trans.*, 1875 : 1 (Researches on explosives, fired Gunpowder, *Noble and Abel*).

(1) Abrév. : *Jahresber.*(2) Abrév. : *Pogg. Ann.*

- Mém. art. mar.* : 4, 355 et 617 (Recherches sur les substances explosives, combustion de la poudre à canon, *Noble et Abel*, trad. par *Aloncle et Hédon*).
- Compt. rend.* : 79, 204, 294, 366 (id., id.); 79, 577 (id., id., d'après *Roux et Sarrau*); 82, 487 (id., id., d'après *Morin et Berthelot*).
- Ann. Chim. Phys.* : 5^e série, 9, 145 (théorie de la décomposition, *Berthelot*).
- Mém. art. mar.* : 6, 107 (id., id.).
- Compt. rend.* : 77, 138 et 178 (chaleur de combustion, *Roux et Sarrau*).
- Dingler* : 174, 195 (calorimètre de *Melsens*).
- Sarrau**, *Recherches théoriques sur les effets de la poudre et des substances explosives, Force et Travail*, Paris, Tanera, 1874 : (force et potentiel, *Sarrau*).
- Dingler* : 87, 474 (force, *Coathupe*); 104, 465 (id.); 111, 429 (id.); 100, 453 (id.); 109, 426 (id.).
- Revue* : 5, 349 (id., *Roux et Sarrau*).
- Compt. rend.* : 77, 478 (id., id.); 79, 757 (id., id.); 77, 126 (id., de *Tromèche*); 74, 619, 677, 709 et 940 (id., *Berthelot*); 72, 165 (id., id.); 74, 898 (id., id., d'après *Cazin*).
- Berthelot**, *Force* : (id., id.).
- Ann. Chim. Phys.* : 4^e série, 6, 294 et 26, 462 (thermo-chimie, *Berthelot*); 5^e série, 4, 5 et 141, et 13, 5 (id., id.).
- Compt. rend.* : 71, 677 (id., id.); 74, 1045 (id., id.); 78, 99 et 104 (id., id.); 78, 1200 (id., id., d'après *Castan*).
- Revue* : 4, 276 (id., id., id.).
- Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, 1872 : 181 (id., *Thomson*).
- Phil. Trans.*, 1797 : 222 (Experiments to determine the force of fired Gunpowder, *Rumford*).
- Bibliothèque britannique, sciences et arts*, Genève, an VII : 10, 329 (id., id.).
- Revue* : 1, 42 (id., id., d'après *Sarrau*).
- Résal**, *Recherches sur le mouvement des projectiles*, Paris, Gauthier-Villars, 1864.
- Compt. rend.* : 79, 504 et 147 (Effets de la poudre dans les armes, *Sarrau*); 82, 898 (id., id.); 84, 297 (id., id.).
- Mém. art. mar.* : 1, 743 (id., id.); 2, 1083 (id., id.); 4, 131 (id., id.); 5, 129 (id., id.); 6, 161 (id., id.).
- Sarrau**, *Recherches théoriques sur les effets de la poudre dans les armes, Nouvelles recherches sur les effets de la poudre dans les armes, Formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes, Notes sur les formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes*, Paris, Tanera, 1874-1878 : (id., id.).

Théorie de la décomposition.

Chaleur de combustion.

Force et potentiel.

Thermo-chimie.

Loi des pressions en vase clos.

Formules des vitesses et des pressions.

APPAREILS DE MESURE DES EFFETS BALISTIQUES.

Appareils de mesure des effets balistiques.

Éprouvettes.

Règlement sur les épreuves des poudres, Paris, 1857.**Maguin**, *Expériences sur les poudres de guerre, faites à Esquerdes dans les années 1832, 1833, 1834 et 1835, suivies de notices sur les pendules balistiques et sur les pendules-canon*, Paris, Corréard et Anselin, 1837.

Appareils
électro-balistiques.

Archiv : 24, 155 (mortier-éprouvette).

Mém. art. : 3, 96 (éprouvette de Colson).

Archiv : 56, 43 (éprouvette dynamométrique de Melsens).

Dingler : 174, 191 (id., id.).

Archiv : 1, 109 (mortier suédois, Meyer); 21, 157 (pendule balistique).

Dingler : 114, 255 u. 132, 259 (chronoscope de Wheatstone); 166, 118 u. 179, 37 (chronographe de Martin de Brettes); 179, 30 (galvanomètre de Pouillet); 179, 35 (pendule de Navez).

Martin de Brettes, *Instruction sur l'emploi du chronographe à induction dans les expériences balistiques*, Paris, Corréard, 1863 : (chronographe de Martin de Brettes).

Navez, *Application de l'électricité à la mesure de la vitesse des projectiles*, Paris, Corréard, 1853 : (pendule de Navez).

Delobel et Navez, *Rapport sur des expériences faites à Liège en 1850 au moyen d'un appareil électro-balistique*, Liège, Redouté, 1851 : (id., id.).

Navez, *Considérations sur les expériences de balistique en ce qui concerne la mesure du temps*, Paris et Liège, Noblet et Baudry, 1865 : (id., id.).

Rev. de technol. milit. : 1, 169 et 2, 1 (id., id.); 6, 397 (id., id., d'après Mayewski).

Archiv : 31, 155 (id., id.); 32, 176 (id., id.); 54, 30 (id., id.).

Le Boulengé, *Mémoire sur un chronographe électro-balistique*, Paris et Liège, 1864 : (chronographe Le Boulengé).

Archiv : 56, 189 (id., id.).

Dingler : 179, 39 (id., id.).

Le Boulengé, *Réponse aux appréciations émises sur le chronographe Le Boulengé dans les récentes publications de MM. le colonel Leurs et le major Navez*, Paris et Liège, 1865 : 67 (id., id.).

Le Boulengé, *Description et emploi du chronographe Le Boulengé*, Bruxelles, Muquardt, et Paris, Dumaine, 1869 : (id.).

Rev. de technol. milit. : 3, 581 (id., id.).

Bulletins de l'Acad. roy. de Belgique : 2^e série, 17, n°2 (id., id., d'après Melsens).

Le Boulengé, *Études de balistique expérimentale, détermination au moyen de la clepsydre électrique de la durée des trajectoires*, Bruxelles, Muquardt, et Paris, Tanera, 1868 : (clepsydre Le Boulengé).

Archiv : 63, 266 u. 64, 1 (id., id.).

Dingler : 189, 470 (id., id.).

Bashforth, *Description of a chronograph adapted for measuring the varying velocity of a body in motion through the air and other purposes*, London, Bell and Daldy, 1866 : (chronographe Bashforth).

Bashforth, *Reports on the experiments made with the Bashforth chronograph to determine the resistance of the air to the motion of projectiles* (1865-1870), London : (id., id.).

Bashforth, *A mathematical treatise on the motion of projectiles*, London, Asher, 1873 : (id., id.).

Mém. art. mar. : 2, 693 (id., id., d'après Sébert).

Rev. de technol. milit. : 6, 197 (id., id., d'après de Tessières).

- Dingler** : 183, 81 (id., id.); 195, 52 u. 202, 338 (chronographe *Noble*).
- Schultz**, *Mémoire sur un projet de chronographe électrique fondé sur l'emploi du diapason*, Paris, Corréard, 1859 : (chronographe *Schultz*).
- Benet**, *Electro-ballistic Machines and the Schultz Chronograph*, New-York, Van Nostrand, 1871 : (id., id.).
- Mém. art. mar.* : 2, 1015 (id., id., d'après *Moisson*).
- Moisson**, *Notice sur le chronographe à diapason et à étincelles d'induction (système Schultz)*, Paris, Tanera : (id., id., id.).
- Vignotti**, *Recherches et résultats d'expérience relatifs à la mise en service des chronoscopes électro-balistiques*, Paris, Dumaine, 1859.
- Robins**, *Nouveaux principes d'artillerie*, trad. par *Dupuy*, 1771.
- Hutton**, *Nouvelles expériences d'artillerie, faites pendant les années 1787, 1788, 1789 et 1791*, trad. par *Terquem*, Paris, Bachelier, 1826.
- Poumet**, *Mémoires sur la poudre et sur ses effets dans les armes à feu*, Paris, Anselin, Bachelier et Levrault, 1827 et 1828.
- D'Arcy**, *Mémoire sur la théorie de l'artillerie ou sur les effets de la poudre et sur les conséquences qui en résultent par rapport aux armes à feu*, Paris, Corréard, 1846.
- Piobert**, *Traité d'art.*, *Anneze* : (Rapport d'*Arago*, *Dulong* et *Poncelet* sur un mémoire de *Piobert* sur les effets de la poudre, et exposé des recherches antérieures sur le même sujet, 22 août 1836).
- Revue* : 4, 137 et 460 (id.).
- Bloxam**, *Chimie inorganique et organique*, 1867 : 427 (pression maximum).
- Owen**, *Principes et pratique d'artillerie moderne*, 1871 : 155 (id.).
- Piobert**, *Traité d'art.* : 359 (id.).
- Robins**, *Nouv. princ. d'art.*, 1805 : 59 (id.).
- Hutton**, *Dissertations mathématiques*, 1812 : 3, 209 (id.).
- Cavalli**, *Mémoire sur les éclatements remarquables des canons*, Paris, Tanera, 1867 : 83 (mesure des pressions, *Cavalli*).
- Cavalli**, *Delle grossezze di metallo delle bocche a fuoco d'artiglieria* : (id., id.).
- Rev. de technol. milit.* : 2, 147 (id., id.).
- Mémoires de l'Académie des sciences de Turin* : série 2, 12 (id., id.).
- Archiv* : 34, 2 (id., *Neumann*).
- Rev. de technol. milit.* : 1, 9 (id., id.) et 2, 141 et 173 (id., id., d'après *Mayewski*).
- Mittheil.*, 1864 : 1^{re} u. 4^{re} Lief. (id., *Uchatius*).
- Revue* : 4, 472 (id., id.), 149 (id., *Noble*), 473 (id., *crusher*), 468 (id., *Rodman*).
- Rodman**, *Expériences sur le métal à canon et sur les qualités de la poudre à canon*, Boston, 1861 : (id., id.).
- Journal d'artillerie russe*, 1869 : mars (id., id., expériences russes).
- Dingler** : 107, 21 (id., id.); 202, 344 (id., *Noble*).
- Proceedings Royal Artillery Institution* : 6, 282 (id., id.).
- Revue scient.*, 1872 : n° 48, p. 1125 (id., id.).
- Compt. rend.* : 74, 834 (id., de *Montluisant* et de *Reffye*).
- Dingler** : 204, 199 (id., id.).
- Archiv* : 71, 10 (id., id.).
- Revue* : 8, 1 (id., id.); 5, 58 et 393 (id., *Ricq*); 6, 309 (id., id.).
- Compt. rend.* : 79, 760 (id., id.); 82, 654 (id., id.).

Documents
généraux
sur la mesure
des pressions.

Appareils
de mesure
des pressions
(cf. p. 823).

- Sébert, *De la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre*, Paris, Tanera, 1877 : (id.).
 Sébert, *Notice sur les appareils Marcel Deprez pour la mesure des pressions des gaz de la poudre*, Paris, Tathera : (id., Marcel Deprez et Sébert).
Mém. art. mar. : 2, 948 (id., id.).
Compt. rend. : 79, 980 (id., id.); 87, 168 (id., vélocimètre de Sébert).

CORPS EXPLOSIFS.

CORPS EXPLOSIFS.

Traité généraux.

TRAITÉS GÉNÉRAUX.

- Knapp : 2, 201 sqq.
 Vergnaud, *Man. de l'artif.* : 1, 247 sqq.
Mém. du génie : 20, 22, 432 sqq. et 23, 331 sqq. (Les dynamites, Fritsch).
 Berthelot, *Force*.
 Moigno, *Recherches sur les agents explosifs modernes et sur leurs applications récentes*, Paris, Gauthier-Villars, 1872.
Revue : 2, 333, 390 et 460 (nitroglycérine et dynamites).
 Muspratt, *Theoret., prakt. und analytische Chemie in Anwendung auf Künste und Gewerbe, frei bearbeitet von Br. Kerl und Stohmann* : 4, 431 ff., 1038 ff., 1087 ff., 1209 ff., 1729 ff.; 6, 297 ff.
 J. R. Wagner, *Hand- und Lehrbuch der chem. Technologie*, 1858 : 1, 494 ff.; 2, 106 ff.
 A. Rutzky, *Theorie der Schiesspräparate und die Geschossbewegung in den Feuerwaffen*, Wien, 1869.
 A. Rutzky und von Grahl, *Das gezogene Schiesswoll-Feld- und Gebirgs-geschütz*, Wien, 1862.
 J. Trauzl, *Ueber explosive Nitriilverbindungen, insbesondere Dynamit und Schiesswolle, deren Eigenschaften und Verwerthung in der Sprengtechnik*, 2. Aufl., Wien, Carl Gerold's Sohn, 1870 (1).
Notizen über neuere kriegstechnische Gegenstände, als Zündungen, Sprengmittel, Feldebefestigungen, etc., Wien, aus der k. k. Hof- und Staatsdruckerei, 1871.
 Mahler, *Die moderne Sprengtechnik dargestellt durch Bohrmaschinen, Luftkompressoren, Dynamit, etc.*, Wien, Mechitaristen Buchdruckerei, 1873.

(1) Abrév. : Trauzl, Nitriilverb.

Instruktionen über die Erzeugung, Verpackung, Konservierung und Deposition der Spreng- und Zündmittel für die k. k. Genie-Truppe, Wien, aus der k. k. Hof- und Staatsdruckerei, 1872.

POUDRES DÉRIVÉES DE LA POUDRE ORDINAIRE.

- Jahresber.*, 1862 : 272 (modification du dosage, *Piobert*); 1863 : 313 (id., *Bennet*); 1867 : 245 (id., *Neumeyer*); 1868 : 301 (id., id.).
- Dingler* : 182, 248 u. 184, 164 (id., id., usages); 184, 164 (id., id., avenir).
- Jahresber.*, 1866 : 234 (id., *Champy*, d'après *Meyer*); 1867 : 244 (id., haloxyline, composition); 1866 : 235 (id., id., *Idria*).
- Schubarth, Techn. Chem.*, 4. Aufl. : 1, 315 (déliquescence du nitrate de soude, *Gentle*).
- Dingler* : 166, 313 (poudres au nitrate de soude, *Roberts et Dale*).
- Jahresber.*, 1862 : 272 (id., *Craig*).
- Berliner Bericht* : 5, 489 (id., *Matteen*); 6, 78 (id., *Poch*); 6, 151 (id., *Matteen*).
- Dingler* : 172, 155 (id., *Schwarz*); 173, 236 (id., *Schäffer et Budenberg*).
- Deutsche Ind.-Ztg.*, 1866 : 308 (id., id.).
- Polyt. Centralbl.*, 1864 : 490 (id., *Eaton*).
- Dingler* : 156, 78 (id., *Davey*); 156, 77 (id., *De Tret*).
- Polyt. Centralbl.*, 1861 : 686 (id., *Oxland*).
- Jahresber.*, 1864 : 227 (id., *Freiberg et Wetzlar, Streng*); 1860 : 207 (id., *Aix-la-Chapelle*); 1855 : 108 u. 1859 : 211 (poudres au nitrate de baryte, *J. R. Wagner*); 1863 : 345 (id., *Newton*).
- Nouvelle poudre de mine au nitrate de baryte, dite saxifragine*, Paris, *Corréard*, 1864 : (id., id.).
- Berg- und Hüttenmännische Ztg.*, 1865 : 376 (id., *Küp et C.*, d'après *Böttger*).
- Dingler* : 182, 251 (id., *Wynants*).
- Polyt. Centralbl.*, 1863 : 553 (poudres chloratées, *Kellow et Short*).
- Jahresber.*, 1866 : 234 (id., *Knaffl*).
- Dingler* : 172, 229 (id., *Spence*).
- Deutsche Ind.-Ztg.*, 1865 : 378 (id., *Ehrhardt*).
- Jahresber.*, 1867 : 244 (id., *Sharp et Smith*).
- Dingler* : 181, 150 (id., *Melland*).
- Jahresber.*, 1870 : 216 (id., *Nisser*).
- Deutsche Ind.-Ztg.*, 1866 : 178 (id., id.).
- Wiek, Gewerbe-Ztg.*, 1869 : 7 (id., id.).
- Dingler* : 115, 375 (id., *Augendre*).
- Jahresber.*, 1861 : 227 (id., *Pohl*); 1860 : 209 (id., id., préparation).
- Dingler* : 161, 317 (id., id., dangers); 162, 136 (id., id., id., d'après *Hudson*).
- Compt. rend.* : 69, 350 (id., id., *Zaliwski*); 71, 403 (id., id., id.); 73, 225 (id., id., id.).
- Dingler* : 161, 146 (id., id., propriétés, d'après *Uchatius*).
- Jahresber.*, 1870 : 221 (id., id., chargement des torpilles de contact).
- Dingler* : 193, 356 u. 196, 13 (id., id., usage pour les marteaux-pilons); 205, 90 (id., id., application au pilonnage).

Poudres dérivées
de la
poudre ordinaire.

Par modification
du dosage.

Poudres
au nitrate de soude.

Poudres au nitrate
de baryte.

Poudres
chloratées.

- Jahresber.*, 1868 : 300 (id., *Reveley*); 1869 : 256 (id., *Hafenegger*); 1868 : 304 (id., *Hahn*); 1862, 280 (id., *Horsley*); 1862 : 278 (id., *Callou*).
Poudres à l'acétate de soude. *Violette, Mémoire sur le mélange détonant du nitrate de potasse et de l'acétate de soude*, Lille, Danel, 1871.

Coton-poudre.**COTON-POUDRE.****Documents généraux.**

Pelouze et Maurey, Mémoire sur la poudre-coton, Paris, Gauthier-Villars, 1864.

Mém. art. : 7, 93 (Rapport sur le pyroxyde à base de coton et sur les autres matières explosives analogues comparées à la poudre, *De Laplace, Piobert, Morin, Piocet*).

Mém. art. mar. : 2, 135 (Étude sur le coton-poudre).

Melsens, Note sur les pyroxyles.

Otto-Maresch, Waffenlehre für die Offiziere aller Waffen, 1^{re} Abth., *Schiess- und Sprengpräparate*, 1872.

Historique.

Berzelius, Jahresbericht der Chemie : 27, 418 (pyroxyde ou pyroxylole, *Pelouze*); 14, 325 (xyloidine, *Braconnot*).

Revue : 1, 170 (batteries à coton-poudre, *Lenk*).

Préparation.

Compt. rend., 1838 : 713 (préparation, *Pelouze*); 28, 269 (id., *Millon et Gaudin*).

Jahresber., 1867 : 358 (id., coton employé, *Bérard*).

Dingler : 185, 148 (id., rendement final, *Abel*).

Phil. Mag. : [3], 31, 152 (id., *Taylor*).

Compt. rend. : 23, 808 (id., *Knop*).

Journ. f. prakt. Chem. : 41, 201 (id., *Walter Crum*); 40, 268 u. 284 (id., *Kerhoff et Reuter*).

Jahresber., 1864 : 234-243 (id., *Le Bouchet*).

Compt. rend. : 59, 363 (id., id.).

Liebig, Jahresber., 1865 : 785 (id., id., *Melsens*).

Dingler : 178, 145 (id., *Lenk*).

Jahresber., 1863 : 310 (id., id.).

Chem. News : 14, 18 a. 250 (id., *Abel*); 15, 203 (id., id.).

Dingler : 185, 154 (id., id.).

Jahresber., 1871 : 304 (id., id.).

Propriétés.

Liebig, Jahresber. : 1, 1137 (séparation du coton, *Kindt*); 15, 468 (id., alkolen de *Lutton*); 7, 625 (acidité, *Hadow*).

Compt. rend. : 83, 707. (composition, *Champion et Pellet*), 1011 (id., *Abel*).

Mittheil., 1871 : 1^{er} Hefte (influence de l'ozone, *Beckerhinn*), 6^{er} Hefte (influence de l'humidité, id.); 1870 : 730 (analyses, id.).

Dingler : 103, 224 (formule, *Pelouze*); 169, 428 (id., *Károlyi*).

Journ. f. prakt. Chem. : 40, 257 (id., *Schmidt et Hecker*).

Jahresber., 1870 : 220 (réactions).

Dingler : 178, 147 (id.).

Liebig, Jahresber. : 6, 550 (id.).

Compt. rend. : 59, 487 (propriétés, *de Luca*).

Jahresber., 1860 : 466 (id., *Hofmann*).

Dingler : 185, 157 (id., *Abel*).

- Traul, Nitriilverb.** : 42 (id., *Traul*).
- Mechanic's Magazine**, 1872 : 478 (id., *Brown*).
- Jahresber.**, 1867 : 358 (procédé de conservation, *Prentice*).
- Dingler** : 190, 250 (combustion et détonation, *Horsley*); 180, 286 (id., *Heeren*).
- Compt. rend.** : 55, 97 (id., *Bianchi*); 69, 105 (id., *Abel*); 78, 1227 et 1432 (id., id.); 75, 210 et 712 (id., vibrations synchrones, *Champion et Pellet*).
- Ann. Chim. Phys.**, 1870 : sept. et oct. (id., id., *Abel*).
- Compt. rend.**, 1870 : 2^e sem., n° 21 (détonation, *Champion et Pellet*).
- V. D. Majendie**, *Report on the explosion of guncotton at Stowmarket*.
- Dingler** : 169, 428 (produits de la combustion, *Károlyi*).
- Liebig, Jahresber.** : 4, 1141 (id., *Hecker et Schmidt, Teschenmacher et Porret*).
- Berthelot, Force** : 179 (formule de la décomposition).
- Compt. rend.** : 28, 343 (force relative, *Maurey*).
- Dingler** : 190, 253 (usages militaires, papier au coton-poudre, *Prentice*); 179, 190 Usages.
(id., cartouches de *Séguier*).
- Jahresber.**, 1864 : 234 (id., cartouches de *Lenk*); 1863 : 310 (id., coton-poudre comprimé, *Abel*).
- Wiek, Gew.-Ztg.**, 1872 : 220 (id., id., id.).
- Revue** : 6, 256 (id, obus, *Abel*); 7, 89 (id., id., id.).
- Dingler** : 104, 465 (usages civils, *Hall et Sohn*).
- Jahresber.**, 1857 : 357 (id., *Coxthupe et Caldwell*).
- Liebig, Jahresber.** : 4, 1144 (id., *Combes*).
- Dingler** : 192, 405 (id., amorce fulminante de *Nobel*); 192, 165 u. 405 (id., trous de mine); 195, 364 (id., id., *Abel*).
- Mém. du génie** : 20 (id., expériences anglaises).
- Mechan. Magazine**, 1872 : n° du 4 mai (id., id.).
- Rev. de technol. milit.** : 3, 513 (id., expériences de *Newcastle*).
- Mittheil.**, 1871 : 1^{er} Heft (id., sautage de glace, *Brason*).
- Traul, Nitriilverb.** : 136 (prix des amorces fulminantes).
- Dingler** : 180, 406 (emploi du coton-poudre en *Californie*).
- Chem. News** : 14, 18 (emploi dans la pyrotechnie, *Abel*).
- Jahresber.**, 1860 : 467 (emploi comme filtre, *Böttger*).
- Dingler** : 200, 338 (stabilité, *Bleekrode*); 189, 78 (transports et conservation, *Wilson et Prentice*); 203, 324 (id., d'après une Commission anglaise). Généralités.
- Rapports de la Commission spéciale du coton-poudre** : 25 juillet 1872 et 3 juin 1873 (encaissement, humidité, en Angleterre).
- Bulletins de la réunion des officiers**, 1873 : 8 février (id., id., *Abel*).
- Compt. rend.** : 78, 1301 et 1362 (id., id., id.).
- Revue** : 9, 375 (coton-poudre au nitrate de baryte ou poudre *Mackie*, d'après *Canet*).

COLLODION ET PYROXYLES DIVERS.

Collodion et
pyroxyles divers.

- Liebig, Jahresber.** : 4, 1136 (découverte du collodion, *Ménard et Flores Domonte*); Collodion.
1, 1139 (mode de production, *Sourisseau et Lepage*).
- Dingler** : 178, 166 (préparation du collodion, *Dawson*).
- Liebig, Jahresber.** : 6, 548 (id., *Mann*).

Dingler : 166, 63 (id., *Luchs*); 203, 502 (id., *A. Vogel*).

V. Fehling, *Handwörterbuch der Chemie*, Bd. 2, 3. Abth., Artikel : Colloidium (id., *Lauras*).

Dingler : 192, 73 (usages du collodion, *Strahlberger*); 202, 563 (id., *Kneffel*).

Autres pyroryles. *Jahresber.*, 1864 : 251 (poudre *Schultze*).

Berg- u. Hüttenm. Ztg., 1864 : 236 u. 348 (id., *Saarbrück et Mansfeld*).

Dingler : 175, 453 (poudre jaune de *Darepsky*).

Jahresber., 1860 : 207 (poudre blanche de *Lannoy*).

Dingler : 141, 146 (poudre d'*Uchatius*).

Liebig, *Jahresber.* : 6, 550 (id., décomposition spontanée).

Dingler : 144, 123 (id., force relative).

*Corps explosifs
dérivés du sucre.*

CORPS EXPLOSIFS DÉRIVÉS DU SUCRE.

Liebig, *Jahresber.* : 1, 1146 (découverte du nitrosaccharose, *Schönbein*; emploi dans les artifices, *L. Thompson*); 2, 460 (préparation de la nitromannite, *Stenhouse*); 2, 467 (id., *Strecker*); 2, 469 (id., *Reinsch*).

Nitroglycérine.

NITROGLYCÉRINE.

Fabrication. *Ann. Chem. Pharm.* : 64, 398 (fabrication, *Sobrero*).

Liebig, *Jahresber.* : 7, 450 (id., *Präger et Bertram*); 8, 626 (id., *de Vrij*).

Dingler : 183, 221 (id., *Nobel*); 179, 157 (id., id., *Liebs*); 182, 237 (id., *Kopp*).

Jahresber., 1868 : 345 (id., id.).

Wiek, *Gew.-Ztg.*, 1871 : 158 (id., id.).

Dingler : 187, 207 (id., *Rudberg*); 192, 172 u. 206, 184 (id., *Mowbray*).

Compt. rend. : 73, 42 et 114 (id., *P. Champion*).

Champion, *Sur la nitroglycérine*; (id., id.).

Jahresber., 1871 : 307 (id., id.).

Cölnische Zeitg., 1872 : Nr 29 (id., *M. v. Forster*).

Dingler : 206, 34 (id., *F. Capitaine*).

Compt. rend. : 83, 786 (id., *H. Boutmy et L. Faucher*).

Propriétés. Dingler : 180, 406 (propriétés organoleptiques, *Schuchardt*).

Liebig, *Jahresber.* : 20, 878 (réactif de la nitroglycérine, *Werber*).

Dingler : 192, 172 (stabilité de la nitroglycérine gelée); 178, 414 u. 469 (explosions de Bochum et de Hirschfeld).

Liebig, *Jahresber.* : 7, 451 (formule chimique rationnelle).

Journ. f. prakt. Chem. : 105, 254 (id.).

Dingler : 179, 403 u. 100, 124 (décomposition spontanée).

Mittheil., 1871 : 42 (analyses, *Beckerhinn*).

Liebig, *Jahresber.* : 11, 433 (id., *Warren de la Rue et Müller*).

Berggeist, 1868 : Nr. 10 (id., *Liebs et List*).

Dingler : 187, 269 (instruction du Conseil des mines de Bortmund).

Compt. rend. : 78, 1432 (détonation, *Abel*).

- Jahresber.*, 1871 : 309 (action de la chaleur, *Champion*).
Compt. rend. : 77, 53 (mode de décomposition comparé aux phénomènes de sura-
 turation, *Champion et Pellet*).
Berthelot, *Force* : 160 (formule de la décomposition).
Dingler : 178, 349 (id., *Nobel*) ; 203, 540 (produits de la combustion, *L'Hôte*).
Revue : 41, 303 (force relative).
Berg- und Hüttenm. Ztg., 1864 : 77 (emploi dans les mines, *Nobel*).
Dingler : 183, 221 (id., amorces fulminantes de *Nobel*).
Berg- u. Hüttenm. Ztg., 1865 : Nr. 44 (id., mines du Harz).
Jahresber., 1867 ; 319, 321, 322 (id., Aix-la-Chapelle, Haute-Silésie, etc.).
Annales des mines, 1871 : livr. 1 et 2 (id., *Harlé*).
Dingler : 187, 204 (procédé d'inflammation, *Rudberg*) ; 180, 74 (rupture de masses
 métalliques) ; 187, 358, 189, 430 u. 190, 124 (décauvette de la dynamite, *Nobel*) ;
 180, 491 (méthylisation).
Jahresber., 1866 : 297 (nitroglycérine émulsionnée, *Wurts*).
Compt. rend. : 60 (nitroglycérine et coton-poudre, *Abel*).

Usages.

DYNAMITES A BASE INERTE.

Dynamites à base
inerte.

- H. Boutmy**, *Conférences sur la dynamite*, Nancy, Berger-Levrault, 1875. Documents
généraux.
Brüll, *Notice sur la dynamite, sa composition et ses propriétés*, Paris,
1870.
Caillaux, *Note sur la dynamite*, Paris, Viéville, 1872.
Ruggieri, *Notice sur la dynamite*, Paris, Tanera.
Champion, *La dynamite et la nitroglycérine*.
Barbe, *La dynamite, substance explosive inventée par M. A. Nobel*, Paris,
1870.
Barbe, *La dynamite, extrait et traduit de Trauzl, Nitritverb., avec notes*,
Paris, 1870.
Barbe, *Études pratiques sur la dynamite et ses diverses applications à
 l'art militaire*, Paris, Lemoine.
La dynamite, ses caractères et ses effets, Paris, Lahure, 1878.
Dingler : 197, 380 (emploi du kieselguhr) ; 205, 429 (analyses de *Schwarz*) ; 189,
430 (stabilité relative de la dynamite, *Nobel*). Fabrication.
Trauzl, *Nitritverb.* : 62 (id., *Larcher*).
Revue : 41, 479 (texture du kieselguhr).
Compt. rend. : 74, 1488 (procédé de fabrication, *Brüll*) ; 83, 350 (id., *Sobrero*).
Revue : 9, 91 (id., id.) ; 2, 467 (id., en France).
Dingler : 192, 174 (propriétés, *Hüttelsdorf*) ; 193, 490 (id., *Bolley, Pestalozzi et
 Kundt* en Suisse). Propriétés.
Compt. rend. : 72, 688 (id., *Guyot*) ; 73, 206 et 1015 (id., id.) ; 73, 935 (id.,
Dumas) ; 73, 1045 (id., *Barbe*) ; 78, 1432 (détonation, *Abel*).
Trauzl, *Nitritverb.* : 61 (action du feu, *Hüttelsdorf*) ; 40 (action de la chaleur).
Mittheil. des Ingenieurcomités, 1872 : Heft 13 (action du feu).

- Revue* : 9, 395 (volatilisation).
Compt. rend. : 76, 1089 (propriétés mécaniques, Roux et Sarrau).
Revue : 2, 470 (id., id.); 5, 192 (choc des balles).
Mittheil., 1873 : 6^{me} Heft (id.); 1874 : 8^{me} Heft (id.).
Revue militaire de l'étranger, 1873 : 6 août et 16 sept. (id.).
Neue militärische Blätter : août 1873 (id.).
Compt. rend. : 78, n^{os} 17, 18, 19 (id.).
- Usages. *Berl. Ber.* : 5, 988 (cartouches de Ruggieri).
Revue : 2, 459 (id., id.), 453 et 455 (amorces et cartouches).
Traulz, Nitriilverb. : 83, 86, 129 (coton-poudre avec nitroglycérine, Traulz).
Deutsche Ind. Zeitg., 1868 : Nr. 33 (usages civils, Redhill, Nobel).
Dingler : 190, 124 (id., tunnel de Stockholm).
Traulz, Nitriilverb. : 121 (id., Pischoff).
Dingler : 200, 77 (id., Paulsen).
Jahresber., 1871 : 311 (id., Rammelsberg).
Dingler : 201, 34 (id., guerre de 1870-71); 202, 542 (id., Barbe).
Ausland, 1873 : Nr. 13 (id., tunnel de Biassa).
Giornale del Genio militare, 1873 : n^o 1 (id., tunnels de Mesco et de Biassa).
Wiek, Geu.-Ztg., 1871 : 280 (id., Charzanow); 280 (id., Hall).
Mittheil., 1874 : spec. Heft (id., maçonneries, Vogl).
Mém. du génie : 24, 338 (id., id., id.).
Mittheil., 1873 : 7^{me} u. 8^{me} Heft (id., id., Krems), 4^{me} H. (id., roches); 1874 : 1^{me} u. 2^{me} H. (id., aqueduc François-Joseph, Makowiczka), 4^{me} H. (id., pilotes sous l'eau).
Traulz, Nitriilverb. : 139 (id.).
Annales des Mines, 1871 : liv. 1 et 2 (id., dans les mines, Henry).
Mittheil., 1871 : 6^{me} Heft (id., dans les puits artésiens).
Dingler : 203, 143 (id., Closse); 205, 68 (id., Gobin).
Mittheil., 1872 : 2^{me} u. 3^{me} Heft (id., sous l'eau).
Compt. rend. : 72, 770 (id., masses métalliques, Champion).
Dingler : 190, 124 u. 202, 471 (id., id.); 206, 46 (id., rails).
Archiv : 71 (id., expériences anglaises).
Revue : 11, 582 (id., ameublissement des terres).
Journal de l'agriculture, Paris, Masson, 1877 : 4 (id., id., von Hamm); 1878 : 1 (id., id., id.).
Mittheil. des Ingenieurcomités, 1872 : 13^{me} Heft (usages militaires, Prusse et Autriche).
Mittheil., 1871 : 528 (id., projectiles creux).
Compt. rend. : 71, 728 et 72, 292 (id., Champion).
Revue : 2, 332, 390 et 452 (id., rupture de canons et de projectiles); 5, 152 (id., id.); 8, 561 (id., id.); 8, 155 et 457 (id., id.); 9, 299 (id., id.).
Mittheil., 1872 : 4^{me} Heft (id., guerre de 1870-71).
De la dynamite et de ses applications pendant le siège de Paris, trad. de l'Engineering, Paris, Tanera, 1871 : (id., id.).
Tunkler von Treuimfeld, Versuche der k. k. Genie-Truppe im Jahre 1871 : (id., Olmütz).

Mittheil., 1874 : 12^{me} Heft (id., id., *Giffinger*).

Revue : 41, 97 (id., voûte à l'épreuve de la bombe); 4, 161 (id., projectiles creux); 2, 168, 398 et 463 (id., id.).

Lauer, *Mauerwerks Sprengungen mit Dynamit und Pulver*, Wien, Uhlrich und Sohn, 1873 : (poudre et dynamite, *Lauer*).

Mittheil., 1873 : 7^{me} u. 8^{me} Heft (id., Krems, *Treuimfeld*); 1874 : 3^{me} H. (id., Olmütz, id.).

Lauer, *Spreng- und Zündversuche mit Dynamit und comprimierter Schiesswolle* : (dynamite et coton-poudre, *Lauer*).

Mittheil., 1871 : 10^{me} u. 11^{me} Heft (id., *J. Arlt*); 1872 : 6^{me} H., 395 (id., id.); 1872 : 5^{me} H. (id., id.).

Mém. du génie : 24, 78 (id., *Sadoux*).

Jahresber., 1871 : 312 (accident de Szalocz).

Deutsche Ind.-Zeitg., 1869 : 458 (dynamite de *Horsley*).

Liébig, *Jahresber.*, 1870 : 1127 (dynamite de *Girard*, *Millot et Vogt*).

Compt. rend. : 74, 688 (id., id.).

Dingler : 490, 124 (production de la dynamite en Suède).

Mittheil., 1877 : 2^{me} Heft (expériences comparatives sur la nitroglycérine et les dynamites, *Beckerhinn*).

Revue : 40, 389 (id., id.).

Dynamites
diverses.

Généralités.

DYNAMITES A BASE ACTIVE.

Dynamites
à base active.

Jahresber., 1870 : 247 (dynamites de *Nobel*).

Revue : 41, 99 (sébastine).

Deutsche Ind.-Zeitg., 1871 : 58 (Coloniapulver).

C. Lückow, *Ueber Sprengpulver und Sprengpulver-Surrogate, mit besonderer Berücksichtigung eines neuen, von der Firma Gebr. Krebs und C^o in Deutz bei Cöln unter dem Namen, Verbessertes Lithofracteur, in den Handel gebrachten Sprengmaterials*, Deutz, 1869 ⁽¹⁾ : (lithofracteur).

Traulz, *Nitritverb.* : 184 (id., composition).

Dingler : 203, 502 u. 204, 161 (id., combustion, expériences anglaises).

Mittheil., 1871 : 7^{me} Heft (id., expériences anglaises).

Vernier, *Causerie scientifique du Temps*, 1872 : 3 mars (id., expériences).

Mittheil., 1871 : 8^{me} Heft (id., sautage de canons devant Paris).

Wiek, *Gew.-Ztg.*, 1871 : 144 (id., Mont-Valérien).

Lückow, *Sprengp.* : 54 (id., mines et palissades).

Revue : 2, 466 (dynamite au coton-poudre).

Dingler : 496, 90 (dualine, *Dittmar*).

Traulz, *Nitritverb.* : 185 (id., composition).

Wiek, *Gew.-Ztg.*, 1870 : 186 (id., explosion, Autriche).

Deutsche Ind.-Zeitg., 1870 : Nr. 12 (id., Stassfurt).

Mittheil., 1870 : 473 (id., Vienne).

(1) Abrév. : *Lückow*, *Sprengp.*

Deutsche Ind.-Zeitg., 1869 : 128 (dynamite de W. Schickl).

Revue : 41, 481 (dynamite-gomme, Nobel).

Wiek, Gew.-Zeitg., 1872 : 80 (fulminatine); 1869 : 85 (ammoniakkrut).

*Picrates
et fulminates.*

PICRATES ET FULMINATES.

Picrates.

Jahresber., 1867 : 244 (poudre de *Borlinetto*); 1868 : 301 (emploi de l'acide picrique pour le chargement des bombes).

Revue : 4, 489 (poudres aux picrates); 2, 120 (id.).

Dingler : 192, 67 (poudre de *Désignolle*).

Berthelot, Force : 187 (formule de la décomposition du picrate de potasse).

Compt. rend. : 69, 716 (poudre de *Brugère*); 78, 1362 (poudre picrique d'*Abel*).

Jahresber., 1871 : 312 (id., id.).

Liebig, Jahresber. : 20, 915 (chromate de benzine diazotée, *Caro et Griess*).

Fulminates. *Brianchon, Essai chimique sur les réactions foudroyantes*, Paris, Dondey-Dupré, 1825.

Dingler : 61, 192 (fulminaté de mercure, *Howard*).

Ann. chim. phys. : 25, 285 (id., *Liebig et Gay-Lussac*).

Ann. Chem. Pharm. : 404, 204 (id., *Kékulé*).

Dingler : 408, 21 (id., préparation, *Chandelon*).

Ann. Chem. Pharm. : 95, 282 (id., id., *Liebig*).

Dingler : 61, 199 (id., id., *Chevalier*).

Jahresber., 1861 : 284 (id., id., *Stahlschmidt*); 207 (id., constitution, *Kékulé*).

Dingler : 203, 303 (id., explosion, *Leygue et Champion*); 202, 272 (id., grenage et mélange, *Neumann*).

Chem. News, 1862 : 270 (id., force, *Abel*).

PYROTECHNIE.

PYROTECHNIE.

Traité généraux.

TRAITÉS GÉNÉRAUX.

J. Appier, dit Hanzelet, La Pyrotechnie, Pont-à-Mousson, 1620.

Frezler, Traité des feux d'artifice, Paris, 1717.

Ruggieri, Éléments de pyrotechnie, Paris, 1821.

Ravichio de Peretsdorf, Traité de pyrotechnie militaire, Levrauff, 1824.

De Montgory, Traité des fusées de guerre, Imprimerie royale, 1826.

Vergnaud, Man. de l'artif. : 1, 247 sqq. (pyrotechnie militaire); 2 (pyrotechnie civile).

Rev. de technol. milit. : 1, 263 et 2, 271 (pyrotechnie de guerre de l'artillerie prussienne, *Busch et Hoffmann*).

- Spilt**, *Les feux d'artifice*, Paris, Lacroix, 1867.
J.-G. Hoyer, *Geschichte der Kriegskunst*, Göttingen, 1797.
M. Meyer, *Lehrbuch der Pyrotechnik*, 1840.
Busch und Hoffmann, *Die Kriegsfeuerwerkerei der königl. preuss. Artillerie*, Berlin, 1851 (1).
W. Ritter von Breithaupt, *Der Entwicklungsgang und die darauf gegründete Systematik des Zündwesens, sowie das einheitliche Sprenggeschossfeuer*, Cassel, Kay, 1868 (2).
M. Websky, *Die Lustfeuerwerkkunst. Handbuch für die Offiziere der königl. preuss. Artillerie*.
L. Collado, *Practica manual de artilleria*, Milano, 1592.

AMORCES ET ARTIFICES DE MISE DE FEU.

Amorces et artifices de mise de feu.

- Claudii Claudiani opera omnia recensuit N. L. Artaud**, Paris, Lemaire, 1824 : 4, 481 (la pyrotechnie, chez les Romains). Historique.
Saint-Remy, *Mémoires d'artillerie*, Paris, Rigaud, 1707 : 345 (id., au XVIII^e siècle).
Ann. Chim. Phys., 1829 : (Rapport sur les poudres fulminantes pouvant servir d'armores aux armes à feu, *Aubert, Pélassier et Gay-Lussac*). Amores.
Mém. du génie : 22, 171 (amorces, *Roussel et Delambre*).
Dingler : 164, 94 (capsules au fulminate, cuivre de la dtme); 141, 161 (id., baguettes étoilées, *Josten*); 139, 102 (id., confection, *Josten*); 61, 195 (id., composition fulminante).
Archiv : 7, 176 (id., id.).
Dingler : 138, 338 (id., chargement, *Josten*); 13, 14 (id., compression, id.); 193, 92 (id., transports, Birmingham).
Wiek, *Gew.-Zeitg.*, 1868 : Nr. 44 (amorces d'*Abel*).
Dingler : 181, 413 (amorces de *Lesimple*); 202, 272 (amorces au cyanure de cuivre, *Neumann*); 186, 419 (amorces au phosphure de cuivre, *Abel*).
Neue deutsche Gew.-Zeitg., 1873 : 92 (composition d'*Armstrong*).
Dingler : 171, 232 (capsules des fusils à aiguille, composition, *Reich*); 123, 104 (id., id., autre dosage).
Jahresber., 1864 : 233 (id., id., *Wiederhold*).
Dingler : 172, 274 u. 175, 357 (id., id., *Darapsky*).
Handb. f. d. Offz. d. pr. Art. : 47 (compositions fondamentales, préparation).
Dingler : 183, 164 (id., inflammation spontanée, *Clarke*).
Liebig, *Jahresber.* : 20, 860 (id., id., *Arnall*).
Busch und Hoffmann, *Kriegsfeuerw.* : 207 ff. u. 213 ff. (artifices de mise de feu).
Polyt. Centralbl., 1858 : 1514 (id., mèche de *Gomez et Mills*).
Mittheil., 1870 : 12^{te} Heft (id., mèche de *Thill*).
Polyt. Notizbl. : 28, 1 (id., mèches au coton-poudre).
 Compositions fondamentales.
 Artifices de mise de feu.

(1) Abrév. : **Busch und Hoffmann**, *Kriegsfeuerw.*

(2) Abrév. : **Breithaupt**, *Entwicklungsg.*

- Traulz**, *Nitriilverb.* : 174 (id., mèches à la dynamite).
Breithaupt, *Entwicklungsg.* : (id., fusées fusantes, *Armstrong, Bormann, Bozer, Lenk, Moorsom, Breithaupt, Meyer, etc.*)
Dingler : 201, 95 (id., fusées percutantes prussiennes); 180, 118 (id., fusées électriques, *Gaiffe et Comte*); 176, 210 (id., id., *Stateham*); 186, 419 (id., id., *Abel*); 206, 190 (id., id., *Mowbray*); 186, 331 (id., id., *Ebner*); 146, 37 u. 195 (id., id., *Ebner*, premier système); 168, 343 (id., id., *Bornhardt*).
Mittheil., 1871 : 9^{me} Heft (id., id., *Abegg*).

Artifices divers.

ARTIFICES DIVERS.

- Production de lumière. **Busch und Hoffmann**, *Kriegsfeuerw.* : 393 (feux colorés, pyrotechnie militaire).
Polyt. Centralbl., 1850 : 1405 (id., artifices de joie et feux du Bengale, *Winkelblech*); 1851 : 107 (id., id., id.).
Dingler : 189, 235, 199, 77 u. 201, 178 (id., feux du Bengale).
Journ. f. prakt. Chem. : 55, 250 (id., id.).
Dingler : 205, 577 (id., id., *Holtz*); 173, 411 (id., torches du Bengale, *Thenius*).
Hartmann, *Zeitschrift für Pyrotechniker aller Art* : 3, 1. Lief. (théorie des feux colorés, *Winkelblech*).
Rev. de technol. milit. : 1, 577 (id., id.).
Jahresber., 1862 : 280 (feux divers, *Uhdén*).
Dingler : 192, 67 (id., *Désignolle*); 194, 499 (id., *Brugère*).
Ann. Chem. Pharm. : 120, 347 (id., colorations mélangées, *Field*).
Deutsche Ind.-Zeitg., 1865 : 48 (id., bâtons-fusés du Japon).
- Production de gaz. **Busch und Hoffmann**, *Kriegsfeuerw.* : 384 (fusées volantes prussiennes).
Vergnaud, *Man. de l'artif.* : 1, 305 (id., françaises).
Archiv : 21, 164 (id., id.).
Revue : 1, 364 (expériences sur les fusées de guerre); 5, 477 (id.); 9, 79 (id.); 10, 453, 549 (id.); 11, 89, 90, 187 (id.); 12, 82, 88, 389, 190, 191 (id.).
Jahresber., 1857 : 133 (extincteurs, *Bucher*, d'après *Wittstein*); 1858 : 171 (id., d'après *Schweizer*); 1859 : 186 (id., id., d'après *Heeren*); 1865 : 315 (id., *Zeisler*); 1863 : 318 (id., incendie); 1859 : 186 (id., usage, *Heeren*).
Dingler : 180, 199 (id., acide tartrique et bicarbonate de soude, *Cartier*).
Deutsche Ind.-Zeitg., 1867 : 118 u. 178 (id., carbonate de chaux et acide sulfurique).
Dingler : 150, 317 u. 160, 114 (id., autres compositions); 190, 306 (feux liquides, *Fleck*); 201, 54 (id., *Springmühl*); 202, 538 (id., *Reiche*); 178, 279 (id., *Darapsky*).
Mémoires de l'Académie de Stanislas, 1869 : 156 (id., *Niklès*).
Jahresber., 1869 : 268 (id., id.); 1871 : 311 (id., *Guyot*).
Compt. rend. : 72 (id., id.).
Dingler : 206, 78 (id., id.).
Deutsche Ind.-Zeitg., 1867 : 36 (id., *Sophonius*).

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES MATIÈRES.

A

- Abel* (Poudre d') : 740 (1).
Accélérographe : 587, 590.
Accéléromètre : 585, 590.
Acétate de soude : mélange détonant, 620.
Acide carbazotique : v. Acide picrique et picrates.
Acide nitrique : dosage, 90.
Acide picrique et picrates : généralités, 735; — poudres à l'acide picrique, 736
— au picrate de potasse, 737; — au picrate d'ammoniaque, 739.
Active (Dynamites à base) : v. Dynamites.
Agglomérées (Poudres) : 280, 367.
Air (Manomètre à) : 572.
Air chauffé directement (Séchage à l') : 298.
Air froid (Séchage à l') : 311.
Alcolen : 637.
Alcool (Densité à l') : 395.
Allemandes (Poudres) : ordinaires, 369; — à gros grains, 357.
Américaines (Poudres) : à gros grains, 344, 355, 362.
Amidon (Pyroxyle à base d') : 669.
Ammoniakkrut : 721.
Ammoniaque (Dynamite à l') : 721.
Amorçage et cartouchage : coton-poudre, 654; — nitroglycérine, 694; — dynamites à base inerte, 709.
Amorces : fulminantes, 654, 695, 711; — à percussion, 756; — à friction, 777.
Analyse chimique : nitrate de soude brut, 50; — chlorure de potassium et potasses du commerce, 65; — salpêtre brut, 95; — soufre brut, 137; — charbons distillés, 158, 184, 195; — poudre, 427; — coton-poudre, 638; — nitroglycérine, 688; — dynamites, 704; — compositions d'artifices, 808.
Anglaises (Poudres) : ordinaires, 371; — à gros grains, 345, 360.

(1) 740 = page 740.

Aniline fulminante : 741.

Appareil à circulation continue du calorique : 199.

Appareils : travail, 373 ; — débits et rendements, 374.

Appareils : matériaux salpêtrés, 37 ; — nitrate de soude, 47 ; — chlorure de potassium, 57 ; — salpêtre, 76, 101 ; — soufre, 126, 139 ; — charbon, 164 ; — pilons, 213 ; marteaux, 216 ; — meules, 217 ; — tonnes de trituration, 233 ; — humectage, 251 ; — concassage, 252 ; — presses, 253 ; — grenoirs, 267 ; — tonne de granulation, 280 ; — lissage, 289 ; — séchage, 306 ; — mélange, 319 ; — emballage et empaquetage, 322 ; — gravimètres, 391 ; — voluménomètres et stéréomètres, 394 ; — densimètres, 395 ; — éprouvettes, 516 ; — appareils électro-balistiques, 532 ; — mesure des pressions, 562, 576 ; — coton-poudre, 632 ; — nitroglycérine, 677 ; — dynamites à base inerte, 700 ; — capsules, 757, 764, 776 ; — fusées et artifices, 782, 790.

Artifices : v. Fusées et artifices.

Artificiel (Séchage) : 298.

Artificielles (Nitrières) : 34.

Aspect extérieur de la poudre : 386.

Assortissage : 317.

Assortissage préalable : 287.

Autrichiennes (Poudres) : ordinaires, 370 ; — à gros grains, 353.

Avariées (Poudres) : lessivage, 112.

B

Balances manométriques : 572.

Balistiques (Effets) de la poudre : mesure des vitesses, portées et réactions, 516 ; mesure des pressions, 560.

Balistiques (Pendules) : 528.

Balles : à feu, 791, 804 ; — luisantes, 792 ; — à fumée, 804.

Barytiques (Poudres) : 606, 610.

Bassins à éteindre le feu : 805.

Bâtiments : poudre, 380 ; — nitroglycérine et dynamites, 729.

Bâtons-fusées : 799.

Belges (Poudres) : ordinaires, 371 ; — à gros grains, 347, 362.

Bengale : feux, 793 ; — torches, 796.

Berthollet (Argent fulminant de) : 749.

Blanche (Dynamite) : 702.

Blanches (Poudres) : 614, 667, 669.

Bois : propriétés, 148 ; — carbonisation, 153, 164.

Bois (Pyroxyles à base de) : 667.

Bottes à éteindre le feu : 804.

Bombes incendiaires : 806.

Boulets incendiaires : 806.

Brugère (Poudre de) : 740.

Brugnatelli (Argent fulminant de) : 749.

C

Cakes perforées (Poudres) : 355.

Calcaroni : 128.

Caliche : 46.

- Calorifère* : 308.
Calorimètres : 477.
Canon (Poudres à) : 364-373.
Canon-pendule : 528.
Caoutchouc (Poudres moulées au) : 362.
Capsules : v. Percussion (Amorces de).
Caractéristiques d'une poudre : 509.
Carbazotique (Acide) : 735, 736.
Carbonate de potasse : préparation, 64.
Carbonisation : théorie, 155 ; — procédés, 164
Carnallite : 55.
Cartouchage : v. Amorçage et cartouchage.
Cartouches à chevrotines : 340.
Cartouches comprimées : 337.
Cascades : 799.
Cassette : 351.
Castan (Poudre) : 352.
Cendres des plantes : 60.
Chaleur de combustion : 477.
Champy (Tonne de) : 280.
Charbon (Dynamite à base de) : 719.
Charbon (Dynamite au) : 720.
Charbons : propriétés, 155, 184, 195 ; — préparation, 164 ; — dosage, 437.
Charges comprimées : 337.
Chasse (Poudres de) : 208, 366, 370.
Chaudières (carbonisation) : 167.
Chaufferie : 308.
Chili (Salpêtre du) : v. Nitrate de soude.
Chimique (Analyse) : v. Analyse chimique.
Chimiques (Propriétés) de la poudre : analyse quantitative, 427.
Chlorate de potasse (Poudres au) : 612.
Chloratés (Poudres) : 611.
Chlorure de potassium : propriétés, 53 ; — extraction, 54 ; — épreuves, 65.
Chlorure de sodium : 17, 53.
Chlorures : de Stassfurt, 54 ; — de l'eau de mer, 59 ; — des sargasses, 59.
Chronographes : 533, 535, 549, 552, 555.
Chronoscope : 533.
Circulation continue du calorifique (Appareil à) : 199.
Clairçage (Méthode du) : 85.
Clepsydre électrique : 545.
Collodion : 663.
Cologne (Poudre de) : 721.
Coloniapulver : 721.
Colorations mélangées : 797.
Colorés (Feux) : 792.
Combustants (Mixtes) : 807.
Combustion : circonstances, 453 ; — vitesse, 453 ; — produits, 460 ; — chaleur, 477 ; — température, 482 ; — théorie, 485.
Commerce extérieur (Poudres de) : 368.
Comparaison : modes de galetage, 264 ; — modes de fabrication, 262 ; — modes de grenage, 283 ; — modes de lissage, 294 ; — dynamite et colon-poudre, 717.

- Compensating powder* : 355.
Compositions doubles : 799.
Compositions fondamentales : préparation, 780; — propriétés, 781.
Comprimé (Coton-poudre) : 632.
Comprimées (Charges) : 337.
Concassage : appareils, 252.
Conservation : coton-poudre, 659; — nitroglycérine et dynamites, 731.
Consommation : poudres, 376; — coton-poudre, 662; — nitroglycérine et dynamites, 732.
Constitution chimique : coton-poudre, 641; — nitromannite, 672; — nitroglycérine, 688; — acide picrique, 735; — fulminates, 746, 750.
Construction des bâtiments d'une poudrerie : 380.
Corde à feu : 785.
Cornets à amorce : 750.
Corps explosifs : historique, 597; — dérivés de la poudre ordinaire, 599; — dérivés des matières organiques, 621.
Coton fulminant : v. Coton-poudre.
Coton-poudre : historique, 623; — fabrication, 626; — propriétés, 636; — usages, 649; — généralités, 659.
Coton-poudre (Dynamites au) : 725.
Coton-poudre comprimé : 632.
Coton-poudre nitraté : 634.
Crémaillère (Éprouvette à) : 523.
Crusher : 569.
Coup-de-poing Bréguet : 451.
Cylindres de carbonisation : fixes, 169; — mobiles, 177; — vapeur surchauffée, 191.
Cylindres (Grenoirs à) : 274.
Cylindres (Presses à) : 260.
Cylindres incendiaires : 806.
Cylindriques (Poudres) : 360.

D

- Débts des appareils* : 374.
Décomposition (Théorie de la) de la poudre : 485.
Décomposition spontanée : coton-poudre, 641; — dynamite, 689, 704, 709.
Découverte : v. Historique.
Densimètres : 389, 392.
Densité de la poudre : gravimétrique, 389; — réelle, 392; — généralités, 417.
Dépôts : v. Gisements.
Dés (Poudre à) : 351.
Désignolle (Poudres de) : 738.
Désinfection (Fusées de) : 804.
Détermination des éléments de la poudre : isolée, 429; — simultanée, 441.
Détonante (Huile) : v. Nitroglycérine.
Détonation : 494.
Diazotées (Substances) : 741.
Dissociation : 502.
Dosage : du salpêtre, 85; — du nitrate de soude, 114; — des éléments de la poudre, 427 (eau, 428; salpêtre, 429; soufre, 432; charbon, 437), 441.

- Dosage** des différentes poudres : guerre, 205; — chasse, 208; — mine, 209.
Doubles (Compositions) : 799.
Dualines : 726.
Durée des réactions : 500.
Dureté des grains : 387.
Dynamique (Méthode) : mesure des pressions, 576.
Dynamital (Lithofacteur) : 669.
Dynamite gelée : 703, 711.
Dynamite-gomme : 728.
Dynamites : I. à base inerte : préparation, 699; — propriétés, 703; — usages, 709. —
 II. à base active : à base de charbon, 719; — à base de poudre ordinaire ou de ses dérivées, 720; — à base de pyroxyles, 725. — Généralités, 729.
Dynamites : blanche, 702; — grise, 721; — noire, 719; — rouge, 702; — au charbon, 720; — de Nobel, 700, 720, 726; — de Vonges, 700; — de Paulilles, 702, 721; — à l'ammoniaque, 721; — de Horsley, 722; — au coton-poudre, 725; — à la sciure de bois, 726.
Dynamomètre à ressort : 571.
Dynamométrique (Éprouvette) : 532.

E

- Eau chaude** (Séchage à l') : 299.
Eau de mer (Chlorure de l') : 59.
Eau saturée (Densité à l') : 395.
Eaux de cuites : traitement, 110.
Écureuil : 272.
Égalisage : 317.
Électriques (Enregistreurs) : 558, 593.
Électriques (Fusées) : 789.
Électro-balistiques (Appareils) : 532.
Emballage : coton-poudre, 659; — nitroglycérine et dynamites, 731.
Embarillage : 322.
Emmagasinage : 329.
Empaquetage : 322.
Encaissage : 322.
Enregistreur à indications continues : 581.
Enregistreurs électriques : 558, 593.
Époussetage : 313.
Époussetage préalable : 287.
Épreuves : nitrate de soude brut, 50; — chlorure de potassium et potasses du commerce, 63; — salpêtre brut, 84; — salpêtre raffiné, 112; — soufre brut, 137; — soufre raffiné, 146; — roulement, 332; — dureté, 387; — densité, 389; — humidité et hygrométrie, 424; — coton-poudre, 660.
Éprouvettes : à main, 521; — pistolet, 522; — à crémaillère, 523; — à levier, 527; — hydrostatique, 530; — dynamométrique, 532.
Éprouvettes : ordinaires, 516; — à ressort, 521; — à poids, 523; — à réaction, 527.
Espagnoles (Poudres) : ordinaires, 372.
Essence de térébenthine (Densité à l') : 394.
Essorage : 285.
Étincelles (Feux d') : 800.

- Étoiles** : ordinaires, 795 ; — fixes, 799 ; — cubiques, moulées et détonantes, 802.
Étoupilles : 782.
Étuves : 310.
Éventails : 799.
Expériences : inflammation de la poudre, 449 ; — combustion de la poudre, 453 ; — potentiel, 490 ; — force, 494 ; — pressions en vase clos, 503 ; — portées et réactions, 516 ; — vitesses, 532 ; — pressions, 562, 576 ; — coton-poudre, 649, 653 ; — nitroglycérine, 695 ; — dynamites à base inerte, 712.
Exploseur magnéto-électrique de Bréguet : 451.
Explosifs (Corps) : v. Corps explosifs.
Explosion (Ordres d') : 494.
Explosive (Gomme) : 728.
Extincteurs : 804.
Extraction : salpêtre brut, 23 ; — nitrate de soude brut, 44 ; — chlorure de potassium brut, 54 ; — soufre brut, 120.

F

- Fabrication** : potasses du commerce, 60 ; — carbonate de potasse pur et potasse caustique, 64 ; — salpêtre, 75 ; — charbon, 164 ; — poudre, 211, 364 ; — coton-poudre, 626 ; — nitroglycérine, 676 ; — dynamites à base inerte, 699 ; — fulminate de mercure, 743 ; — fulminate d'argent et or fulminant, 749 ; — compositions fondamentales, 780.
Fahneljelm (Dynamite de) : 720.
Fénian (Feu) : 807.
Feux : grégois, 733 ; — de conserve, 792 ; — indiens, 792 ; — colorés, 792 ; — du Bengale, 795 ; — d'étincelles, 798 ; — liquides, 807 ; — fénian, 807 ; — lorrain, 807.
Flambeau de conserve : 792.
Fondamentales (Compositions) : 780.
Fontaine (Poudres de) : 739.
Force : généralités, 492 ; — détermination expérimentale, 494 ; — détermination théorique, 496.
Forces relatives : 495, 497, 733.
Formation : de la galette, 212 ; — du grain, 264.
Formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes, 508.
Fosses (carbonisation) : 165.
Fours (carbonisation) : 166.
Françaises (Poudres) : ordinaires, 364 ; — à gros grains, 349. — V. Guerre, Canon. Fusil, Chasse, Mine, Commerce extérieur, Cartouches comprimées, Gros grains.
Friction (Amorces à) : 777.
Fulmicoton : v. Coton-poudre.
Fulminant (Argent) : de Brugnatelli ou de Howard, 749 ; — de Berthollet, 749.
Fulminant (Coton) : v. Coton-poudre.
Fulminant (Mercure) : fabrication, 743 ; — propriétés, 746 ; — usages, 747.
Fulminant (Or) : 749.
Fulminant (Papier) : 667.
Fulminante (Aniline) : 741.
Fulminante (Poudre) de Berthollet : 612.
Fulminantes (Amorces) : v. Amorces.
Fulminants (Bonbons) : 750.

Fulminants (Pois) : 750.

Fulminates : de mercure, 743 ; — d'argent, 748.

Fulminatine : 728.

Fusantes (Fusées) : 787.

Fusées : fusantes (à temps, réglées), 787 ; — percutantes, 788 ; — électriques, 789 ; — lumineuses, 791 ; — d'honneur ou en brillants, 798 ; — volantes, 800 ; — de signaux et de réjouissance, 800 ; — de bouée de sauvetage, 803 ; — à ancre, 804 ; — de désinfection, 804 ; — incendiaires à la Congrève, 806.

Fusées et artifices : de mise de feu, 782 ; — production de lumière, 791 ; — production de gaz, 799 ; — production de flamme, 803 ; — analyse chimique, 808.

Fusil (Poudres à) : 364-372.

Fusil d'infanterie : épreuve de percussion, 321.

Fusil-pendule : 528.

Fusils à aiguille (Capsules des) : 774.

Fusion (Méthode de la) : 87.

G

Galetage : séparé, 251 ; — avec mélange, 240, 243 ; — avec trituration et mélange, 216, 230 ; — comparaison, 261.

Galette : formation, 212 ; — grenage, 267.

Gallique (Poudre) : 618.

Galvanomètre : 534.

Gelée (Dynamite) : 703, 711.

Généralités : salpêtre, 15 ; — soufre, 118 ; — bois et charbons, 147 ; — galetage, 261 ; — formation de la galette, 262 ; — formation du grain, 282 ; — lissage, 294 ; — fabrication de la poudre, 364 ; — densité de la poudre, 417 ; — humidité et hygrométrie de la poudre, 420 ; — dosage de l'humidité, 427 ; — force de la poudre, 492 ; — pression des gaz, 500 ; — poudres nitrées, 603 ; — poudres chloratées, 611 ; — fabrication du coton-poudre, 626 ; — coton-poudre, 639 ; — fabrication de la nitroglycérine, 675 ; — nitroglycérine et dynamites, 729 ; — acide picrique et picrates, 735.

Gisements : salpêtre, 24 ; — nitrate de soude, 45 ; — chlorure de potassium (Stassfurt), 54 ; — soufre, 120.

Gîtes naturels : v. Gisements.

Glonoine : 674.

Glyoxyline : 725.

Gomme explosive : 728.

Granulation : appareil et opération, 280.

Gravimètres : 391.

Gravimétrique (Densité) de la poudre : 389.

Grenage : poudres ordinaires, 267 ; — poudres ordinaires à gros grains, 344 ; — poudres moulées, 355 ; — comparaison, 283.

Grenoirs : à retour, 267 ; — à cylindres, 274.

Grise (Dynamite) : 721.

Grise (Matière) : 780.

Gros grains (Poudres à) : ordinaires, 344 ; — moulées, 355.

Grosseur des grains : 387.

Guerre (Poudres de) : ordinaires, 208, 364, 369, 370, 371, 372 ; — à gros grains. 208, 344, 355.

H

- Haloxyline** : 602.
Helmholtz (Théorème de) : 480.
Hercule (Poudre d') : 721.
Hexagonale (Poudre) : 362.
Historique : poudre, 3; — salpêtre, 15; — grenage de la poudre, 264; — pyroxyles, 597; — pyroxyles, 623; — nitroglycérine et dynamites, 674; — pyroxyles, 722.
Horsley (Dynamite de) : 722.
Howard (Argent fulminant de) : 749.
Huile détonante : v. Nitroglycérine.
Humectage : appareils, 251.
Humidité de la poudre : généralités, 420; — épreuves, 424; — dosage, 427.
Hydrauliques (Presses) : 254.
Hydrostatique (Densité par la méthode) : 402.
Hydrostatique (Éprouvette) : 530.
Hygrométrie de la poudre : généralités, 420; — épreuves, 424.

I

- Incendiaires** (Boulets, fusées, etc.) : 805, 806.
Incorporation (mélange) : v. Mélange.
Inerte (Dynamites à base) : v. Dynamites.
Inflammation de la poudre : conditions, 445; — vitesse, 449; — procédés, 450.
Inflammation spontanée du charbon : 188.
Ininflammable (Moyen de rendre la poudre) : 327.
Italiennes (Poudres) : ordinaires, 372; — à gros grains, 351, 353.

J

- Jaune** (Poudre) : 669.
Joie (Artifices de) : 794.

K

- Kieselguhr** : 700.
Kieserite : 55.

L

- Laminoirs** : 260.
Lances à feu : 785, 799.
Lardons : 803.
Lessivage : matériaux salpêtrés, 36; — poudres avariées, 112.
Levier (Éprouvette à) : 527.
Liquation (Méthode de la) : 126.
Liquides (Feux) : 807.
Lissage : appareils, 289; — opérations, 291.

H

sage à la vapeur : 422.

ho**r**fracteur : de Newton, 610; — dynamital, 669; — perfectionné, 722.

des pressions en vase clos : 303.

rain (Feu) : 807.

mineuses (Fusées) : 791.

copode (Densité au) : 393.

M

magasins à poudre : 329.

ain (Éprouvette à) : 521.

lammoth (Poudre) : 344.

lanographe : 583.

lanomètre à air : 572.

lanomètre crusher : 569.

lanométriques (Balances) : 572.

Marrons : ordinaire, luisant, 802.

Mariteaux : 216.

Matériaux salpêtrés : lessivage, 36.

Matière grise : 780.

Matières premières : poudre, 15, 118, 147; — coton-poudre, 626; — nitroglycérine, 675; — dynamites à base inerte, 699.

Maximum de chaleur (Principe du) : 480.

Maximum des vitesses : 513.

Mécaniques (Propriétés) de la poudre : inflammation, 445; — combustion, 453; — potentiel, 490; — force, 492; — pression des gaz, 500; — formules des vitesses et des pressions dans les armes, 508.

Mèches : à étoupilles ou à feu, 783; — de communication ou porte-feu, 784; — américaine, 784; — au coton-poudre et à la dynamite, 784; — à canon, 785; — incendiaire, 806.

Mèches et étoupilles : 782.

Mélange : appareils et opérations, 319.

Mélange (incorporation) : séparé, 247, 249; — avec galetage, 240, 243; — avec trituration et galetage, 216, 230.

Mélangées (Colorations) : 797.

Mélange soufre-salpêtre : 780.

Mélasses : 62.

Mercuré (Densité au) : 405.

Mesure des effets balistiques de la poudre : v. Balistiques.

Météore : 802.

Méthode pour la mesure des pressions : statique, 562; — dynamique, 576.

Méthylisation : 698.

Meudon (Appareil de) : 568.

Meules : soufre, 128; — carbonisation, 165; — trituration, 217.

Meules (Travail des) : 225.

Mine (Poudres de) : 209, 367.

Mise de feu (Artifices de) : mèches et étoupilles, 782; — fusées, 786.

Mixtes (Fusées) : 786.

Mixtes comburants : 807.

Modification du dosage (Poudres obtenues par) : Bennet, 600; — Neumeyer, 601; — haloryline, 602.

Mortier-épreuve : 516.
Moulées (Poudres) : 355.
Muriatiques (Poudres) : v. Chloratées.

N

Naturel (Séchage) : 297.
Naturelles (Nitrières) : 29.
Nitramidine : 623.
Nitraté (Coton-poudre) : 654.
Nitrate de baryte (Poudres au) : v. Barytiques.
Nitrate de potasse : v. Salpêtre.
Nitrate de soude : extraction, 44; — épreuves, 50; — dosage, 114; — poudres au nitrate de soude, 606.
Nitratés (Poudres) : au nitrate de soude, 606; — au nitrate de baryte, 610; — généralités, 605.
Nitrières naturelles et artificielles : 27.
Nitrification (Théorie de la) : 18.
Nitriques (Sucre de canne et sucre de lait) : 671.
Nitroglycérine : 689.
Nitroglycérine : historique, 674; — fabrication, 675; — propriétés, 686; — usages, 693; — généralités, 729.
Nitromannite : 672.
Nitromètre : 85.
Nitrosaccharose : 671.
Nobel (Dynamites de) : 700, 720, 726.
Noire (Dynamite) : 719.
Noire (Poudre) : v. Poudres.

O

Obus incendiaires : 806.
Opérations : matériaux salpêtrés, 36; — nitrate de soude, 47; — chlorure de potassium, 57; — salpêtre, 23, 75, 100; — soufre, 126, 138; — charbon, 164; — trituration, 213, 231; — mélange ou incorporation, 213, 240, 246; — galetage, 213, 240, 254; — grenage, 267; — granulation, 280; — lissage, 291; — séchage, 265, 297; — époussetage, assortissage, égalissage, 287, 313; — mélange, 319; — emballage et empaquetage, 322; — emmagasinage, 332; — coton-poudre, 628; — nitroglycérine, 676; — dynamites à base inerte, 699; — fulminates, 743, 749; — amorces, 756, 777; — compositions fondamentales, 780; — fusées et artifices, 782, 790.
Ordinaires (Poudres) : v. Poudres.
Ordres d'explosion : 494.

P

Papier (Pyroxylyte à base de) : 667.
Papier-étoupe : 783.
Papier-poudre : 613.
Paratonnerre : 331.
Pastilles : 773.

Pâte de pulvérin : 782.

Paulilles (Dynamites de) : 702, 721.

Pebble (Poudre) : 345.

Pellet (Poudre) : 360.

Pendules balistiques : 528.

Pendule électro-balistique : 534.

Perchlorate de potasse (Poudres au) : 612.

Percussion (Amorces à) : au fulminate de mercure, 757; — diverscs, 773; — capsules des fusils à aiguille, 774.

Percutantes (Fusées) : 788.

Pétard : 802.

Pétrole : 802.

Physiques (Propriétés) de la poudre : aspect extérieur, 386; — dureté, 387; — grosseur des grains, 387; — densité gravimétrique, 389; — poids spécifiques absolu et relatif, 392; — humidité et hygrométrie, 420; — crassement, 426.

Picrate d'ammoniaque (Poudres au) : 739.

Picrate de potasse (Poudres au) : 737.

Picrates : v. Acide picrique et picrates.

Picrique (Acide) : v. Acide picrique et picrates.

Picrique (Poudre) : 740.

Pilons : 213.

Pistolet (Éprouvette-) : 522.

Plan d'ensemble d'une poudrerie : 379.

Plantes (Cendres des) : 60.

Plate (Poudre) : 352.

Poids (Éprouvettes à) : 523.

Poids spécifiques de la poudre : absolu et relatif, 392.

Poinçon Rodman : primitif, 563; — modifié, 568.

Point de cristallisation (Méthode du) : 87.

Portées : mesure, 516.

Potasse caustique : préparation, 64.

Potasse du commerce : préparation, 60; — éprouves, 65.

Potentiel : 490.

Poudre : dosage, 205; — fabrication, 211; — propriétés, 385; — appareils de mesure des effets balistiques, 515.

Poudre-coton : v. Coton-poudre.

Poudre-gaz : 614.

Poudre ordinaire (Dynamites à base de) : 720.

Poudrerie : plan d'ensemble, 379; — bâtiments, 380.

Poudres : ordinaires, 364; — à gros grains, 342; — agglomérées, 280, 367; — françaises, 349, 364; — anglaises, 345, 360, 371; — américaines, 344, 355, 362; — allemandes, 357, 369; — autrichiennes, 353, 370; — russes, 357, 370; — belges, 347, 362, 371; — italiennes, 351, 353, 372; — espagnoles, 372; — suédoise, 353; — nitrates, 605; — chloratées ou muriatiques, 611; — fulminante de Berthollet, 612; — blanches, 614, 667, 669; — gallique, 618; — jaune, 669; — de Cologne, d'Hercule, de Vulcain, 721; — à l'acide picrique et aux picrates, 736, 737, 739. — V. chacun de ces mots.

Poudres avariées : lessivage, 112.

Précautions : poudre, 383; — nitroglycérine et dynamites, 730.

Premières (Matières) : v. **Matières premières**.

Préparation : v. **Fabrication**.

- Presses** : à vis, 253 ; — hydrauliques, 254 ; — à cylindres, 260.
- Pression des gaz** : généralités, 500 ; — loi des pressions en vase clos, 503 ; — formule pratique, 509 ; — mesure, 560.
- Principe du maximum de chaleur** : 480.
- Principes de thermo-chimie** : 480.
- Prismatiques** (Poudres) : 357.
- Prix de revient** : poudres, 375 ; — coton-poudre, 662 ; — nitroglycérine et dynamites, 732.
- Procédés de carbonisation** : v. Systèmes.
- Production** : poudres, 376 ; — coton-poudre, 662 ; — nitroglycérine et dynamites, 732
- Produits de la combustion** : poudre, 460.
- Progressives** (Poudres) : 353.
- Propagation de l'inflammation** : 501.
- Propriétés** : salpêtre, 16 ; — nitrate de soude, 44 ; — chlorure de potassium, 53 ; — soufre, 118 ; — diverses essences de bois, 148 ; — charbons des cylindres fixes ou mobiles, 184 ; — charbons distillés à la vapeur, 195 ; — poudre, 385 (physiques, 386 ; chimiques, 427 ; mécaniques, 445) ; — coton-poudre, 636 ; — nitroglycérine, 686 ; — dynamites à base inerte, 703 ; — acide picrique et picrates, 737 ; — fulminate de mercure, 746 ; — fulminate d'argent et or fulminant, 750 ; — compositions fondamentales, 781.
- Pudrolithe** : 607.
- Puissance relative** : 495, 497, 733.
- Pyroglycérine** : v. Nitroglycérine.
- Pyrolithe** : 606.
- Pyronone** : 608.
- Pyropapier** : 667.
- Pyrotechnie** : historique, 753 ; — amorces à percussion et à friction, 756 ; — fusées et artifices, 779.
- Pyroxylam** : 670.
- Pyroxyle** : v. Coton-poudre.
- Pyroxyles** : historique, 623 ; — coton-poudre, 626 ; — collodion, 663 ; — à base de papier, 667 ; — à base de bois, 667 ; — à base d'amidon, 669.
- Pyroxyles** (Dynamites à base de) : 725.
- Pyroxylol** : v. Pyroxyle.

Q

Quantitative (Analyse) : v. Analyse chimique.

R

- Raffinage** : du salpêtre, 100 ; — du soufre, 138.
- Réaction** (Éprouvettes à) : 527.
- Réactions des gaz** : mesure, 516.
- Réglées** (Fusées) : 787.
- Réjouissance** (Fusées de) : 800.
- Relatives** (Forces) : 495, 497, 733.
- Remplacement** (Poudres obtenues par) : du salpêtre, 604 ; — du soufre, 619 ; — du charbon, 619.

Rendements des appareils : 374.
Résidus salpêtrés : traitement, 111.
Ressort (Dynamomètre à) : 571.
Ressort (Éprouvette à) : 521.
Retour (Grenoirs à) : 267.
Roche à feu : 792, 806.
Rockets à boulets : 806.
Rodman (Poinçon) : 563.
Rondelles de Reffye : 340.
Rouge (Dynamite) : 702.
Roulement (Épreuves de) : 332.
Russes (Poudres) : ordinaires, 370; — à gros grains, 357.

S

Salpêtre : historique, 15; — propriétés, 16; — nitrification, 18; — extraction, 23; — fabrication, 75; — épreuves du salpêtre brut, 84; — raffinage, 100; — épreuves du salpêtre raffiné, 112; — dosage, 429.
Salpêtrés : matériaux, 36; — résidus, 111.
Sauvesson : 802.
Sauvetage (Fusées de) : 803.
Saxifragine : 610.
Schaghticoke cubical : 355.
Sciure de bois (Dynamites à la) : 726.
Sébastine : 720.
Séchage : naturel, 297; — à l'air chauffé directement, 298; — à la vapeur ou à l'eau chaude, 299; — à l'air froid, 311; — dans le vide, 312.
Séchage préalable : 285.
Sécheries : appareils, 306; — travail, 300.
Sel marin : 17, 33.
Sels de cuite : lavage, 78; — épreuves, 79.
Sérarine : 722.
Serpenteaux : 802.
Signaux (Fusées de) : 800.
Silicatisation : 632.
Soleils : 799.
Solfatares : 124.
Soufre : propriétés, 118; — extraction, 120; — épreuves du soufre brut, 137; — raffinage, 138; — épreuves du soufre raffiné, 146; — dosage, 432.
Soufre-salpêtre : 780.
Spécifiques (Poids) : v. Poids spécifiques.
Spontanée (Décomposition) : v. Décomposition spontanée.
Spontanée (Inflammation) du charbon : 188.
Stassfurt (Gisements de) : 54.
Statique (Méthode) : mesure des pressions, 562.
Stéromètres : 394.
Sublimation (Méthode de) : 133.
Sucre (Corps explosifs dérivés du) : sucre de canne, 671; — sucre de lait, 672; — mannite, 672.
Suédoise (Poudre) : à gros grains, 353.

- Suint des moutons* : 63.
Suppression (Poudres obtenues par) du soufre : 619.
Synchrones (Théorie des vibrations) : 644.
Systèmes de carbonisation : meules, fosses, 163 ; — fours, 166 ; — chaudières, 167 ; — danois, 168 ; — cylindres fixes, 169 ; — cylindres mobiles, 177 ; — vapeur d'eau surchauffée, 191.

T

- Tableau d'ensemble** de la fabrication de la poudre : 364.
Tables de séchage : naturel, 297 ; — artificiel, 306.
Tachhydrite : 53.
Tagliadadi : 352.
Talamoni : traitement, 134.
Température de combustion : 482.
Temps (Fusées à) : 787.
Térébenthine (Densité à l'essence de) : 394.
Théorème de Helmholtz : 480.
Théorie : de la nitrification, 18 ; — de la carbonisation, 155 ; — de la décomposition de la poudre, 485 ; — des vibrations synchrones, 644.
Thermo-chimie (Principes de) : 480.
Tonne de granulation ou *de Champy* : 280.
Tonne-grenoir : 272.
Tonnes de lissage : 289.
Tonnes de mélange : 247.
Tonnes de trituration : 233.
Torches du Bengale : 796.
Transports : poudre, 334 ; — coton-poudre, 659 ; — nitroglycérine et dynamites, 731.
Traulz (Dynamite de) : 725.
Travail : des meules, 225 ; — des sécheries, 300 ; — des appareils de fabrication, 373 ; — des substances explosives, 490.
Trituration : séparée, 232, 233, 237 ; — avec mélange et galetage, 216, 230.
Tubes : à feu, 786 ; — à bombes, 792.
Tuyaux d'amorce : 784.

U

- Usages** : poudres, 376 ; — coton-poudre, 649 ; — nitroglycérine, 693 ; — dynamites à base inerte, 709 ; — fulminate de mercure, 747 ; — fulminate d'argent et or fulminant, 750.
Usines à poudre : construction, 380.

V

- Vapeur* (Lissage à la) : 422.
Vapeur (Séchage à la) : 299.
Vapeur d'eau surchauffée (Carbonisation par la) : 19' .
Varechs (Chlorure des) : 59.
Vélocimètre : 592.
Ventilateur : 308, 305.

Vibrations synchrones (Théorie des) : 644.

Vide (Séchage dans le) : 312.

Vinasses : 62.

Vis (Presses à) : 253.

Vitesse : d'inflammation, 449; — de combustion, 453; — dans les armes, 508.

Vitesses : formules, 508; — maximum, 513; — mesure, 516.

Volantes (Fusées) : 800.

Voluménomètres : 394.

Vonges (Dynamites de) : 700.

Vulcain (Poudre de) : 721.

W

Wetteren (Poudres de) : 347.

X

Xyloïdine : 623, 670.

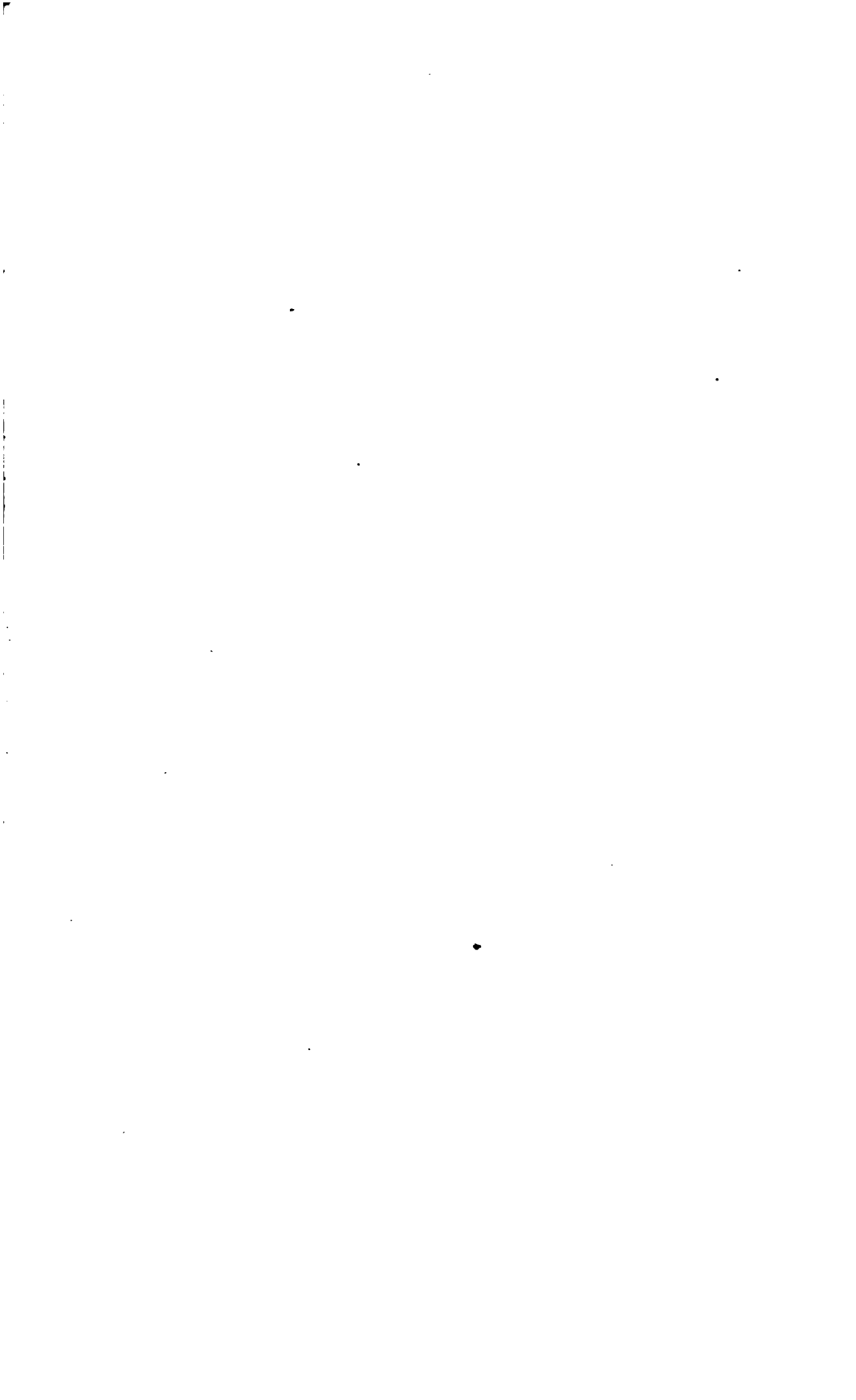


TABLE ALPHABÉTIQUE

DES AUTEURS.

A

Abegg : III, 790 ⁽¹⁾.
ABEL : I, 91, 93, 423, 438, 473, 474, 475, 476, 480, 483, 484, 485, 487, 488, 489, 491, 492, 497, 499, 506, 507, 571, 579, 580, 581; — II, 606, 625, 626, 628, 632, 636, 637, 639, 640, 642, 643, 644, 645, 646, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 725, 739, 740, 741, 748; — III, 773, 774, 789.
Achleitner : III, 774.
Agricola : I, 16.
Albert-le-Grand : I, 9, 10.
Alexandre-le-Grand : I, 6.
Altiral : I, 12.
Anderson (John) : I, 360.
Anklitzen : I, 12.
Anthon : I, 45, 73, 74, 79, 115, 116.
Antoni (Papacino d') : I, 457.
Apollonius de Thyane : I, 6.
Arcy (d') : I, 528, 576, 579.
Armstrong : I, 345; — III, 774, 778.
Arnall : III, 782.
Aubert : I, 190, 445.
Augendre : II, 614, 615, 616, 617, 706.

B

Bacon (Roger) : I, 9, 10, 11.
Balard : I, 59, 71.
Barbe : II, 702, 713.

Barthélemy de Drach : I, 13.
Bashforth : I, 549, 552.
Beaumé : I, 100, 438.
Béchamp : II, 641, 663.
Becker : I, 431.
Beckerhinn : II, 638, 688, 689, 722, 734.
Behrens : I, 33.
Bennet : II, 600.
Bérard : II, 626.
BERTHELOT : I, 204, 480, 481, 486, 487, 489, 497, 500, 502; — II, 605, 611, 647, 648, 692, 693, 737.
Berthollet : II, 612, 749, 750.
Bertram : II, 676.
Berzélius : I, 433; — II, 743, 746.
Bianchi : I, 405, 411, 414, 416, 457; — II, 646.
Bickford : I, 451.
Biringuccio : I, 217, 265.
Bischof (F.) : I, 55.
Blake : I, 47.
Bleekrode : II, 643.
Bley : II, 627.
Blondeau : II, 641.
Bloxam : I, 91, 93.
Boillot : I, 206, 265.
Bolley : I, 80, 116, 439; — II, 705; — III, 808.
Borlinetto : II, 736.
Bornhardt : III, 790.
Bosani : I, 258.
Bothe : I, 405, 407.
BOTTÉE : I, 85, 218, 436, 531.

(1) III, 790 = troisième partie, page 790.

- Böttger* : I, 19; — II, 610, 624, 625, 628, 657.
 BOULENGÉ (LE) : I, 535, 540, 541, 544, 547, 548, 549, 571, 572, 583, 584.
Boutmy (H.) : II, 684.
Bowman : II, 657.
Boxer : I, 340.
Braconnot : II, 623, 669.
Bréguet : I, 451; — III, 790.
Brem : I, 120.
Brettes (Martin de) : I, 533, 549.
Brianchon : I, 394, 461.
Brodie : I, 91, 293.
Bromeis : I, 439.
Brown : I, 338; — II, 642.
Brugère : II, 739, 740; — III, 797.
Brugnatelli : II, 749.
Bry (de) : I, 206.
Bucher : III, 804.
Budenberg : II, 607.
 RUNSEN : I, 17, 125, 462, 464, 565, 467, 471, 472, 474, 479, 483, 484, 486; — II, 615, 740.
- C
- Caldwell* : II, 654; — III, 779.
Callerström : III, 77R.
Callinique : III, 753.
Callou : II, 618.
Capitaine (F.) : II, 683, 740, 739.
Carnot : I, 68.
Carny : I, 233.
Caro : II, 741.
Castan : I, 343, 344, 352, 460.
Castellaz : II, 735.
Cavalli : I, 577, 578, 579.
Cavendish : I, 18.
Champion : I, 446, 447; — II, 645, 681, 682, 691, 747.
 CHAMPY : I, 236, 252, 280, 490; — II, 609.
Cham-Ti : I, 4.
Chandelon : II, 743, 744.
Chaptal : I, 232, 233.
Chevalier : II, 745.
Chevreur : I, 461, 462, 486; — II, 675.
Clarke : III, 781.
Claudien : III, 753.
Clément : I, 143.
Cloez : I, 20, 437.
Closse : II, 714.
- Cnutberg* : I, 217.
Coleman : I, 169.
Colson : I, 259.
Colson : I, 524, 526.
Combes : I, 122; — II, 654.
Comte : III, 789.
Congrève : I, 249, 274; — III, 806.
Cossigny : I, 232, 246.
Court : I, 141, 143.
Coxthupe : I, 494; — II, 654.
Craig : I, 469, 470; — II, 605.
Crookes : III, 797.
Crum (W.) : II, 629, 638, 639.
Crusius (Martin) : I, 10.
Curtis : II, 734.
- D
- Dale* : II, 605.
Darapsky : II, 669; — III, 775, 807.
Davey : II, 608.
Davies : I, 191.
Davy : I, 24, 25, 26.
Dawson : II, 664.
Déjardin : I, 141, 143.
 DEPREZ (MARCEL) : I, 555, 558, 572, 576, 584.
Désignolle : II, 733, 737, 738, 739; — III, 797.
Desparcieux : I, 232.
Deville (H. St-Claire) : I, 144, 479.
Dingler : III, 757.
Dittmar : II, 726, 727.
Domonte (Flores) : II, 663.
Doremus : I, 338, 339.
Dubocq : I, 122.
Dufour : I, 459.
Dullo : I, 114.
Dumas : I, 22, 28, 118, 119; — II, 623.
Dupont : I, 526.
Dupont de Nemours : I, 343, 362.
- E
- Eaton* : II, 607.
Ebner : III, 790.
Ehrhardt : II, 613.
Ellet : I, 24.
Esseleens : I, 72, 73, 74.
- F
- Fadéieff* : I, 327, 328.
Fahneljelm : II, 720.

Faucher (E.) : I, 225, 226, 228, 229.
Faucher (L.) : II, 684.
Favé : I, 7, 9.
Federow : I, 470, 489.
Fehleisen : II, 602.
Fehling : I, 53, 84; — II, 638, 639.
Feissat : I, 139.
Ferry (le P.) : I, 217.
Field : III, 797.
Fleck : III, 807.
Fleischer : I, 7, 8.
Fontaine : II, 738, 739.
Forster (M. v.) : II, 682.
Foucault : I, 557.
François I^{er} : III, 754.
Frankland : I, 458.
Frémy : I, 75.
Fresenius : I, 93, 430, 431, 439, 440, 444.
Fronsperger : I, 206.
Fuchs : II, 728.
Furtenbach : I, 298, 323.

G

Gadolin : I, 568.
Gaiffe : III, 789.
Gale : I, 328.
Gaubil : I, 4.
Gaudin : II, 624.
GAY-LUSSAC : I, 17, 23, 53, 71, 73, 85, 90,
 91, 435, 461, 462; — II, 743, 746, 749.
Geber : I, 15.
Gengis-Khan : I, 3.
Gentele : I, 44, 82, 84; — II, 605.
Gerhardt : II, 746.
Gill : I, 132.
Girard : II, 702.
Gladstone : II, 628.
Gobin : II, 715.
Gomez : III, 784.
Goppelsröder : I, 20, 29.
Gossart : I, 92, 199, 202, 203.
Gottlieb : III, 775.
Græcus (Marcus) : I, 9, 10, 11, 15.
Griess : II, 742.
Grüneberg : I, 49, 50, 56, 57, 58.
Guignet : I, 437; — II, 641.
Gutenberg : I, 3.
Guyot (P.) : III, 807.

H

Hadfield : I, 190.
Hadow : II, 639, 640, 641, 664.
Hafenegger : II, 617.
Hahn : II, 617.
Halde (Du) : I, 5.
Halhed : I, 6.
Hall : II, 653.
Hämmerlein : I, 12.
Hare : I, 449.
Harscher : I, 213.
Hartmann : II, 650.
Harvey : II, 734.
Hastings (Warren) : I, 6.
Hausmann : II, 735.
Hautefeuille : I, 479.
Hawksbee : I, 461.
Hearder : I, 457.
Hecker : II, 638, 640, 646, 647.
HEEREN : I, 396, 397, 398, 400, 401, 402,
 405, 457; — II, 624, 629, 646, 747; —
 III, 805.
Hélie : I, 552.
Helmholtz : I, 480, 534.
Hermbstädt : I, 434.
Hess : II, 602.
Hipp : I, 533.
Hire (de la) : I, 493.
Hoër : I, 527.
Hoffstetter : I, 49.
Hoffmann : I, 405, 409, 411.
Hofmann (A. W.) : II, 642.
Holtz : III, 796.
Horraks (J. et J. D.) : III, 702.
Horsley : I, 446; — II, 618, 643, 702, 722.
Howard : II, 743, 749.
Hoyer : I, 115.
Hubert (d') : I, 338.
Hudson : II, 616, 617.
Humboldt (Alexandre de) : I, 7.
Huss : I, 87.
Hutton : I, 528.

I

Ibos : II, 717.
Ingenhous : I, 461.

J

Jerlin : I, 214.

Joinville : I, 11.
 Jones : II, 602.
 Josten : III, 757, 759, 762, 765, 769.
 Jouglet : II, 739.

K

Kahl : I, 185, 187, 190, 195, 197, 198.
Karamsin : I, 13.
Karmarsch : II, 624, 629.
 KAROLYI : I, 467, 468, 469; — II, 640, 646, 647.
Karsten : I, 17, 45.
Kayser : I, 90.
Kékulé : II, 743, 746.
Kellow : II, 612.
Kerkhoff : II, 629, 638, 639.
Kerl : I, 214.
Kindt : II, 660.
Kirschhoff : I, 17.
Knaffl : II, 612.
Kneffel : II, 666.
Knop (W.) : II, 624, 629.
Kolb : I, 49.
Kopp (E.) : I, 45, 53, 392, 394; — II, 677, 678.
Kraft : I, 53.
Krebs : II, 722.
Kuhlmann : I, 21, 28, 29, 39, 122.
Kuhn : I, 533.
Kundt : II, 705.
Küp : II, 610.

L

Lambert : I, 49.
Lampadius : I, 455.
Lamy : I, 140, 143, 145.
Landloff : I, 169.
Lannoy : II, 669.
Larcher : II, 706.
Lauer : II, 722.
Lauras : II, 666.
Laurens : I, 191.
Laurent : II, 735.
Laville : I, 313.
Lavoisier : I, 30, 100.
Lebbrecht : I, 362.
Leblanc : I, 64, 65.
Lecanu : I, 49.
Lefebvre : I, 267, 420.
Leithner : I, 124.
Lemery : I, 18.

LENK (von) : II, 625, 626, 630, 632, 640, 642, 650, 652, 653, 658, 659.
Lenssen : I, 93.
Lepage : II, 663.
Lesimple : III, 773.
Leslie : I, 392, 394.
Leygue : I, 446, 447; — II, 691, 747.
L'Hôte : II, 692, 693.
Libri : I, 13.
Liebe : II, 676, 689.
Liebig : II, 743, 744, 746, 749.
Lieke : II, 677.
Liesch : II, 602.
LINCK : I, 428, 434, 441, 442, 466, 486.
Lingke : I, 445.
List : II, 689.
Livingstone : I, 7.
Lombard : I, 505.
Longchamp : I, 17, 21, 41, 43, 75, 90.
Lovel : III, 772.
Löwe : I, 293.
Löwenthal : I, 93.
Löwig : I, 435.
Luca (de) : II, 641, 642.
Luchs : II, 664.
Luckow : II, 723.
Lulle (Raymond) : I, 16.
Lutton : II, 637.

M

Maffio : I, 5.
Maguin : I, 416, 417, 519.
Malleolotus : I, 12.
Mallet : I, 405.
Mann : II, 664, 665.
Marcellin (Ammien) : I, 4; — III, 753.
Marchand : I, 405, 430, 431, 433, 434, 438.
Maria (de) : I, 259.
Marx : I, 45.
Matteen : II, 606, 607.
Maumené : I, 45.
Maurey : II, 629, 630.
MAUROUARD : I, 177, 282.
Mayer : I, 90.
Mayewski : I, 544, 578.
Mayow : I, 18, 461.
Meier : I, 526.
Meissner : I, 19.
Melland : II, 613, 614.
Melsens : I, 343, 477, 532; — II, 630.

Ménard : II, 663.
 Merle : I, 59.
 Meyer : I, 63, 246, 296; — II, 602.
 Michel : I, 53.
 Michel : I, 139.
 Miethen : I, 217.
 Millon : I, 23, 29, 435, 436; — II, 624.
 Millot : II, 702.
 Mills : III, 784.
 Mitchell : I, 458.
 Mohr : I, 51, 72, 73.
 Montluisant (de) : I, 568.
 Montpensier (duc de) : II, 650.
 Morgan : I, 346.
 Morin : I, 116, 117.
 Morin (général) : I, 581.
 MOWBRAY : II, 680, 681, 687, 694; — III, 789.
 Müller : II, 689.
 Munk : I, 218, 220.
 Munke : I, 457.
 Murtineddu : II, 608.

N

NAVEZ : I, 534, 535, 544, 545, 549.
 Neimke : II, 697.
 Neumann : I, 577, 578.
 Neumann (Ph.) : II, 747; — III, 774.
 Neumeyer (G. A.) : II, 601, 602.
 Newton (W.) : I, 330, 461; — II, 610.
 Nicolo : I, 5.
 Nièce : III, 807.
 Niger (Berthold) : I, 12.
 Niklès : III, 807.
 Nisser : II, 614.
 NOBEL (A.) : I, 495; — II, 643, 655, 674, 675, 677, 690, 691, 692, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 703, 707, 712, 713, 720, 721, 722, 726, 728, 731, 732, 733, 734.
 NOBLE : I, 423, 473, 474, 475, 476, 480, 483, 484, 485, 487, 488, 489, 491, 492, 497, 499, 506, 507, 552, 555, 569, 571, 578, 579, 580, 581.
 Nöllner : I, 115.
 Norrbïn : II, 721.

()

Ohlson : II, 721.
 Oppermann : II, 653.
 Osann : I, 45.

Otto : I, 397, 402, 405.
 Otto (de Brunswick) : II, 624, 628.
 Oxland : II, 609.

P

Pagenstecher : I, 74.
 Parry-Signoret : I, 139.
 Paulsen : II, 713.
 Payen : I, 118.
 Pellet : II, 645, 681, 682.
 PELOUZE : I, 29, 92, 93, 94; — II, 622, 623, 626, 629, 638, 639, 640, 651, 669, 674, 675.
 Person : I, 45.
 Persoz : I, 16, 91.
 Pestalozzi : II, 705.
 Peters : I, 53.
 Pettenkofer : II, 641.
 Pichat : I, 326.
 Pinteville de Cussy : I, 121.
 PROBERT : I, 205, 227, 327, 390, 391, 419, 421, 423, 449, 450, 454, 455, 461, 504; — II, 600, 645.
 Pischoff : II, 713.
 Pline : I, 247.
 Plot : I, 10, 11.
 Poch : II, 606, 607.
 Pogonat (Constantin) : III, 753.
 Pohl : II, 614, 615, 616, 617.
 Poleck : I, 472, 473.
 Polo (Marco) : I, 3, 5.
 Porret : II, 646, 647.
 Pothier : I, 569.
 Pouillet : I, 398, 534.
 Präger : II, 676.
 Prechtl : I, 484.
 Prentice : II, 625, 643, 651, 659.
 Prévost (Constant) : I, 121.
 Proust : I, 148, 149, 434.

R

Ragsky : I, 31.
 Redtenbacher : II, 638.
 Reffye (de) : I, 340, 568, 569.
 Regnault : I, 392, 394.
 Régnier : I, 521, 523, 530, 532.
 Reich : I, 92; — III, 774.
 Reichardt (E.) : I, 49.
 Reinaud : I, 7, 8, 9.
 Reindl : II, 653.

Reinsch : 672.
 Reinsch (H. et P.) : I, 114.
 Reuter : II, 629, 638, 639.
 Reveley : II, 617.
 Reynaud : II, 608.
 RICQ : I, 405, 411, 512, 581, 583.
 RIFFAULT : I, 17, 85, 218, 436.
 Rivot : I, 437.
 Roberts : II, 605.
 Robins : I, 461, 493, 529, 576.
 ROMAN : I, 344, 353, 357, 355, 563, 564,
 565, 566, 568, 570.
 ROTX : I, 478, 479, 491, 494, 497, 498; —
 II, 643, 648, 693, 733, 734, 737, 738,
 747.
 Rudberg : II, 678, 697.
 Rudowsky : I, 252.
 Ruggieri : II, 710.
 Rahmkorff : I, 449, 451, 557, 584.
 RUMFORD : I, 503, 504, 505, 506, 507, 562,
 563, 565.

S

Saint Louis : I, 11; — III, 754.
 Saint-Remy : I, 522; — III, 754.
 Saint-Robert (de) : I, 259, 337, 459.
 Saluces : I, 461.
 SARRAU : I, 478, 479, 482, 483, 485, 491,
 494, 496, 497, 498, 499, 505, 506, 508,
 520; — II, 643, 648, 693, 737, 738, 747.
 Say : I, 392, 394.
 Schaal (Adam) : I, 5.
 Schäffer : II, 607.
 Schaffgotsch : I, 16, 45.
 SCHISCHKOFF : I, 462, 464, 465, 479, 483,
 484, 486; — II, 615, 740.
 SCHLOESING : I, 50, 52, 66, 75, 79, 94, 431.
 Schmidt : II, 638, 640, 646, 647.
 Schneider : II, 638.
 Schnitzer : I, 84.
 SCHÖNBEIN : I, 18, 19, 20, 22; — II, 623,
 624, 625, 626, 628, 638, 671.
 Schreiber : I, 493.
 Schrötter : II, 638.
 Schuchardt : II, 686, 687.
 Schultz : I, 535, 538, 576, 587.
 Schultze (E.) : II, 667, 668, 669, 726, 728.
 Schwartz : I, 49, 84.
 Schwartz (Berthold) : I, 9, 11, 12.
 Schwartz (G.) : I, 87.

Schwarz : II, 607, 704.
 SÉBERT (H.) : I, 555, 561, 566, 584, 585,
 590, 592.
 Séguier : II, 650, 651, 652.
 Sérulas : I, 74, 75.
 Severinus : I, 12.
 Sewal (H.) : I, 124.
 Shaem (W.) : II, 728.
 Sharp : II, 613.
 Shaw : II, 617.
 Short : II, 612.
 Siemens : I, 533.
 Simienowicz : I, 246.
 Sivori : I, 77.
 Smith : II, 613.
 Smith (G.) : I, 48.
 Sobrero (A.) : II, 674, 676, 701, 702.
 Sohn : II, 653.
 Sophronius : III, 807.
 Sourisseau : II, 663.
 Spence : II, 613.
 Sprenger : I, 65.
 Stahlshmidt : II, 745.
 Stateham : III, 789.
 Stenhouse : II, 672.
 Strecker : II, 672.
 Streng : II, 609.
 Strohlberger : II, 666.
 Sully (duc de) : III, 754.
 Szabo : I, 32.

T

Tartaglia : I, 265.
 Taylor (Th.) : II, 624, 628.
 Teschenmacher : II, 646, 647.
 Thénard : I, 39.
 Thenius : III, 796.
 Théodore (Fl. Mallius) : III, 755.
 Thill : III, 784.
 Thomas : I, 191.
 Thompson (L.) : II, 672.
 Tibseles : I, 12.
 Timmerhans : I, 396.
 Toel : I, 90, 115.
 Totten : I, 343, 355.
 TRAUZL : I, 462; — II, 656, 705, 711, 722,
 723, 724, 725, 726.
 Tret (De) : II, 608.
 Turgot : I, 22.
 Tuttle : I, 22.

U

UCHATIUS : I, 431, 535, 566, 567; — II, 616,
650, 653, 669, 670, 748.
Uhden : III, 797.
Ulex : II, 722.
Upmann : I, 397, 398.
Ure : I, 436, 439.
Usiglio : I, 54.

V

Vasco de Gama : I, 6.
Vaucheret : I, 579.
Vay (de) : I, 34, 36.
Végèce : I, 4; — III, 753.
Vergnaud (A. D.) : I, 228, 426.
Vignotti : I, 469, 470.
Villani : I, 13.
VIOLETTE : I, 119, 149, 152, 155, 156, 157,
158, 159, 161, 162, 163, 164, 167, 168,
184, 191, 192, 194, 195, 196, 197, 198,
199, 203, 447; — II, 620.
Vischnegradzky : I, 357.
Vi-Tey : I, 4.
Vogel (A.) : I, 462, 665.
Vogt : II, 702.
Vohl : III, 774.
Vossius : I, 4.
Vrij (de) : II, 677.

W

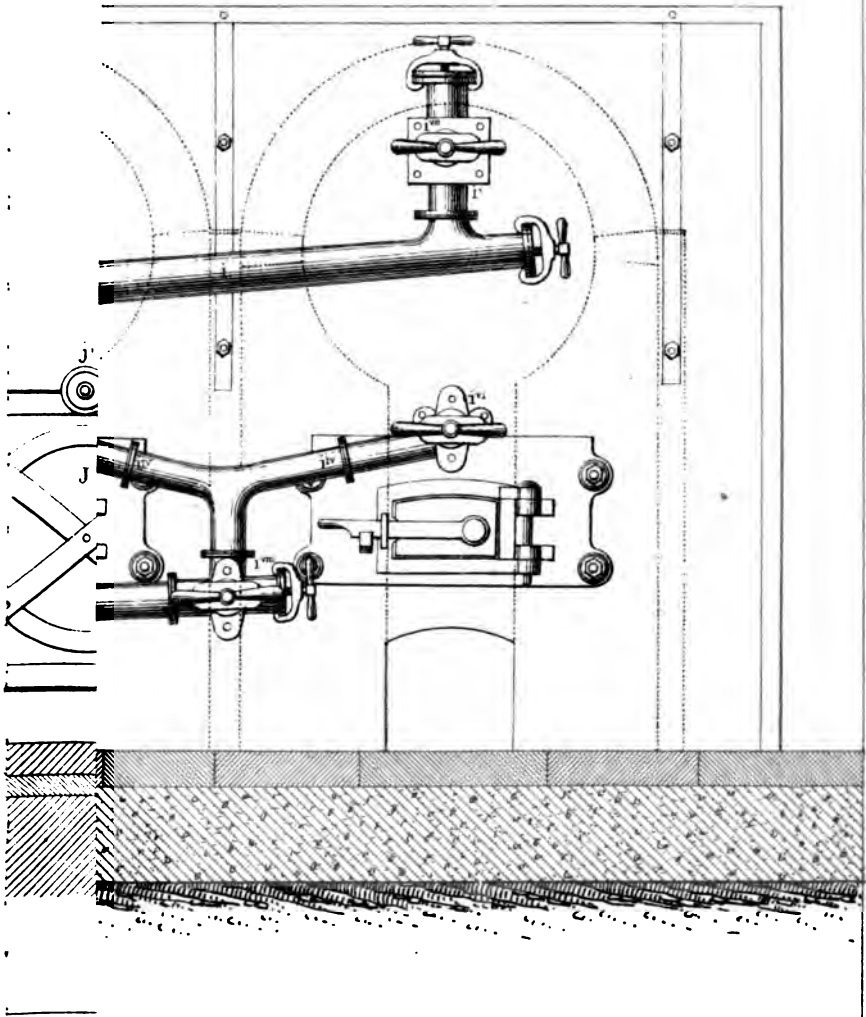
Wagner (J. R.) : II, 610.
Ward : I, 64, 65.
Warren de la Rue : II, 689.
Warren (W.) : II, 721.
Wasserfuhr : II, 721.
Websky : III, 782, 795.
Welter : II, 735.
Weltzien : I, 440.
Werber : II, 687.
Werther : I, 90, 429, 430, 438.
Wheatstone : I, 533.
Wiederhold : III, 774, 775.
Wiener : I, 259.
Wild : I, 114.
Wilson : II, 639.
Windisch : I, 6.
Winkelblech : III, 797.
Wittstein : I, 49.
Wöhler : I, 433; — II, 743.
Wohlfarth : II, 601.
Wöllner : I, 81.
Wurtz : II, 698.
Wynants : II, 610, 611.

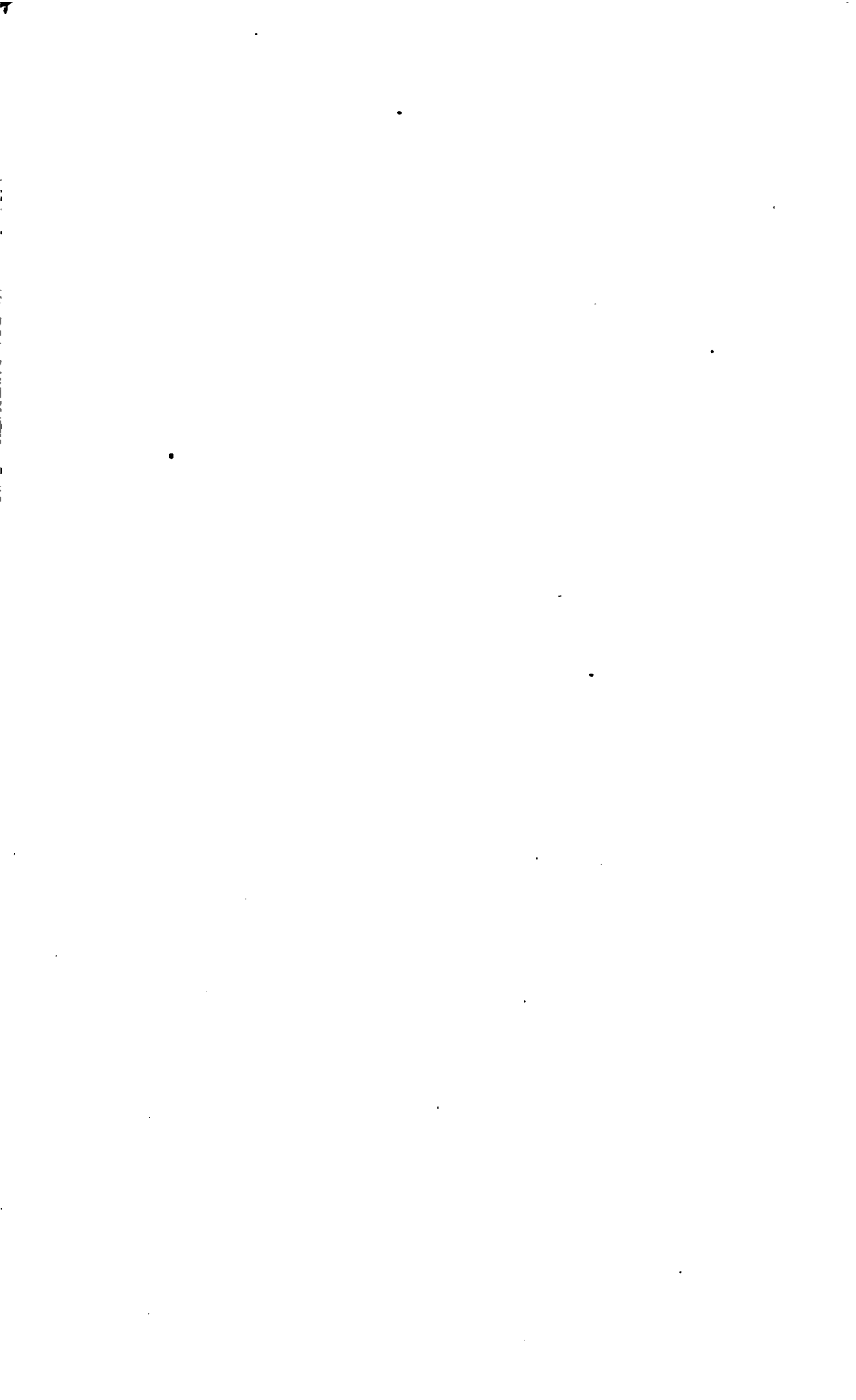
Z

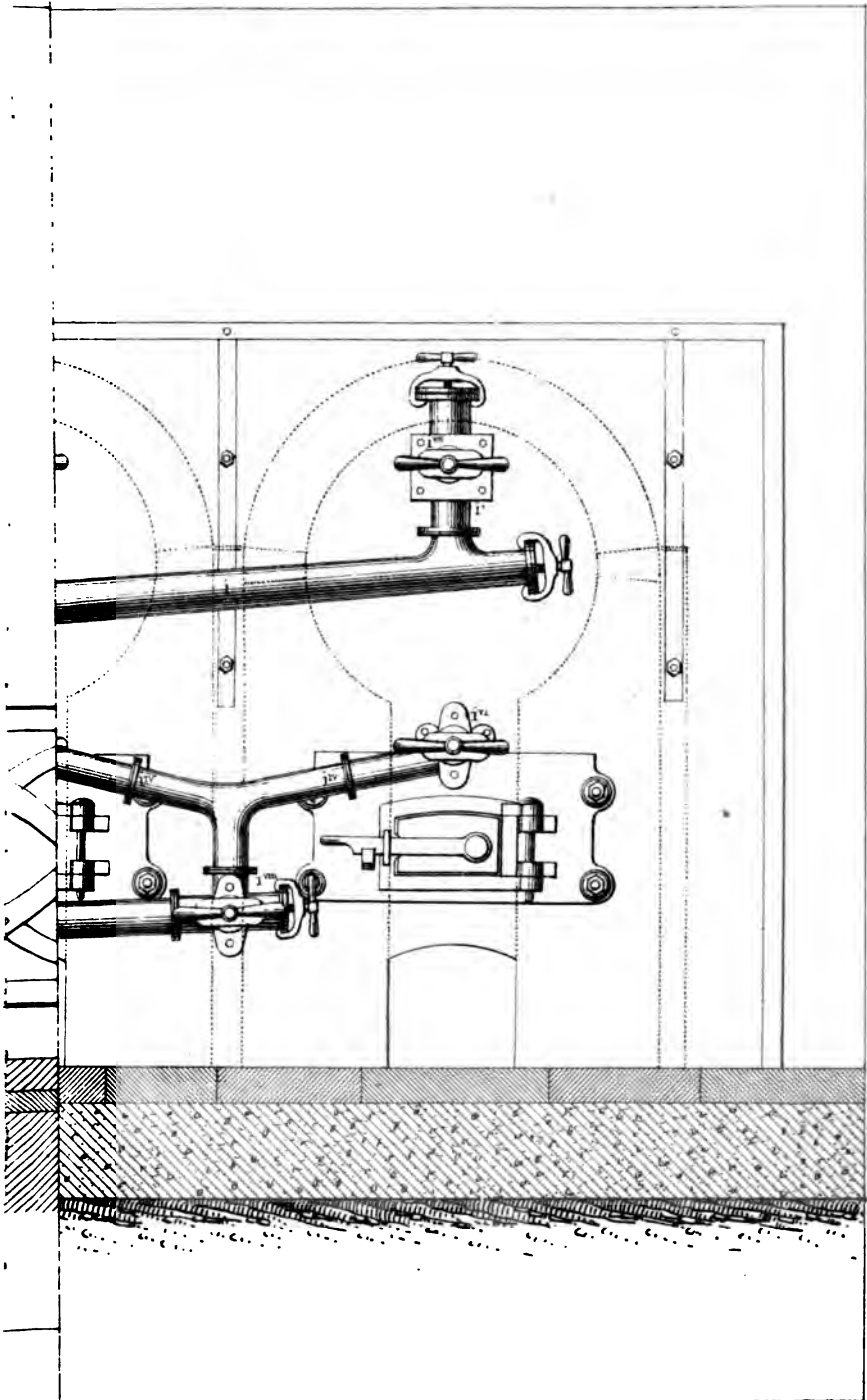
Zabelin : I, 19.
Zaliwski : II, 616.
Zeisler : III, 804.

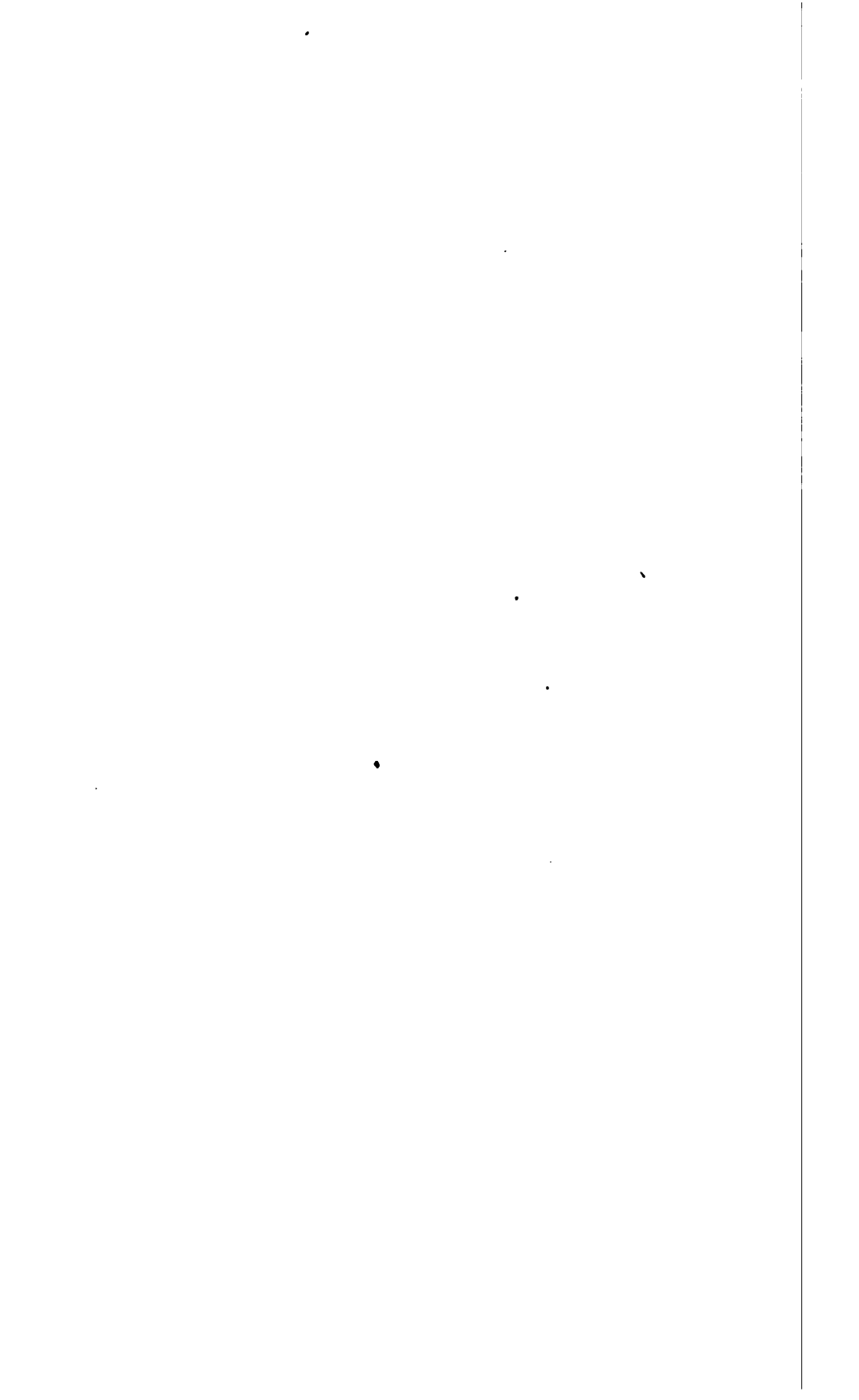


A



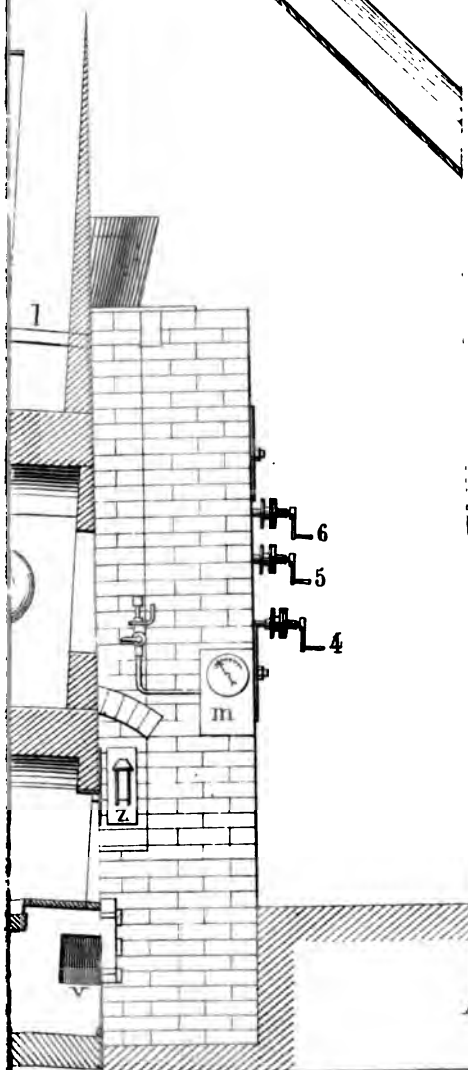






antérieure.

P'



Echen

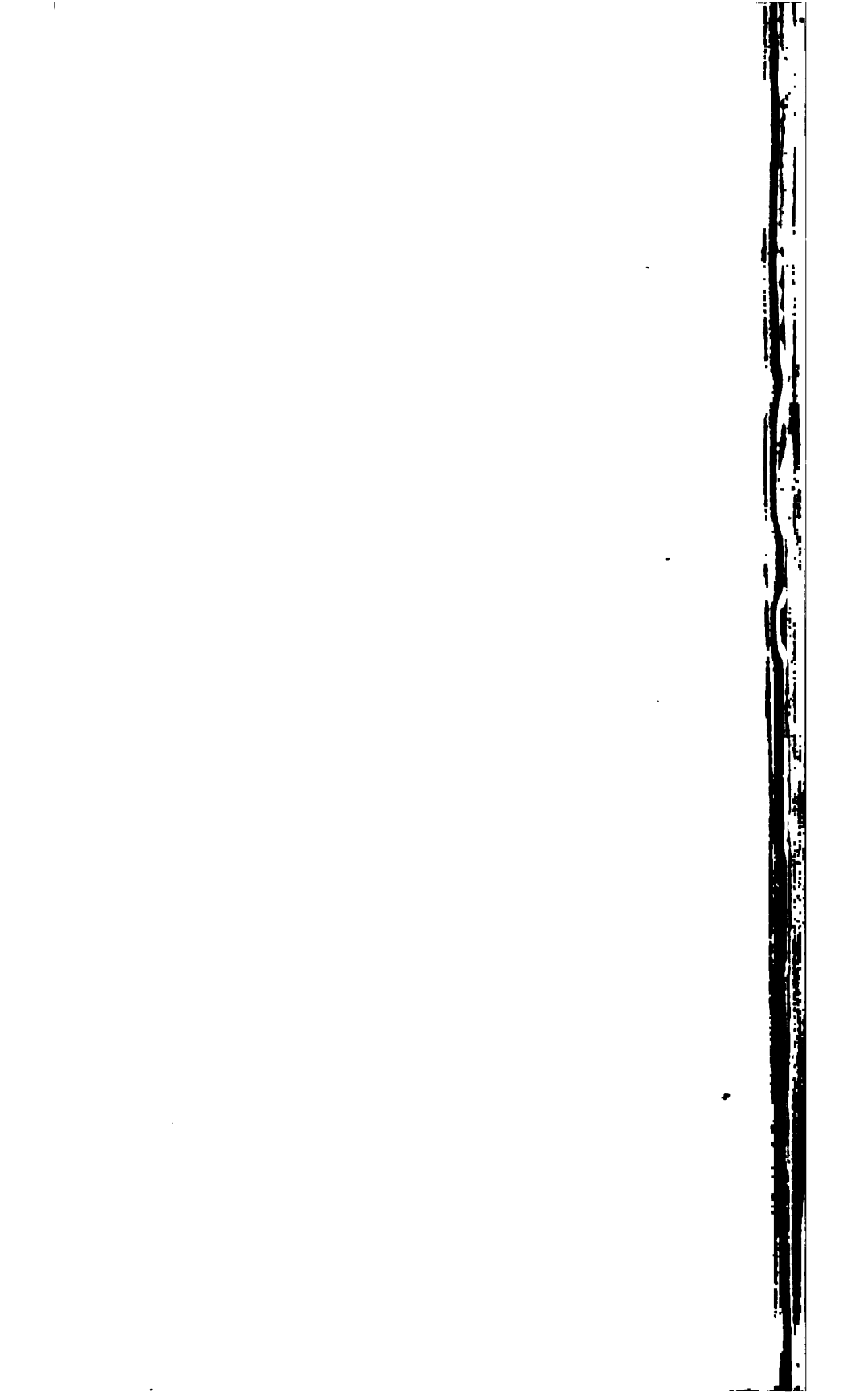


Planche III.

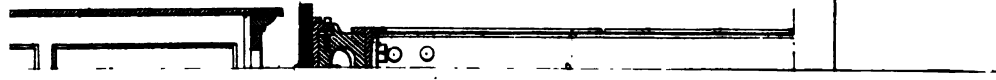
VRAN - LIVRY

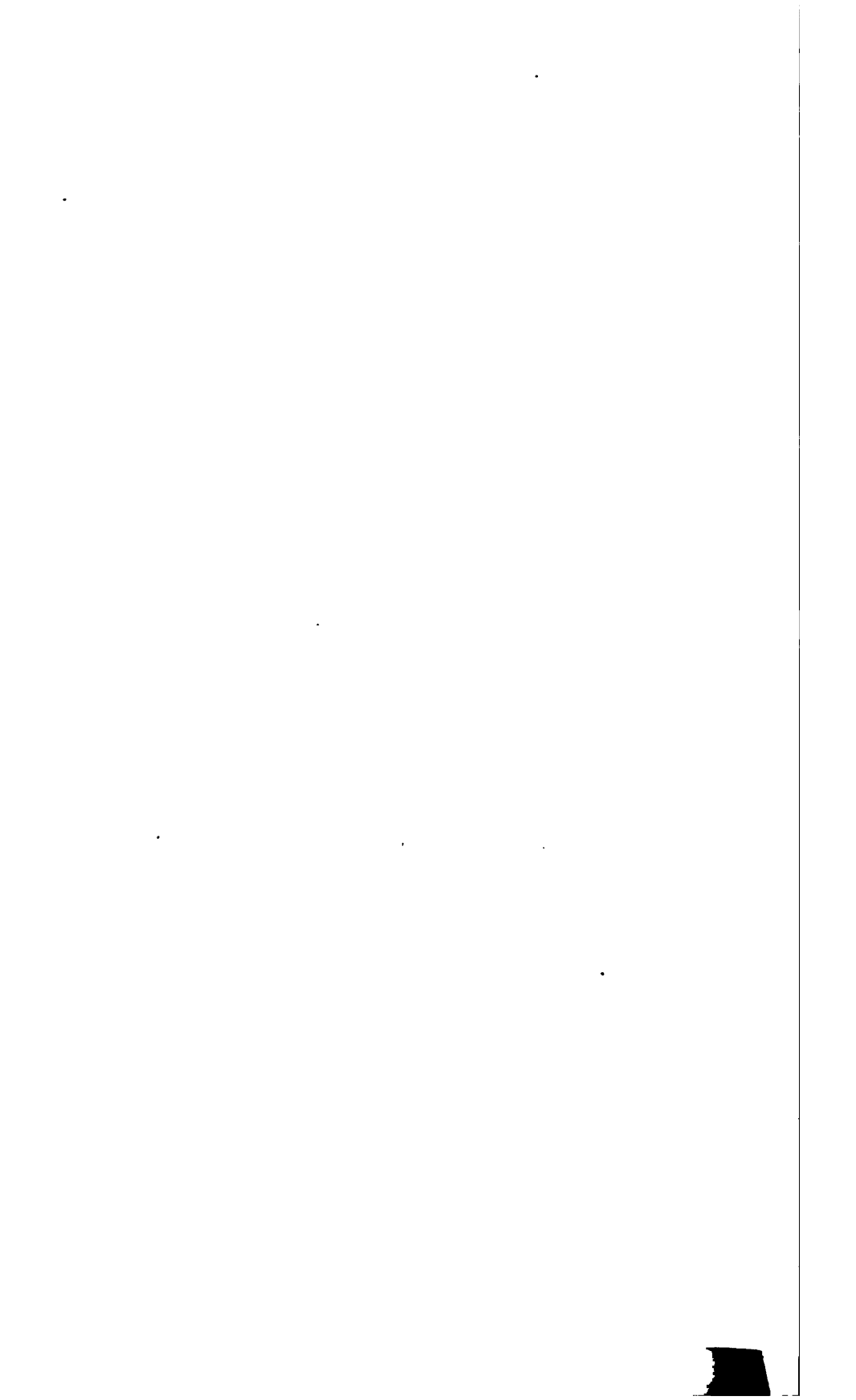
ires.

les.

transversale.

tion - coupe .

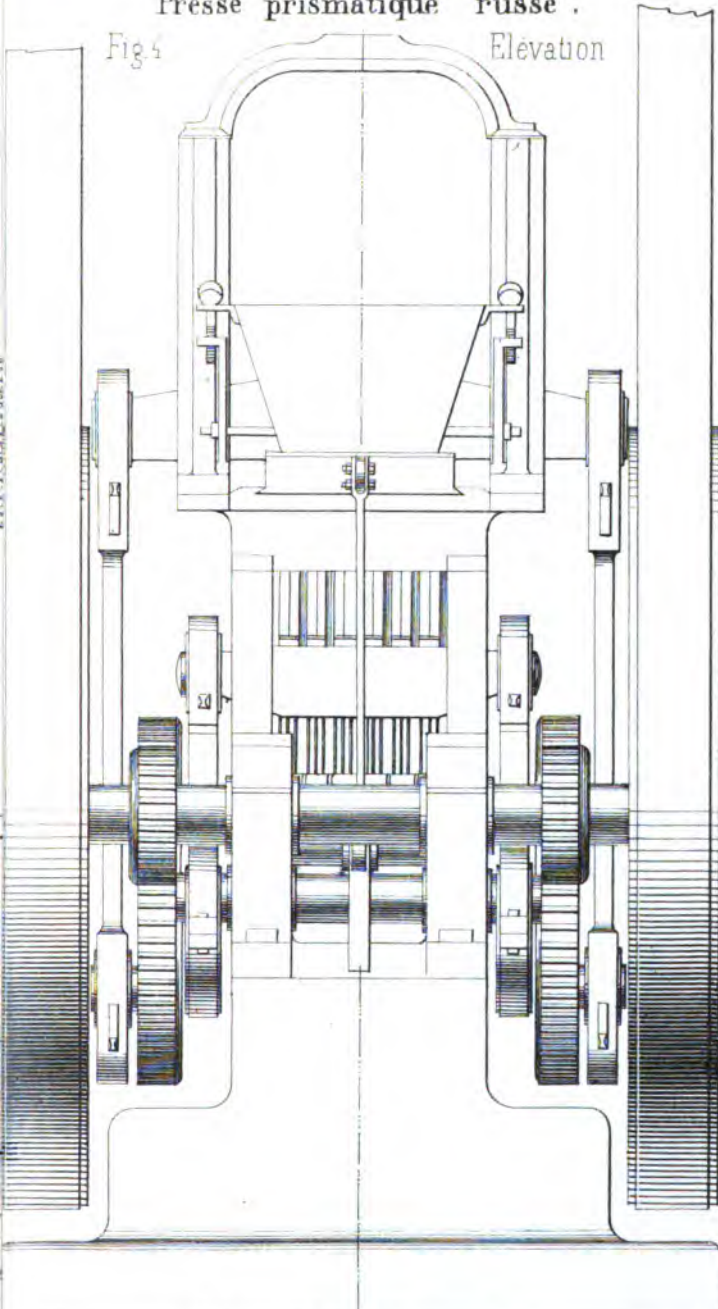




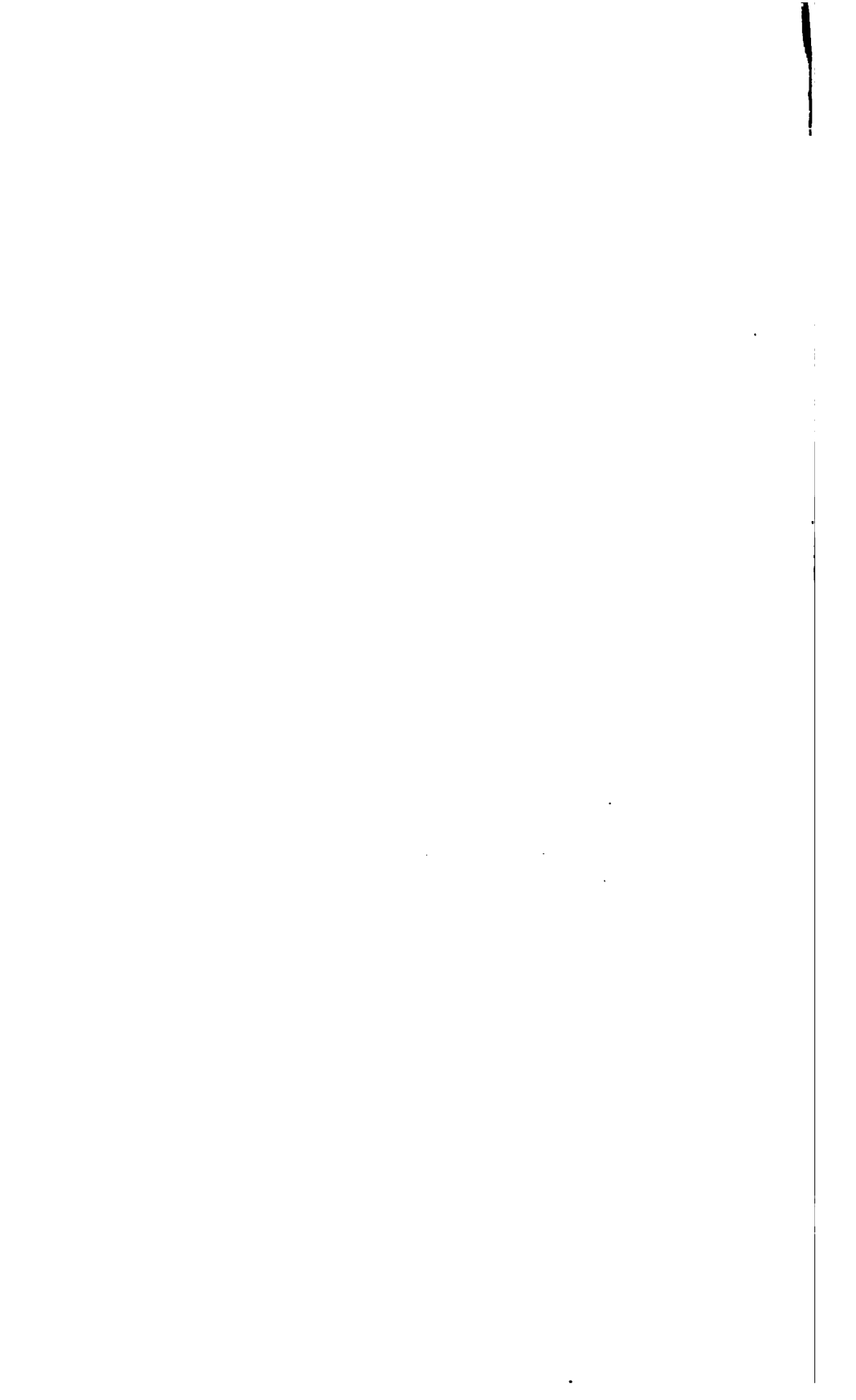
POUDRERIE D'OCHTA.
Presse prismatique russe.

Fig 4

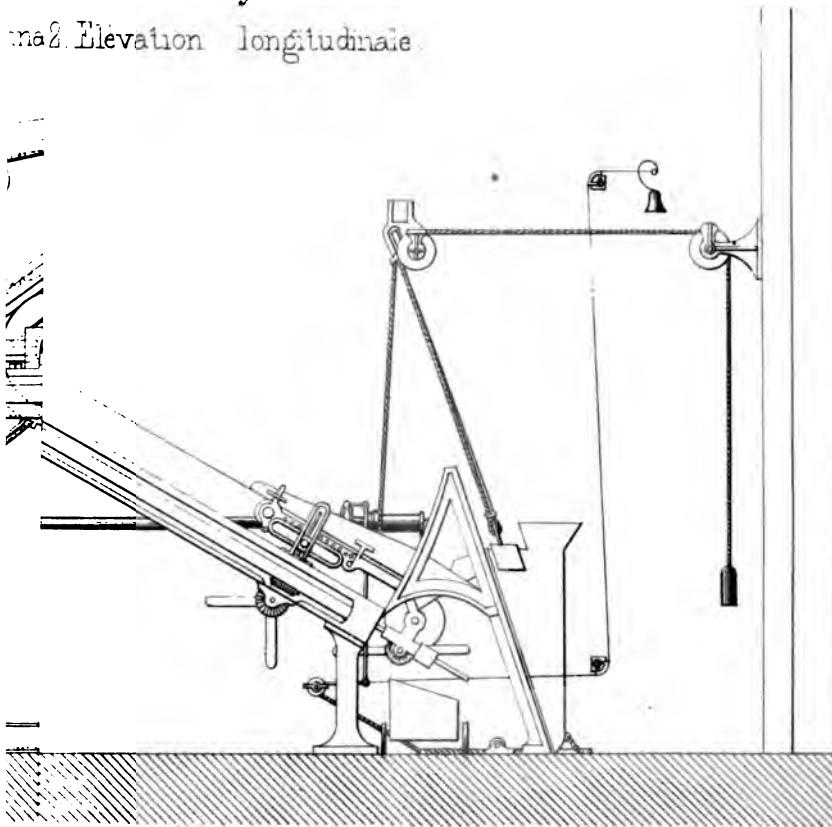
Elevation



Echelle de 0,08 pour 1 mètre.



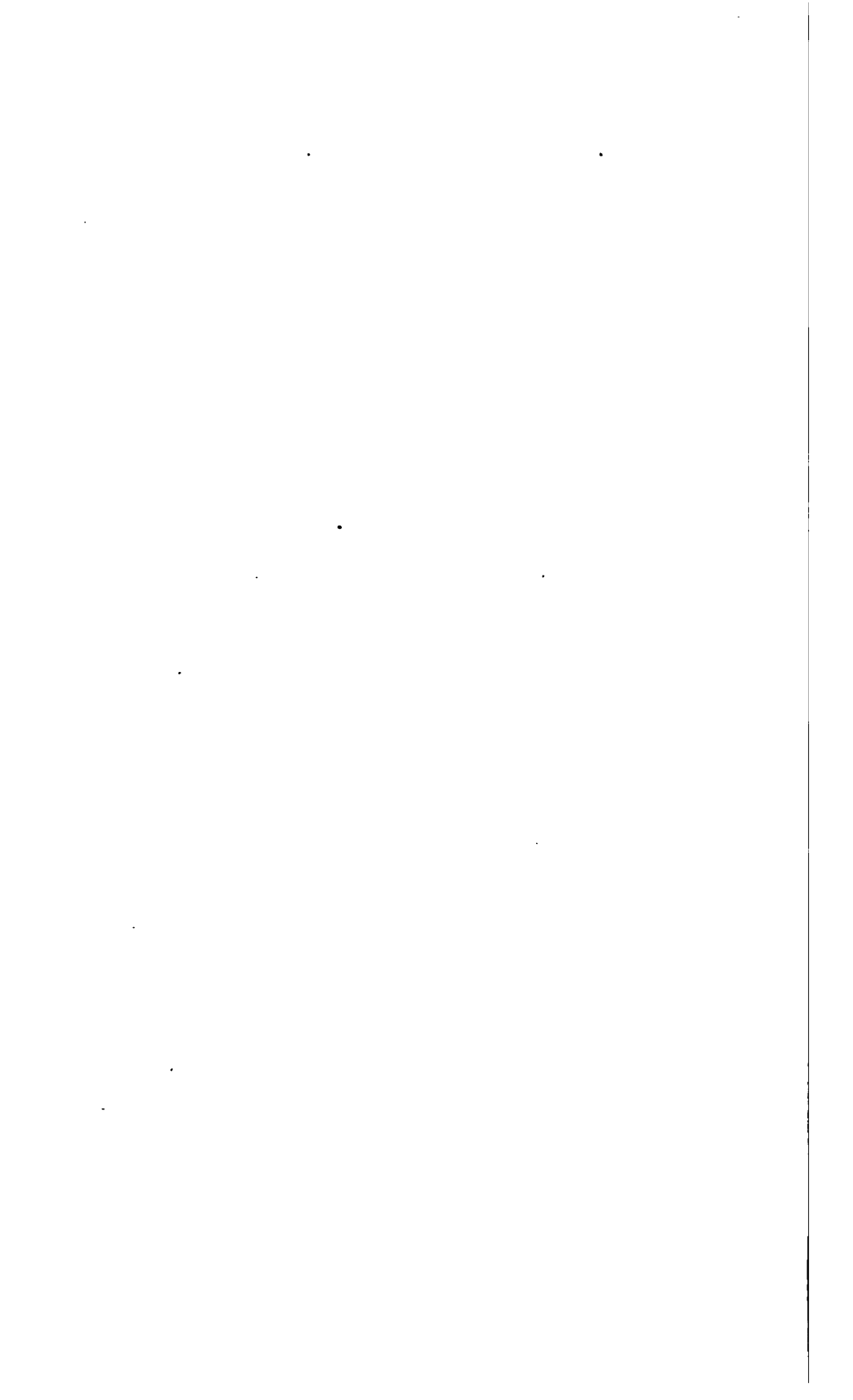
Grenoir à cylindres.
na 2. Elevation longitudinale



1. (1/400)

15

20 Mètres

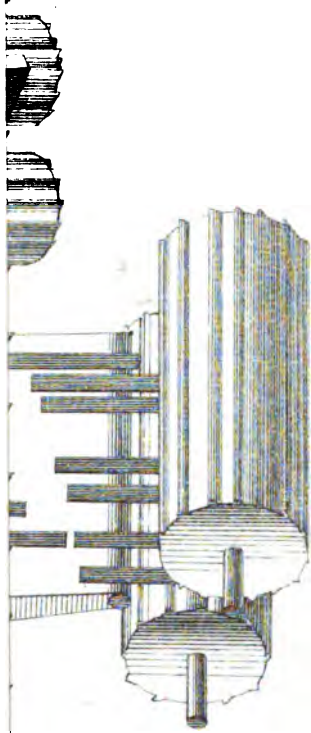
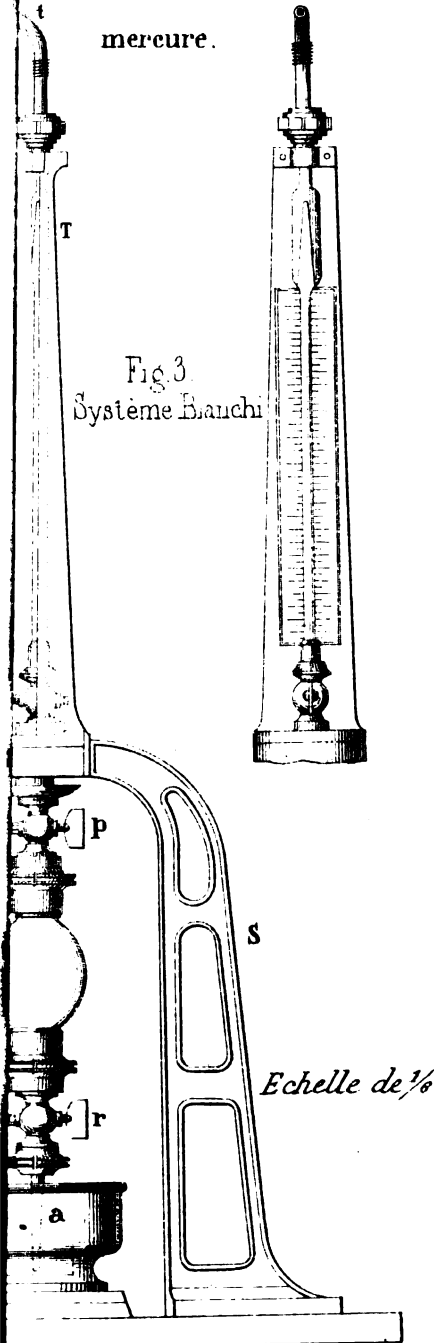


T- ABBEY.
poudre pebble.

mercure.

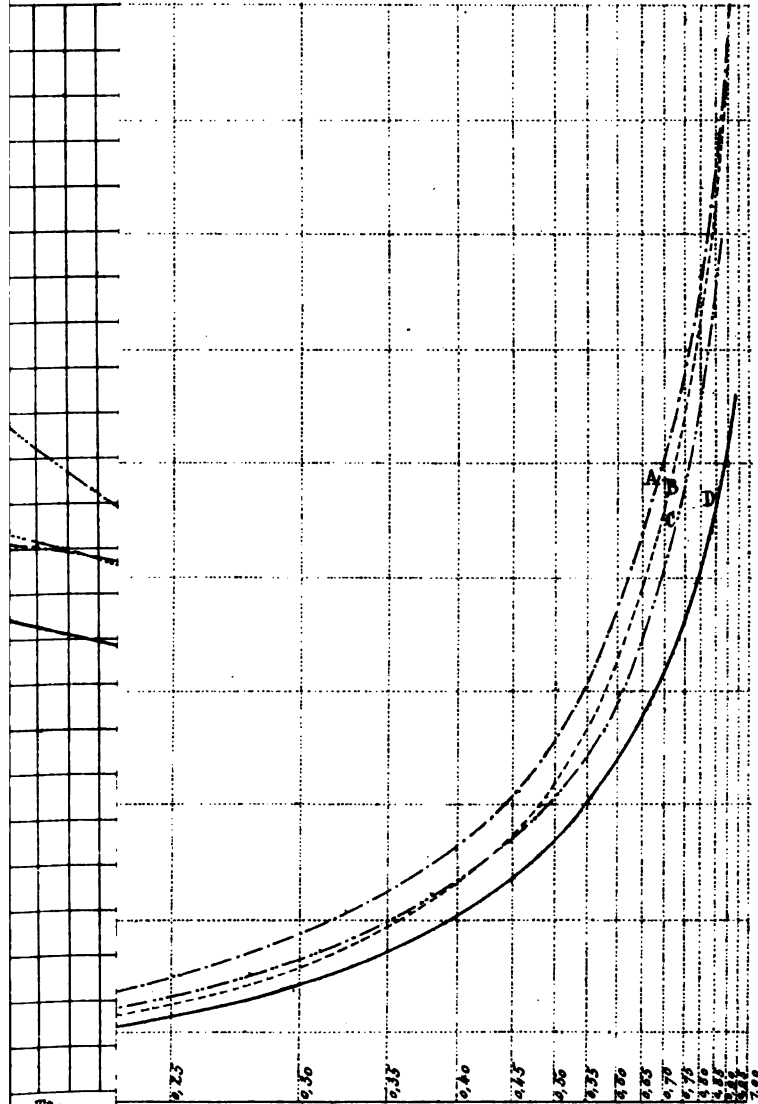
Fig 4 Perspective

Fig 3
Système Bauchi

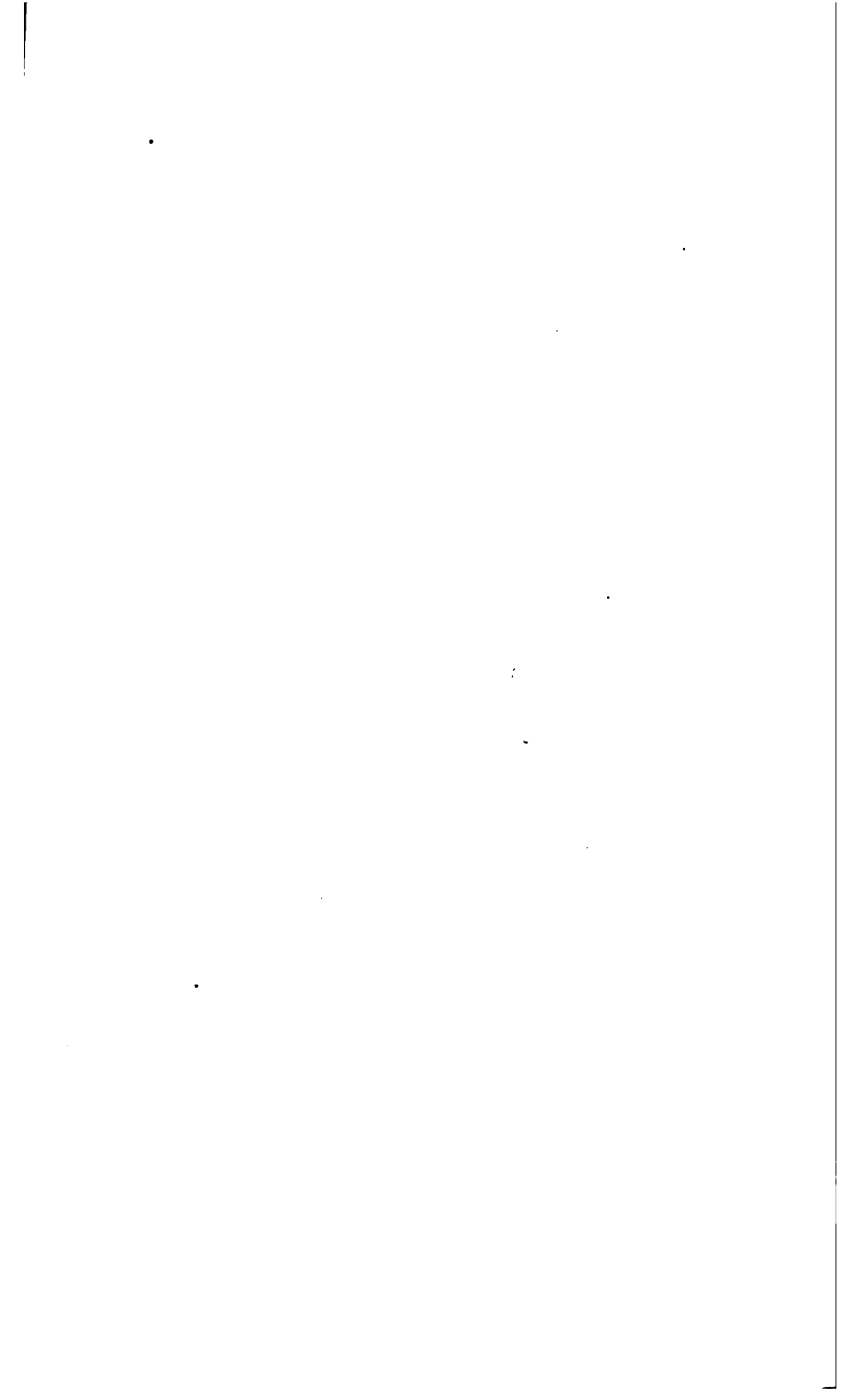


DÈVE

face parcm fonction de la densité moyenne des produits.



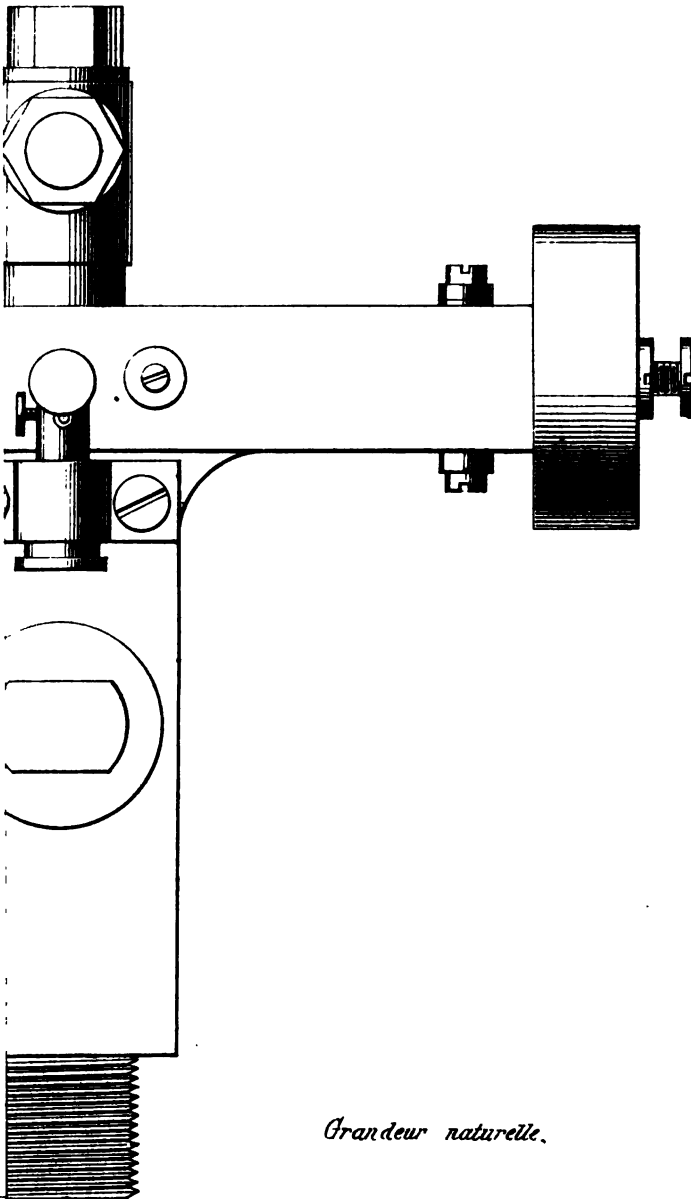
des produits de la combustion.



a mes

Manographe.

Fig. 3 Elevation.



Grandeur naturelle.