

# MATIÈRES EXPLOSIVES.

## ERRATA.

|      |      |       |     |              |  |       |  |
|------|------|-------|-----|--------------|--|-------|--|
| Page | 7,   | ligne | 11, | au lieu de : | 39   | lisez | 39.1.  |
| "    | 8,   | "     | 3,  | "            | K  | "     | Az.  |
| "    | 8,   | "     | 9,  | "            | 24,963   | "     | 23,963.  |
| "    | 65,  | "     | 21, | "            | $\frac{1.80}{12}$  | "     | $\frac{10.80}{12}$ .   |
| "    | 65,  | "     | 23, | "            | 21,600   | "     | 21.60 H.   |
| "    | 150, | "     | 3,  | "            | carbone  | "     | carbonate.   |
| "    | 182, | "     | 24, | "            | $\frac{P}{Pa} + \left( \frac{C}{T \left( \frac{V}{V_m} + B \right)^2} \right)$ | lisez | $\left( \frac{P}{Pa} + \frac{C}{T \left( \frac{V}{V_m} + B \right)^2} \right)$   |
| "    | 183, | "     | 14, | "            | $\frac{TPaV_m}{P = \left( \frac{\omega}{\Delta} - uV_m \right)^{273}}$         | lisez | $P = \frac{TPaV_m}{\left( \frac{\omega}{\Delta} - uV_m \right)^{273}}$           |
| "    | 197, | "     | 10, | "            | le chlorure  | lisez | le chlorate.   |
| "    | 201, | "     | 5,  | "            | $2 \left. \begin{array}{l} ClO^2 \\ AzH^4 \end{array} \right\}$                | "     | $2 \left. \begin{array}{l} ClO^2 \\ AzH^4 \end{array} \right\} O^2$ .            |
| "    | 241, | "     | 24, | "            | 62 cal.  | "     | 6,2 cal.   |
| "    | 275, | "     | 30, | "            | 16 CO <sup>2</sup>   | "     | 6 CO <sup>2</sup> .  |
| "    | 275, | "     | 30, | "            | 16 H <sup>2</sup> O  | "     | 6 H <sup>2</sup> O.  |
| "    | 285, | "     | 27, | "            | 244 <sup>bis</sup> , 244 <sup>ter</sup>  | "     | 253, 254.  |
| "    | 299, | "     | 25, | "            | n° 407   | "     | n° 391.  |
| "    | 302, | "     | 11, | "            | n° 406   | "     | n° 390.  |
| "    | 326, | "     | 18, | "            | Az <sup>2</sup> O <sup>3</sup> K   | "     | AzO <sup>3</sup> K.  |
| "    | 361, | "     | 9,  | "            | C <sup>12</sup> H <sup>11</sup> Az <sup>2</sup>                                | "     | C <sup>12</sup> H <sup>11</sup> Az <sup>3</sup> .                                |
| "    | 363, | "     | 28, | "            | C <sup>6</sup> H <sup>3</sup> Az <sup>2</sup> . SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup> | "     | C <sup>6</sup> H <sup>4</sup> Az <sup>2</sup> . SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup> . |

TRAITÉ  
THÉORIQUE ET PRATIQUE  
DES  
MATIÈRES EXPLOSIVES  
(ARTS MILITAIRES. — INDUSTRIE)

PAR

LÉON GODY

EX-CAPITAINE-COMMANDANT D'ARTILLERIE,  
PROFESSEUR DE CHIMIE APPLIQUÉE A L'ÉCOLE MILITAIRE  
ET A L'ÉCOLE DE ~~GUERRE DE BELGIQUE~~



NAMUR

LIBRAIRIE CLASSIQUE DE AD. WESMAEL-CHARLIER, ÉDITEUR

RUE DE FER, 53

1893

PROPRIÉTÉ.

Tous les exemplaires sont revêtus de la signature de l'auteur.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read "Louis", is written above a horizontal line.

---

NAMUR, — IMPRIMERIE DE AD. WESMAEL-CHARLIER, RUE DE FER, 53.



## AVANT-PROPOS.

Les progrès réalisés dans l'art de la guerre, la nécessité pour les armées européennes de conserver la prépondérance dans leurs moyens d'action, les besoins de l'industrie, ont donné dans ces dernières années, une vive impulsion à la science des matières explosives.

Les perfectionnements n'ont cependant pas consisté uniquement dans la découverte d'explosifs nouveaux ; ils ont été surtout appliqués à la transformation physique des explosifs violents connus depuis longtemps, afin de les plier à divers usages pour lesquels ils avaient dû être rejetés, à cause de leur instabilité et des dangers de leur manipulation.

Le coton-poudre et la nitroglycérine présentent des exemples typiques de ce que nous venons de dire ; tous deux, si précieux au point de vue de leur puissance énorme de dislocation, furent peu de temps après leur découverte, bien prêts d'être abandonnés à cause de leur instabilité ; aujourd'hui cependant, tout en ayant conservé leur énergie première, ils constituent des explosifs de l'emploi le plus sûr : l'un est devenu le coton-poudre comprimé humide, l'autre la dynamite et ses variantes. Associés ensemble, ils forment la dynamite-gomme, l'explosif le plus énergique et du maniement le moins dangereux actuellement connu.

On est même parvenu à rendre ces matières, d'un caractère si éminemment brisant, aptes à l'emploi du tir dans les fusils et les canons ; elles constituent des poudres sans fumée donnant

aux projectiles des vitesses plus grandes qu'avec la poudre noire, tout en développant des pressions moindres.

Ces résultats précieux ont été acquis soit par une simple transformation physique des corps, soit par un mode d'amorçage spécial.

Le nombre des matières explosives est actuellement très considérable et la théorie permet d'en prévoir bien plus encore; leur étude par cela même, paraît au premier abord difficile et sujette à la diffusion, mais il n'en est heureusement rien; il n'existe en somme, parmi les explosifs chimiques, qu'un nombre restreint de corps importants — des types, — qui donnent naissance à de nombreuses combinaisons explosives, qu'il est facile de sérier.

C'est dans le but de permettre une étude facile et rationnelle des matières explosives, que nous avons fait imprimer les leçons que nous donnons à l'École d'Application et à l'École de Guerre. Les officiers qui n'ont pas suivi les cours de ces deux établissements d'instruction supérieure militaire n'ont pas eu l'occasion d'étudier ces questions d'une façon spéciale; c'est là une lacune, la connaissance parfaite des explosifs ne doit pas être du domaine exclusif des officiers d'Artillerie et du Génie, mais bien de celui des officiers de toutes les armes.

Notre travail a été divisé en huit parties distinctes.

Dans la *première partie*, nous faisons l'examen de la poudre noire et de ses matières premières. Nous n'avons pas cru devoir diminuer l'importance de l'étude de la poudre noire; quoique détrônée définitivement par la poudre sans fumée pour le tir des armes à feu, elle restera dans les arts militaires un explosif auxiliaire de la plus grande importance.

Nous examinons dans la *seconde partie* les questions théoriques relatives à la recherche des éléments de la force des matières explosives. La théorie permet actuellement de prévoir la puis-

sance d'un explosif avec une assez grande précision. Nous avons soigneusement développé cette partie que nous considérons comme très importante.

La *troisième partie* comporte l'étude des poudres d'amorces à base de chlorate de potassium et de fulminate de mercure. Nous y avons étudié aussi quelques explosifs de la série cyanique.

La *quatrième partie* comprend l'étude complète des explosifs chimiques nitrés, provenant des hydrocarbures et des dérivés de la série saturée (série grasse). L'histoire des éthers nitriques a reçu des développements suffisants.

La nitroglycérine, les dynamites, le coton-poudre et ses variantes ont été décrits d'une façon spéciale tant au point de vue militaire qu'au point de vue industriel.

Cette même partie renferme l'étude des éthers perchloriques, si dangereux à manier et d'une si grande puissance.

Dans la *cinquième partie*, nous avons examiné les explosifs aromatiques, c'est-à-dire, ceux qui dérivent des hydrocarbures non saturés (dits de la série aromatique). Nous citerons : les nitrobenzines, les dérivés azoïques, les phénols nitrés : acide picrique et picrates; les nitrotoluènes, les nitronaphtalines, les explosifs Favier, etc.

Ces explosifs ont acquis une grande importance militaire et industrielle.

Dans la *sixième partie*, nous avons classé les explosifs difficiles à sérier, tels que les explosifs acides de Sprengel, les panclastites de Turpin, les matières explosives spéciales curieuses.

Nous y avons étudié aussi les *poudres sans fumée*; le secret de leur fabrication n'existe plus aujourd'hui et les compositions des poudres adoptées ou en essai dans les différents États sont connues.

Nous avons traité dans la *septième partie* la pyrotechnie au point de vue de l'emploi de certains artifices en temps de guerre.

La *huitième partie* renferme diverses études parmi lesquelles nous citerons : l'emploi des explosifs en présence du grisou, la destruction des matières explosives, des remarques sur les propriétés des matières explosives, basées sur l'onde explosive de M. Berthelot.

Nous n'avons pas négligé les *procédés d'analyses chimiques*, qui ont une si grande importance dans les épreuves de réception des explosifs modernes.

Parmi les nombreuses matières que nous avons étudiées et signalées, il en est évidemment beaucoup qui ne sont pas encore entrées dans la pratique, soit à cause de leur prix, de leur fabrication compliquée, de leur instabilité au choc et à la friction. Nous n'avons pas cru devoir les passer sous silence, parce qu'elles pourront peut-être acquérir plus tard une importance très grande : ce sont là des *explosifs de l'avenir!*

Pourquoi certains explosifs si instables actuellement, si sensibles à toute action mécanique, ne seraient-ils pas asservis comme l'a été la nitroglycérine qui, dans le principe, terrifia le monde par ses explosions inexplicables? Ces progrès seront réalisés dès que les besoins de l'homme le pousseront vers l'étude de nouvelles matières explosives, dont il a du reste à présent une puissante réserve.

# PREMIÈRE PARTIE.

## La Poudre noire.

## POUDRE NOIRE.

La poudre noire est un mélange intime de salpêtre, de soufre et de charbon de bois.

Afin de bien comprendre les propriétés de cette poudre, il est d'absolue nécessité de faire l'étude préalable de ses trois composants.

# SECTION I.

## Étude des matières premières.



### CHAPITRE I.

#### SALPÊTRE.



#### § 1. — GÉNÉRALITÉS.

**1. Formule :  $\text{AzO}^3\text{K}$ .** — **Poids moléculaire : 101,1.** — Le corps blanc cristallisé connu vulgairement sous le nom de salpêtre (*sal petrosum*), porte encore d'autres noms synonymiques : le nitre, le nitre prismatique, l'azotate de potassium, le nitrate de potassium, le salpêtre potassique.

Il est formé d'azote, d'oxygène et du métal potassium dans les proportions suivantes :

|                 |       |         |
|-----------------|-------|---------|
| Azote . . .     | 14    | 13,85 % |
| Oxygène . . .   | 48    | 47,48 % |
| Potassium . . . | 39,1  | 38,67 % |
|                 | <hr/> | <hr/>   |
|                 | 101,1 | 100,00  |

**2. Propriétés physiques.** — Le salpêtre cristallise normalement en prismes à six pans terminés par des pyramides à six faces. Cette forme cristalline appartient au troisième système cristallin, dit rhomboédrique ou système du prisme hexagonal. Parfois, il cristallise aussi en rhomboèdres isomorphes avec ceux du salpêtre sodique (azotate de sodium), mais cette forme n'est pas stable; il suffit, en effet, du contact d'un cristal prismatique pour transformer le rhomboèdre en prisme.

Les cristaux de nitre sont inaltérables à l'air, ils ne sont pas hygroscopiques quand ils sont chimiquement purs. Leur densité est de 2,11 (à 0°C).

L'industrie présente le nitre sous deux formes commerciales : *le nitre en cristaux* et *le nitre en farine*. Il faut, en général, se méfier de la pureté du nitre en gros cristaux, parce que ceux-ci sont obtenus, comme nous le verrons plus loin, dans des eaux-mères généralement impures. Quand on écrase un cristal de nitre sur du papier buvard, celui-ci devient souvent humide; on comprend que des eaux-mères ont été retenues par capillarité entre les facettes des petits cristaux élémentaires dont la réunion a formé le gros cristal et ces eaux sont difficiles à enlever. Les gros cristaux sont obtenus par le refroidissement lent d'une solution saturée à chaud, ou bien par l'évaporation lente d'une solution saturée à froid; il faut, de plus, une immobilité parfaite.

Le nitre en farine se forme par le refroidissement rapide d'une solution saturée à chaud et par une vive agitation du liquide. La cristallisation se trouve ainsi contrariée et les cristaux élémentaires ne peuvent pas s'agglomérer. La purification de ce nitre en farine, par des lavages à l'eau pure, est infiniment plus facile que celle du nitre en cristaux.

**3.** — Lorsqu'on chauffe le nitre à 327° (Maumené) il fond en un liquide limpide et mobile comme de l'eau; par le refroidissement, il se prend en une masse blanche, fibreuse, appelée souvent *cristal minéral* ou *sel de prunelle* (*pruna*, braise). Il n'a subi par le fait de cette fusion aucune altération dans sa composition chimique.

**4.** — Le nitre est facilement soluble dans l'eau avec abaissement



de température : la solution a une saveur fraîche, un peu amère. Il est beaucoup plus soluble à chaud qu'à froid.

100 p. d'eau dissolvent :

|   |       |       |        |                      |
|---|-------|-------|--------|----------------------|
| à | 0°    | . . . | 13,82  | parties de salpêtre, |
| " | 5°    | . . . | 16,70  | "                    |
| " | 11°7  | . . . | 22,30  | "                    |
| " | 18°   | . . . | 29,40  | "                    |
| " | 25°   | . . . | 38,40  | "                    |
| " | 35°   | . . . | 54,80  | "                    |
| " | 45°   | . . . | 74,60  | "                    |
| " | 50°   | . . . | 85,00  | "                    |
| " | 54°7  | . . . | 97,00  | "                    |
| " | 65°6  | . . . | 126,00 | "                    |
| " | 80°   | . . . | 170,00 | "                    |
| " | 97°   | . . . | 236,00 | "                    |
| " | 100°  | . . . | 246,00 | "                    |
| " | 115°9 | . . . | 335,00 | "                    |

La formule de dissolution est sensiblement :

$$13.82 + 0,574 T + 0,0172 T^2 + 0,0000036 T^3.$$

Lorsque l'eau contient du sel marin, le nitre s'y dissout en plus fortes proportions.

Les deux sels, en effet, se décomposent mutuellement d'après la formule suivante :

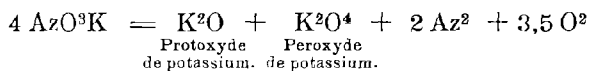


du nitre disparaît et la solution n'est plus saturée. En général, les sels qui n'ont aucun élément commun avec le nitre potassique (sel marin, chlorure de magnésium, etc.); facilitent sa dissolution, tandis que ceux qui ont avec lui un élément commun (chlorure de potassium, azotate de sodium) diminuent sa solubilité.

Le nitre est peu soluble dans l'alcool faible et insoluble dans l'alcool absolu. Nous citons ce fait parce que l'alcool absolu sert

dans une méthode de recherche de la densité de la poudre de guerre (n° 162).

**5. Propriétés chimiques.** — Nous avons arrêté tantôt la chauffe du nitre à la température de 327°; si la chaleur augmente, on voit la masse liquide dégager des bulles gazeuses formées d'oxygène. La liquéfaction se complique d'une décomposition qui se fait d'après la formule :



Les produits solides de la décomposition mélangés d'eau, fournissent de la potasse caustique mêlée à du peroxyde de potassium.

La facilité avec laquelle le salpêtre dégage de l'oxygène à une température relativement basse, lui donne des propriétés oxydantes extrêmement énergiques. Aussi fuse-t-il quand on le projette sur des charbons allumés et déflagre-t-il avec violence par la chaleur rouge, quand on le mélange d'une façon intime avec des matières combustibles.

**6.** — Nous mêlons ici du nitre et du charbon de bois, tous les deux à l'état pulvérulent. Par l'approche d'un corps enflammé, la déflagration <sup>1</sup> s'opère aussitôt d'après la formule suivante :



<sup>1</sup> Nous aurons souvent dans la suite à employer les mots déflagration, explosion, détonation; il est bon d'en donner les significations.

Nous appellerons *déflagration* une réaction vive avec production de flamme et sifflement. Elle se fait ordinairement par l'application du feu, à la pression atmosphérique, sur des matières non comprimées ou non tassées. Tel est le cas de la poudre noire qu'on enflamme en traînée; du coton poudre en fils, etc.

L'*explosion* est une réaction très brusque avec production de flamme et d'un fort bruit instantané. C'est le cas de la poudre qui explose en vase clos dont une partie cède : fusil, canon, mine. Le feu est mis à l'explosif par l'approche d'une flamme : mèche, étoupille, etc.

La *détonation* est une explosion dont les effets destructeurs sont portés au maximum. La détonation s'obtient par une amorce au fulminate de mercure. La durée de la réaction est diminuée par le fait de l'emploi de l'amorce; l'explosif agit plus brusquement et produit des dislocations plus accentuées.

Ainsi la dynamite fait explosion dans une mine quand on l'allume avec une mèche, mais elle détone si cette même mèche est armée d'une capsule au fulminate de mercure.

Il se produit un résidu solide ou crasse de carbonate de potassium et un grand volume de gaz : acide carbonique et azote portés à une très haute température.

7. — La formule qui précède permet de calculer les poids de nitre et de carbone qu'il faut mélanger pour opérer la réaction indiquée. Nous rappelons qu'une formule chimique ne sert pas seulement à représenter l'image d'une réaction chimique mais aussi à calculer les proportions des substances destinées à réagir les unes sur les autres.

Le poids atomique de l'azote est égal à 14; celui de l'oxygène à 16, celui du potassium à 39, enfin celui du carbone à 12.

Le poids moléculaire de l'azotate de potassium est donc :

$$14 + 3 \times 16 + 39,1 = 101,1$$

Nous avons mis en présence d'après la formule : 4 molécules de salpêtre pesant  $4 \times 101,1 = 404,4$  et 5 atomes de carbone pesant  $5 \times 12 = 60$ .

La composition en centièmes du mélange qui vient de brûler sous vos yeux est d'après cela :

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Salpêtre . . . . . | 87,06. |
| Carbone . . . . .  | 12,94. |

Il est aisé de calculer aussi la quantité des produits solides et gazeux qui sont les résultats de la réaction. Le poids moléculaire du carbonate de potassium est :  $12 + 3 \times 16 + 2 \times 39,1 = 138,2$ . La réaction fournit 2 molécules, d'où  $2 \times 138,2 = 276,4$  de résidu. Le poids moléculaire de l'acide carbonique est  $12 + 32 = 44$ ; il se dégage trois molécules, soit 132 d'acide carbonique et  $4 \times 14 = 56$  d'azote.

Il nous est facile, d'après cela, de calculer le volume gazeux produit par la réaction. Nous savons, en effet, qu'un litre d'acide carbonique pèse à 0° et sous la pression de 0<sup>m</sup>76 : 1<sup>gr</sup>9774, tandis qu'un

litre d'azote dans les mêmes conditions pèse 1<sup>er</sup>256, on aurait ainsi en calculant en grammes :

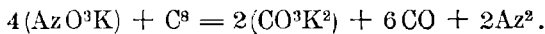
$$\begin{aligned}
 404,4^{\text{er}} \text{Az O}^3\text{K} + 60^{\text{er}}\text{C} &= 276,4^{\text{er}}\text{CO}^3\text{K}^2 + 132^{\text{er}}\text{CO}^2 + 56^{\text{er}}\text{K}. \\
 &= 276,1^{\text{er}}\text{CO}^3\text{K}^2 + \frac{132^1}{1,9774} \text{CO}^2 + \frac{56^1}{1,256} \text{Az}. \\
 &= 276^{\text{er}}\text{CO}^3\text{K}^2 + 66^171\text{CO}^2 + 44^158 \text{Az}.
 \end{aligned}$$

ou en centièmes :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Salpêtre } 87^{\text{er}}06 \\ \text{Carbone } \frac{12^{\text{er}}94}{100^{\text{er}}00} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{produit-} \\ \text{sent} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Carbonate de potassium } 59^{\text{er}}48 \\ \text{Acide carbonique } . . . 14^1377 \\ \text{Azote } . . . . . 9^1586 \end{array} \right\} 24^1963$$

Nous avons tenu à donner un exemple de calcul complet, afin de pouvoir dans l'avenir nous en abstenir et nous contenter d'indiquer les résultats numériques des nombreuses réactions explosives qu'il nous reste à étudier.

8. — Tout en conservant la même dose de salpêtre, on peut augmenter la quantité de carbone et cela dans une proportion telle que l'acide carbonique se trouve réduit en oxyde de carbone :



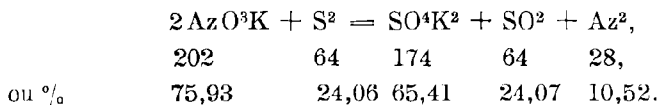
Tout calcul fait, on trouve ainsi que :

$$\left. \begin{array}{l} 80^{\text{er}}80 \text{ de nitre} \\ 19^{\text{er}}20 \text{ de carbone} \end{array} \right\} \text{donnent} \left\{ \begin{array}{l} 55^{\text{er}}20 \text{ de carbonate de potassium.} \\ 16^182 \text{ d'oxyde de carbone} \\ 8^191 \text{ d'azote} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \\ 25^173 \\ \text{de gaz.} \end{array}$$

La déflagration du nitre avec un excès de carbone dégage un volume gazeux plus considérable que dans le cas de la combustion complète; seulement la quantité de chaleur déagée est beaucoup moindre, à cause de l'absorption produite par la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone. En fait, cette poudre est moins énergique.

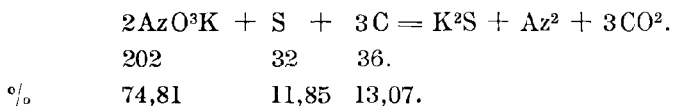
9. — Nous obtenons des mélanges analogues avec le nitre et le soufre.

La formule suivante donne la réaction entre ces deux corps :



Cette mixture brûle avec une flamme blanche éblouissante. Elle sert de base à la fabrication des feux de Bengale.

10. — Lorsqu'on mélange du nitre, du carbone et du soufre, on obtient une poudre déflagrant avec une excessive vivacité :



On voit que l'addition du carbone, au mélange soufre-nitre, provoque la réduction du sulfate de potassium en sulfure de potassium.

11. — On a recherché quelles étaient les températures de réaction entre le nitre-soufre et le nitre-carbone. Dans ce but, on a fondu une certaine quantité de nitre dans une capsule et on y a enfoncé de petits cylindres de soufre et de charbon de bois.

Le soufre dans le nitre fondu à 400°, brûle à l'air sans décomposition du nitre.

Le soufre dans le nitre fondu à 432°, déflagre.

Le charbon de bois, dans le nitre à 400°, déflagre.

On peut donc admettre que la poudre à tirer déflagre vers 400°, c'est-à-dire, qu'à cette température les substances mélangées réagissent violemment les unes sur les autres : seulement, l'inflammation de la poudre se fait déjà vers la température de 250°, qui est celle de l'inflammation du soufre (voir n° 185).

12. **Origines du nitre.** — On pourrait fabriquer industriellement le nitre en attaquant le carbonate de potassium par l'acide azotique.

Nous avons mis dans ce ballon une solution bouillante saturée de carbonate de potassium, nous y versons avec précaution de l'acide azotique concentré. Une vive effervescence se manifeste à chaque addition d'acide; elle est causée par un dégagement tumultueux d'acide carbonique. Bientôt celui-ci cesse, tout le carbonate de

potassium est transformé; la liqueur est mise à refroidir lentement et le ballon se remplit de beaux cristaux prismatiques de salpêtre :



Seulement, il n'existe aucune fabrique de salpêtre basée sur ce principe; c'est la nature elle-même qui s'est chargée de cette fabrication. Il suffit à l'homme de recueillir les produits naturels qui se forment constamment. Certains murs placés dans des conditions spéciales se recouvrent d'efflorescences salines qui causent peu à peu la désagrégation des matériaux, on dit que la muraille est atteinte de *carie*. Dans quelques pays de vastes plaines se recouvrent de petits cristaux de salpêtre formé dans le sein du sol; l'Espagne, la Hongrie, l'Égypte, l'Inde, fournissent des exemples remarquables de cette génération saline.

Au Pérou et en Bolivie il existe des gisements presque inépuisables de nitrates; ceux-ci n'y forment pas des efflorescences, mais bien des bancs d'une épaisseur très considérable qu'on exploite au pic et à la poudre.

Beaucoup de plantes renferment des doses notables de nitrates : le tabac auquel il donne la propriété de brûler assez longtemps sans s'éteindre. Tous les fumeurs connaissent ces espèces de combustions vives qui ont lieu surtout dans les côtes de la feuille de tabac qui enveloppe le cigare : c'est une petite déflagration qui s'opère entre le tabac et le nitre qu'il renferme. Souvent dans les fabriques de tabac on charge celui-ci d'un peu de nitre pour augmenter sa combustibilité. La betterave renferme environ 150 gr. de salpêtre par 100 kilogr.

**13. Génération des nitrates naturels.** — Nous disons *des* nitrates naturels, attendu que la nature fournit une assez grande variété de ces sels : les nitrates de calcium, d'ammonium, de potassium, de sodium, de magnésium sont les plus ordinaires.

La nature réalise en grand l'expérience que nous avons faite tantôt; elle fait agir de l'acide azotique sur des composés calciques, ammoniques, potassiques, sodiques, magnésiques qui sont abondants dans le sol.

Comment donc la nature engendre-t-elle l'acide nitrique?

**14. Théories de la nitrification.** — L'acide nitrique peut prendre naissance :

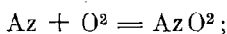
- 1° Par l'union directe de l'azote et de l'oxygène ;
- 2° Par l'oxydation de l'ammoniaque ;
- 3° Par la vie de ferments organisés dits *ferments nitriques*.

**15. Union directe de l'azote et de l'oxygène.** — L'azote a des affinités peu énergiques, il ne peut se combiner directement à l'oxygène que sous l'influence de circonstances spéciales, chose très heureuse pour nous qui vivons dans un mélange intime de ces deux gaz ! Il ne s'unit jamais directement à l'hydrogène et ne se combine au carbone qu'à haute température en présence d'un alcali ou d'un carbonate en fournissant un cyanure.

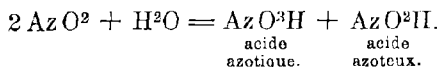
Ce fut Cavendish qui, le premier, en 1786, provoqua l'union directe de l'azote et de l'oxygène par l'étincelle électrique. Nous allons vous en donner la démonstration expérimentale.

Voici un ballon de verre bien sec ; il est fermé par un bouchon de caoutchouc au travers duquel passent, à quelque distance l'un de l'autre, deux fils de platine assez longs. Les extrémités des deux fils sont placées à quelques millimètres de distance l'une de l'autre à l'intérieur du ballon ; les deux autres bouts restés hors du vase sont contournés en boucles. L'ensemble représente assez bien une grosse lampe électrique à incandescence à filament de platine, mais à filament interrompu. Les boucles sont reliées aux bornes d'une forte bobine de Ruhmkorff.

Ce ballon renferme de l'air, faisons jaillir l'étincelle d'induction ; au bout d'une vingtaine de minutes, le ballon est rempli de vapeurs rousses composées de peroxyde d'azote ; il s'est formé :



l'odeur en est manifeste, et si nous versons dans le ballon un peu d'eau distillée, la teinte rousse disparaît, le gaz s'est dissous dans l'eau, laquelle renferme maintenant de l'acide azotique et de l'acide azoteux :



Un papier de tournesol bleu, trempé dans le liquide, rougit immédiatement. Si, au lieu d'employer de l'eau distillée, on fait usage d'eau tenant en dissolution un peu de chaux, ou de potasse, ou de soude, on peut après évaporation recueillir de petites quantités de nitrates de ces bases; il est facile de prouver leur présence au moyen des réactifs de l'acide nitrique.

Versons une partie de l'eau de lavage du ballon dans ce tube à essais; ajoutons quelques parcelles de brucine, puis après quelques gouttes d'acide sulfurique pur : la coloration rouge vive que vous voyez naître est caractéristique de la présence de l'acide nitrique.

La formule indique aussi la présence d'acide nitreux; versons dans un autre tube à essais le restant du liquide de lavage, ajoutons quelques gouttes d'acide sulfurique pur et quelques gouttes du réactif de Trommsdorff <sup>1</sup>; voyez, le liquide bleuit, signe de la présence des azotites.

Dans la nature, cette réaction entre l'azote et l'oxygène se fait, mais par des causes bien plus formidables que les petites étincelles que vous voyez ici; lorsqu'un éclair jaillit dans les nues une quantité très considérable de peroxyde d'azote se forme; ce gaz se dissout dans l'eau d'orage et est entraîné vers le sol sous forme d'acide nitrique. On a constaté que toutes les eaux d'orage renferment des traces souvent considérables d'acide nitrique; celui-ci dans le sol se transforme immédiatement en nitrates.

On a cru longtemps que l'ozone qui se forme lors du passage d'un éclair dans l'air, pouvait, par sa combinaison directe avec l'azote, fournir de l'acide azotique; mais il est prouvé aujourd'hui par les

<sup>1</sup> **Réactif de Trommsdorff.** — On fait bouillir pendant plusieurs heures, 5 grammes d'amidon ou de fécule, avec 20 grammes de chlorure de zinc et 100 cc. d'eau distillée en remplaçant au fur et à mesure l'eau qui s'évapore. On prolonge l'ébullition jusqu'à dissolution presque complète de l'enveloppe du grain d'amidon, on ajoute alors 2 grammes d'iodure de zinc; on étend d'eau à 1000 cc. et on filtre.

Cette solution doit être conservée à l'abri de la lumière.

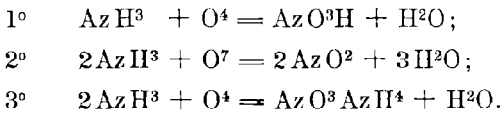
Pour faire un essai, on verse dans le liquide à analyser quelques gouttes d'acide sulfurique étendu, puis quelques gouttes du réactif. Une coloration bleue prouve la présence d'acide azoteux. Celui-ci, en effet, met de l'iode en liberté, lequel bleuit l'empois d'amidon.



expériences de MM. Berthelot et Carius, que l'ozone n'oxyde pas l'azote.

**16. Action des effluves électriques.** — Les quelques orages qui éclatent dans nos contrées ne peuvent pas produire la grande quantité d'acide nitrique qui se forme dans l'air. Les eaux de pluie ordinaires renferment presque toujours des traces de nitrates. L'électricité à faible tension, analogue à l'électricité atmosphérique habituelle, est suffisante pour provoquer l'union lente des éléments de l'air; la petitesse des effets est compensée par leur durée et par l'immensité des surfaces influencées. M. Berthelot explique ainsi la fixation de l'azote dans l'acte de la végétation.

**17. Nitrification de l'ammoniaque.** — L'ammoniaque en présence de l'oxygène peut, dans certaines circonstances, s'y combiner et donner lieu aux réactions suivantes, lesquelles engendrent toutes de l'acide azotique ou à des nitrates :



Nous pouvons, au moyen de plusieurs expériences, vous prouver cette oxydation de l'ammoniaque :

1<sup>o</sup> Voici un tube à une boule dans laquelle se trouve de la mousse de platine. Ce tube est réuni à un flacon de Woulf à deux tubulures, rempli à moitié d'une solution saturée d'ammoniaque. Dans l'une des tubulures passe un tube plongeant au fond du liquide, dans l'autre un tube qui ne le touche pas; des bouchons les maintiennent en place. Dans ce gazomètre se trouve de l'oxygène, qu'on réunit au premier tube du flacon de façon qu'en ouvrant le robinet, l'oxygène est obligé de barboter dans l'ammoniaque; le tube à boule est ainsi traversé par un mélange intime de gaz ammoniac et d'oxygène. On chauffe préalablement la mousse de platine dans la boule au moyen d'une lampe à gaz, de façon à chasser de ses pores tous les fluides étrangers et, quand il est chaud encore, on ouvre le réservoir à oxygène. Immédiatement le platine rougit et il sort du tube, non

plus un mélange intime d'ammoniaque et d'oxygène, mais des vapeurs nitreuses que l'on peut fixer en les faisant barboter dans ce verre à expériences rempli d'eau pure ou légèrement alcaline. En réglant la quantité d'oxygène ou bien en diluant plus ou moins l'ammoniaque liquide, on peut à volonté obtenir de l'acide nitrique ou du nitrate d'ammonium, lequel apparaît sous forme de fumées blanches;

2° Voici une seconde expérience, plus typique encore :

Dans ce verre à précipités se trouve une solution saturée d'ammoniaque; on suspend au-dessus, au moyen d'une tige de verre, un fil de platine enroulé en spirale. Ce fil a  $\frac{1}{2}$  mm. d'épaisseur et fait une vingtaine de tours. L'extrémité de la spirale affleure le liquide. Dans celui-ci plonge jusqu'au fond un tube de verre, il communique avec le gazomètre rempli d'oxygène; on chauffe le fil de platine au rouge vif dans la flamme d'un bec de gaz et on le met en place; le robinet du gazomètre est ouvert et l'oxygène barbotte dans l'ammoniaque; le fil de platine rougit immédiatement avec production de vapeurs blanches d'azotate d'ammonium. Chauffons le vase, afin d'augmenter le dégagement d'ammoniaque gazeux, la réaction devient plus vive, et voyez, le mélange d'oxygène et d'ammoniaque s'enflamme en produisant une série de véritables explosions.

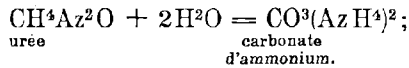
Dans les deux expériences qui précèdent, la combinaison des deux gaz s'est faite avec vivacité à cause de l'incandescence de la mousse de platine ou du platine en fil. On sait que ce métal possède la propriété d'absorber de grandes quantités de gaz. Cette absorption très rapide produit une énorme compression des fluides dans les pores du platine, de là naît une élévation de température suffisante pour rougir le métal. La compression énergique des gaz et la haute température à laquelle ils sont portés provoquent leur combinaison. Celle-ci peut cependant aussi se faire, mais beaucoup plus lentement à la température ordinaire et on peut le prouver de la façon suivante :

Dans ce grand ballon se trouve de l'ammoniaque liquide très dilué et un morceau de phosphore incomplètement immergé; le phosphore s'oxyde lentement au contact de l'air et l'on peut constater dans les vapeurs qui remplissent le vase la présence de nitrate d'ammonium.

Voici encore de la tournure de cuivre mouillée au moyen d'ammoniaque; sous l'action de l'air, il y a également formation de vapeurs blanches riches en azotate d'ammonium.

L'oxydation lente d'une substance combustible peut donc entraîner l'oxydation de l'ammoniaque qui se trouve dans le voisinage.

On pourrait, d'après cela, comprendre la formation du nitre dans les matériaux des maisons et des écuries. Les urines sont riches en urée qui se transforme bien vite en carbonate d'ammonium; l'urine fraîche n'a presque pas d'odeur, mais au bout de peu de temps elle fermente sous l'influence d'un micro-organisme qui provoque la transformation signalée plus haut :

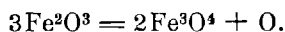


le carbonate d'ammonium, très volatil, produit alors l'odeur ammoniacale des vieilles urines, ce dégagement est surtout très vif dans les tas de fumier. Les vapeurs du sel ammoniacal pénètrent dans les murs poreux et humides, finissent par s'y oxyder et donnent du salpêtre, qui ici est du nitrate de calcium.

On a aussi avancé que l'oxyde de fer, très abondant dans certains terrains, pouvait provoquer l'oxydation de l'ammoniaque dégagée par des matières azotées, telles que les fumiers en décomposition dans le sol. L'oxyde ferrique ( $\text{Fe}^2\text{O}^3$ ) cède facilement de l'oxygène aux substances combustibles avec lesquelles il se trouve en contact; chacun sait que les clous rouillés enfoncés dans du bois s'enlèvent bientôt avec facilité; tout autour du trou, le bois est devenu noir comme s'il avait subi l'action du feu. La rouille, qui est de l'oxyde ferrique hydraté, a peu à peu oxydé ou brûlé le bois par dégagement lent d'oxygène.

On n'ignore pas que les taches de rouille sur le linge font la terreur des bonnes ménagères; la fibre dans ces endroits s'affaiblit de plus en plus et finit par disparaître au moindre frottement.

L'oxyde de fer, pendant cette combustion, s'est transformé en oxyde magnétique :



L'oxyde magnétique reprend lentement de l'oxygène à l'air et régénère l'oxyde ferrique :



lequel accomplit à nouveau un rôle comburant.

D'après Thénard, l'oxyde de fer joue un rôle important dans la végétation; grâce à lui, il y a formation de nitrates.

**18. Nitrification par les ferments organisés.** — Cette nitrification est de beaucoup la plus importante; elle fut découverte par MM. Schloesing et Müntz. Les questions de savoir si les nitrates étaient le résultat d'une réaction directe purement chimique entre l'oxygène et l'ammoniaque, ou s'ils étaient formés par l'intermédiaire d'organismes vivants fonctionnant comme ferments, furent posées depuis le jour où M. Pasteur prouva que les mycodermes du vin et du vinaigre transportent l'oxygène de l'air sur les substances organiques les plus diverses et sont ainsi les agents les plus énergiques de la destruction de la matière organisée qui a cessé de vivre. La nitrification rapide des matières azotées ne serait-elle pas le résultat d'un acte vital?

MM. Müntz et Schloesing voulant étudier la question de la purification des eaux d'égout par leur déversement sur un sol poreux (irrigations sur la plaine de Gennevillers, près Saint-Denis, Paris) firent usage d'un large tube de verre de 1 mètre de longueur, rempli de sable quartzeux calciné au rouge et mêlé de 100 grammes de calcaire en poudre. Ils y versèrent de l'eau d'égout et en quantité telle, qu'il fallut huit jours pour qu'elle descendit. On fit les analyses de l'eau d'égout brute et de l'eau sortant du tube à des intervalles assez rapprochés. Pendant vingt jours la proportion d'ammoniaque resta constante, puis du nitre apparut, apparition coïncidant avec la disparition graduelle de l'ammoniaque.

Si les matières organiques et l'ammoniaque sont brûlées par l'oxygène agissant directement et sans intermédiaire, pourquoi aurait-il fallu vingt jours d'attente? Ce retard se comprend avec l'hypothèse des germes qui ne peuvent agir qu'après l'ensemencement fortuit et leur développement.

Les auteurs eurent l'idée de répandre dans le tube des vapeurs de chloroforme qui suspend, comme on le sait, toute activité chez les germes organisés sans entraver l'action des ferments solubles; la nitrification cessa aussitôt.

L'existence du micro-organisme inconnu étant ainsi prouvée, on parvint bientôt à l'isoler et à étudier les conditions de sa vie. Le micrococcus de la nitrification est punctiforme, brillant, aérobie, il peut être cultivé sur l'eau d'égout stérilisée ou sur des solutions alcalines étendues, contenant un sel ammoniacal et de petites quantités de matières minérales et organiques. La lumière vive empêche l'action du microbe. Son action s'exerce entre des limites déterminées de température : de 5° à 55°C; elle est maximum à la température de 37°. A 100° les corpuscules périssent, il en est de même sous l'influence du chloroforme et des antiseptiques à forte dose. L'humidité leur est indispensable ainsi que l'oxygène. Leur action exige le concours d'une faible alcalinité. La multiplication est lente et semble s'opérer par bourgeonnement. Le ferment nitrique se multiplie en ensemençant un liquide nourricier ou une terre au moyen d'une parcelle de terre arable ou bien encore au moyen de quelques centimètres cubes d'eau d'égout qui en renferme toujours.

**19. M. Winogradsky** est parvenu à obtenir des végétations abondantes et pures de l'espèce nitrifiante en la cultivant dans une solution minérale exempte de toute trace de carbone organique (les milieux de culture gélatinisés ne valent rien). Dans ce liquide, qui ne donnait à l'organisme d'autres composés carbonisés que l'acide carbonique et les carbonates, ni l'abondance de sa multiplication, ni ses propriétés nitrifiantes énergiques ne parurent diminuer pendant plusieurs mois; cet organisme est donc en état d'assimiler le carbone de l'acide carbonique. Le microbe de la nitrification est ainsi capable d'une synthèse complète de sa substance aux dépens de l'acide carbonique et de l'ammoniaque. Il accomplit cette synthèse indépendamment de la lumière et sans autre source de force que la chaleur dégagée par l'oxydation de l'ammoniaque.

A ce point de vue, le ferment nitrificateur se rapproche d'autres espèces curieuses étudiées aussi par M. Winogradsky : 1° les sulfo-

bactéries dont la fonction s'accomplit par l'oxydation de l'hydrogène sulfuré dans les eaux qui se remplissent de soufre, lequel est brûlé à son tour et excrété à l'état d'acide sulfurique; 2° les ferro-bactéries, qui ont pour fonction d'oxyder les sels ferreux. Leur vie est ainsi étroitement liée à la présence de ces composés dans leur milieu nutritif.

Au point de vue de la physiologie générale, l'histoire du ferment nitrificateur nous montre le premier exemple d'une action naturelle de synthèse accomplie à l'abri de la lumière, par des plantes sans chlorophylle.

**20. Conditions de la nitrification.** — La découverte du ferment nitrique et des conditions de sa vie a jeté une vive lumière sur les phénomènes de la nitrification restés si obscurs auparavant.

Les anciens salpêtriers avaient donné les conditions les plus favorables à la nitrification, et nous citerons entre autres : 1° la présence de matières susceptibles de fournir les éléments de l'acide azotique : sels ammoniacaux, substances azotées végétales et animales (fumier); 2° la présence de certaines bases destinées à accélérer la formation de l'acide nitrique en se combinant avec lui : les alcalis, la chaux, la magnésie; 3° le concours de l'humidité dans une certaine mesure, ni trop, ni trop peu; 4° une température de 15 à 20° au moins, la nitrification s'arrêtant à 0°C; 5° l'emploi de matériaux suffisamment poreux pour la libre circulation de l'air; 6° une lumière modérée.

On voit que toutes ces conditions répondent à la vitalité maximum du microbe.

Celui-ci est universellement répandu et son activité permet d'expliquer la formation abondante du nitre dans tous les terrains favorables situés dans les divers pays du globe à température modérée. Si dans nos climats nous ne voyons pas, comme aux Indes et en Égypte, le sol se recouvrir de houppes cristallines de salpêtre, c'est parce que les pluies y sont abondantes; elles entraînent le nitre dans le sol, de là dans les puits et les ruisseaux. Presque tous les puits situés dans les villes contiennent du salpêtre provenant de l'oxydation des matières azotées d'origine animale dont le terrain

finit par être saturé. L'analyse de l'eau d'un puits de Bruxelles nous a donné 290 milligrammes d'anhydride azotique au litre, ou 290 grammes au mètre cube, ce qui correspond à 542 grammes de nitrate de potassium.

§ 2. — EXTRACTION DU SALPÊTRE BRUT.

**21. A) Salpêtre de l'Inde.** — Le Bengale et les environs de Patna fournissent une grande quantité de salpêtre. La formation de celui-ci est dû à l'oxydation des matières organiques provenant des déjections des habitants ou des débordements périodiques des rivières et des fleuves.

Une condition favorable à la nitrification dans ces pays c'est l'absence de pluie. Le nitre se forme presque à la surface du sol et toujours à faible profondeur; les terres imprégnées de ce sel sont humectées chaque nuit par des rosées extraordinairement abondantes; l'eau se sature de salpêtre et vient s'évaporer à la surface par la chaleur du jour; le sol se recouvre de houppes salines et même de cristaux durs de salpêtre. On fait le houssage de ces terres, on jette le tout dans des chaudières remplies d'eau chaude qui laisse déposer les matières insolubles. Le liquide est additionné ordinairement de cendres de bois, lesquelles renferment des doses notables de carbonate de potassium; ce corps transforme les nitrates à base de sodium, de calcium, d'ammonium, en nitrate de potassium. Le liquide décanté et évaporé donne du salpêtre brut, qu'il faut raffiner.

**Analyses de deux échantillons de salpêtre brut (de houssage).**

|                                | A  | B  |
|--------------------------------|--|--|
| Azotate de potassium . . . . . | 8,3  | 2,26   |
| Azotate de sodium . . . . .    | "  | 6,32   |
| Azotate de calcium . . . . .   | 3,7  | "  |
| Chlorure de sodium . . . . .   | 0,2  | 14,81  |
| Sulfate de calcium . . . . .   | 0,8  | 1,43   |
| Sulfate de magnésium . . . . . | "  | 1,38   |
| Carbonate de calcium . . . . . | 35,0   | } 73,80  |
| Eau . . . . .                  | 12,0   |  |
| Matières insolubles . . . . .  | 40,0   |  |
|                                | <hr style="width: 50%; margin-left: auto; margin-right: 0;"/> 100,00 | <hr style="width: 50%; margin-left: auto; margin-right: 0;"/> 100,00 |

A = salpêtre du Bengale (Tirhoot).

B = salpêtre de Patrée (Guzerat).

**22. B) Salpêtre de Ceylan.** — L'île de Ceylan renferme de nombreuses grottes creusées dans des roches calcaires et habitées par d'innombrables bandes de chauves-souris; on racle tous les ans la croûte externe qui est riche en salpêtre.

**23. C) Nitrières artificielles.** — L'homme peut imiter en petit le travail de la nature, en créant des nitrières artificielles; cette fabrication est devenue peu importante aujourd'hui; on fait des tas dont les matières premières sont des terres riches, bien fumées qu'on stratifie avec du fumier; on interpose des claies pour permettre l'accès de l'air. L'humidité est maintenue au moyen d'eau ou d'urine. Au bout d'un certain temps, le tas est jeté dans de l'eau qui dissout le salpêtre.

On recueille aussi du nitre en lessivant les plâtras des écuries. Ce nitre est surtout du salpêtre calcique, qui est transformé en salpêtre potassique par l'addition d'un sel de potassium (cendres de bois).

**24. D) Nitre du Chili.** — Le nitre du Chili n'est pas du nitrate de potassium, mais bien du nitrate de sodium. Les gisements de ce sel se trouvent au sud du Pérou sur le versant oriental des Andes; ils s'étendent jusque dans le désert d'Atacama. Mariano de Rivero



signala, dès 1821, l'existence de ces gisements qui ne furent exploités que vers 1830. Anciennement, les sels extraits étaient dirigés vers le sud du Chili, de là le nom de salpêtre du Chili. Les principaux lieux d'exploitation sont : Tarapaca (Pérou), qui fut annexé au Chili par le traité de 1882 et Antafagasta (Bolivie). Soixante-sept établissements exploitent les gisements de Tarapaca qui couvrent une étendue de 7,823 estacas (2,159,837 hectares). D'après une estimation très modeste, cette surface peut produire 35,203,500 tonnes; en déduisant 20 % de pertes, il resterait 28,162,800 tonnes.

La quantité de produit exporté, déduite des droits perçus de 1830 à janvier 1888 a été de 6,987,224 tonnes, dont 1,127,089 pour l'année 1886-87. L'état possède en outre 10,000 estacas qui ne sont pas exploités et qui, d'après l'estimation précédente, peuvent produire au moins 45,000,000 de tonnes, ce qui représente une somme de 930,000,000 de francs. Il faut ajouter à cela soixante établissements particuliers qui exploitent des gisements sur une étendue de 7,800 estacas; ils peuvent produire annuellement environ 1,350,000 tonnes de nitrate de sodium. Leur production de 1881 à 1886 a oscillé entre 315,000 et 540,000 tonnes par an; pour 1887, elle a été de 686,069 tonnes et celle de 1888, de 810,000 tonnes.

**Recherches sur la formation des gisements de nitrate de soude.** — M. Müntz donne la théorie suivante : en général, la nitrification donne naissance à de l'azotate de calcium et non de sodium; on peut s'expliquer le phénomène par suite des déductions qui suivent : il a d'abord été prouvé par MM. Müntz et Schloësing, que la nitrification est un acte vital produit par un ferment et rendu évident par la présence du phosphate de calcium. En outre, l'iode et le brome qui ne se trouvent dans la nature qu'à l'état d'iodures et de bromures, se présentent dans les gisements de nitrate de soude sous la forme d'iodates et de bromates; or, le ferment nitrique transforme l'iode et le brome en acides iodique et bromique.

Cette présence des éléments iode et brome qui se trouvent en quantités notables dans l'eau de mer, fait penser que cette eau est

intervenue dans la formation des gisements de nitrate; mais comme l'iode et le brome sont dans ce dernier à l'état d'acides, on doit admettre que cette intervention de l'eau de mer s'est produite au moment de la nitrification; en même temps le sel marin faisait double décomposition avec l'azotate calcique. L'expérience prouve en effet que la nitrification peut se faire en présence de l'eau de mer, et qu'un mélange de sel marin et d'azotate de calcium en solution concentrée, laisse déposer du nitrate sodique.

D'autre part, comme le terrain des gisements du Pérou ne paraît pas propre à la nitrification et ne renferme pas de phosphate de calcium, on doit en conclure finalement que la formation du nitrate de sodium a eu lieu en dehors des terrains qu'il occupe actuellement.

#### 25. Composition moyenne des sels extraits. —

|  |            |
|--|------------|
| Nitrate de sodium . . . . .            | 40 à 80 %. |
| Chlorure de sodium . . . . .           | 15 à 40 %. |
| Sulfate et chlorures solubles . . . .  | peu        |
| Iodate de sodium . . . . .             | 0,001.     |
| Sable fin : roches ferrugineuses . . . | 5 à 20 %.  |

**26. Exploitation du minéral.** — Le minéral est extrait au pic et à la poudre, il est aussitôt dissous dans de l'eau bouillante, on sépare les terres insolubles et on fait cristalliser. Les eaux-mères retiennent la majeure partie des chlorures. Le nitre obtenu est égoutté et expédié en sacs vers les ports d'embarquement. C'est surtout le port d'Iquique qui exporte le salpêtre sodique.

Afin d'éviter le transport à dos d'âne du combustible de la côte vers les gisements (situés à 10 ou 12 lieues) et celui du nitre vers la côte, on a proposé de dissoudre le nitre à froid près de la nitrière, et de faire arriver la dissolution sur les bords de la mer à l'aide de conduites; l'opération du raffinage se ferait près des navires.

Le même moyen sert depuis longtemps pour le transport du pétrole brut dans l'Amérique du Nord et en Russie.

**27. Analyse de nitrates de bonnes fabriques. —**

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| Azotate de sodium . . . . .  | 96,00  |
| Chlorure de sodium . . . . . | 1,00   |
| Sulfates solubles . . . . .  | 0,50   |
| Matières insolubles. . . . . | 0,25   |
| Eau. . . . .                 | 2,25   |
|                              | <hr/>  |
|                              | 100,00 |

Les eaux-mères qui ont servi à dissoudre le salpêtre brut, sont employées au traitement de nouvelles quantités de minerai. Les eaux mères des dernières opérations sont riches en iodates et sont traitées pour en retirer l'iode.

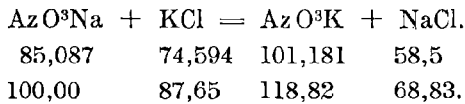
§ 3. — CONVERSION DU NITRE SODIQUE.

**28.** — On appelle ainsi la transformation de l'azotate de sodium en azotate de potassium. Le produit de l'opération se nomme *nitre converti* ou *nitre de conversion*.

La conversion peut se faire de plusieurs manières :

**29.** — A) On met en présence du nitrate de sodium et du chlorure de potassium.

La réaction suivante s'opère :



**30.** — La conversion au moyen du chlorure de potassium se fait aujourd'hui économiquement, grâce à la découverte de gisements extrêmement riches de ce sel, en Allemagne. Il existait à Stassfurt, petite ville de la Saxe prussienne, des sources d'eau salée; on creusa, de 1839 à 1843, plusieurs puits destinés à rechercher le sel gemme; celui-ci se rencontra en couches puissantes à la profondeur de 324 mètres. On avait traversé, à la profondeur de 255 mètres, des couches de sel à mauvais goût que l'on rejeta pendant longtemps

comme étant sans valeur. Ces couches étaient extrêmement riches en chlorure de potassium, et elles sont actuellement exploitées de préférence au sel gemme.

On trouve dans les exploitations souterraines de Stassfurt une assez grande quantité de couches salines de compositions chimiques différentes, elles sont superposées par ordre de solubilité des sels dans l'eau; elles montrent en toute évidence que le gisement se trouve au milieu d'une masse provenant du dessèchement d'un lac salé, longtemps alimenté par l'eau de la mer. Ces couches se trouvent exactement dans l'ordre où se déposent les sels, soit dans les salins de la Méditerranée, soit dans les lacs salés de l'époque actuelle.

**31.** — Les couches se composent en commençant par la partie supérieure : de *tachhydrite* ( $\text{CaCl}^2 + 2\text{MgCl}^2 + 12\text{H}^2\text{O}$ ); de *carnalite* ( $\text{KCl} + \text{NaCl} + \text{MgCl}^2 + 6\text{H}^2\text{O}$ ); de *sylvine* (KCl pur); de *hiésérite* ( $\text{SO}^4\text{Mg} + \text{H}^2\text{O}$ ); de *sel gemme impur* ( $\text{NaCl} + \text{SO}^4\text{Ca} + \text{SO}^4\text{K}^2 + \text{H}^2\text{O}$ ); etc., etc.

**32. Traitement de la carnalite.** — La composition de la carnalite impure est en moyenne :

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Chlorure de magnésium . . . . . | 20  |
| Id. potassium . . . . .         | 16  |
| Id. sodium . . . . .            | 25  |
| Sulfate de magnésium . . . . .  | 10  |
| Eau et impuretés . . . . .      | 29  |
|                                 | 100 |

On dissout le sel impur dans une quantité limitée d'eau chaude et, par des cristallisations successives, on en retire le chlorure de potassium.

**33. Opérations de la conversion.** — Il est facile, d'après la formule de réaction que nous avons donnée plus haut, de calculer les doses des deux sels à mettre en présence. Le calcul des poids moléculaires fournit :  $100 \text{ Kg. AzO}^3\text{Na} + 87,76 \text{ Kg. KCl} = 118,94 \text{ Kg. AzO}^3\text{K} + 68,82 \text{ Kg. NaCl}$ .

En pratique, on emploie ordinairement 110 Kg.  $\text{AzO}^3\text{Na}$  et 84 Kg.  $\text{KCl}$  à cause des impuretés que ces sels renferment.

Il est à noter qu'après réaction, la solution saline renfermera les quatre sels, et cela d'après la règle de l'action mutuelle des sels. Du nitrate de potassium et du chlorure de sodium prennent naissance, mais cette génération s'arrête à une certaine limite, par suite d'une espèce d'équilibre qui se produit entre le système des quatre sels.

La dissolution des sels se fait dans de grandes chaudières au moyen de l'eau chaude, et en quantités telles, que le salpêtre formé ne se précipite pas; le sel marin, au contraire, moins soluble à chaud, se dépose.

Les sels sont séparés les uns des autres par une analyse basée sur les différences de leurs solubilités à chaud et à froid.

100 parties d'eau dissolvent :

|                             | à 0° | à 10° | à 100° |
|-----------------------------|------|-------|--------|
| Chlorure de potassium . . . | 28,5 | 32    | 57     |
| Id. sodium . . .            | 35,5 | 35,7  | 39,6   |
| Azotate de sodium . . .     | 71   | 78    | 178    |
| Id. potassium . . .         | 13   | 22    | 246    |

On voit par le tableau précédent que le nitrate de potassium est beaucoup plus soluble à chaud qu'à froid; que le chlorure de sodium est presque aussi soluble à froid qu'à chaud.

On remplit la chaudière d'eau qu'on chauffe à 100°; on y verse le nitrate de soude et la quantité correspondante de chlorure de potassium <sup>1</sup>. On remue pour hâter la dissolution; la réaction s'opère au fur et à mesure de la dissolution du chlorure de potassium, mais en même temps l'excès de chlorure de sodium se précipite. La réaction étant complète, on enlève les sels déposés; ils sont jetés dans des pauiers d'osier placés sur les rebords de la chaudière et ils égouttent dans celle-ci. La solution chaude de la chaudière ne ren-

<sup>1</sup> Souvent les chlorures sont mêlés de sulfate de potassium; on ajoute du chlorure de calcium qui donne du sulfate de calcium qui se dépose et du chlorure de potassium.

ferme donc plus que du nitrate de potassium, du chlorure de sodium et des traces de nitrate de sodium et de chlorure de potassium. D'après le tableau des solubilités on voit que l'azotate de potassium est très peu soluble à froid; par conséquent, si on laisse refroidir la solution, ce sel va se précipiter, accompagné d'un très léger dépôt de sel marin. La cristallisation se fait rapidement en versant la solution chaude dans des bacs métalliques plats appelés *cristallisoirs*. On a soin de remuer constamment le liquide qui se refroidit, de façon à obtenir de petits cristaux. La température de l'eau étant descendue à la chaleur ambiante, on décante les eaux-mères saturées de nitre et de sel marin. Le nitre potassique est jeté dans des bacs en bois (bacs à laver) dans lesquels on lui fait subir des lavages à l'eau froide.

L'opération de la conversion fournit donc :

1° Du sel marin, contenant encore du salpêtre provenant de l'eau-mère. On peut extraire ce salpêtre par lavage;

2° Du salpêtre provenant des cristallisoirs. Il est impur et renferme les quatre sels de la réaction. Il doit être raffiné;

3° Des eaux-mères saturées de sel marin et de nitrate de potassium.

**34. Lavage du salpêtre.** — Le salpêtre obtenu dans les cristallisoirs demande à être raffiné; il est placé dans des bacs à laver où on l'arrose avec de l'eau de pluie froide; celle-ci dissout plus facilement les chlorures et le nitrate de sodium que le nitrate de potassium. Nous donnerons les détails plus loin (n° 44).

**35. B) Chlorure de potassium de l'eau de la mer.** — L'eau de la mer renferme du chlorure de potassium en assez grande abondance; on peut retirer ce sel par des concentrations et des refroidissements convenables.

**36. C) Chlorure de potassium des varechs.** — Les varechs sont des plantes marines exploitées pour le brome et pour l'iode, ils contiennent du chlorure de potassium.

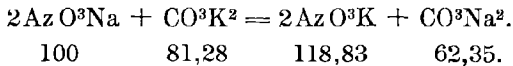
Cinq à six tonnes de varechs donnent une tonne de cendres, contenant 220 à 260 Kg. de chlorure potassique au titre de 80 %. En Angleterre on traite plus de 15 millions de tonnes de varechs annuellement.

**37. D) Conversion du nitrate de sodium par le carbonate de potassium.** — On peut employer dans certaines circonstances le carbonate de potassium. Ce sel provient surtout de l'exploitation des *vinasses de betteraves*. Les betteraves sont pulpées et écrasées pour en exprimer le jus sucré. Le produit solide comprimé ou mélasse de betteraves est soumis à la fermentation et distillé; il produit de l'alcool et un résidu appelé *vinasse de betteraves*. Celle-ci est incinérée dans une espèce de four à réverbère; on obtient ainsi des cendres ou *salins de betteraves* riches en carbonate de potassium. La composition se rapproche de :

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Sulfate de sodium . . . . . | 4  |
| Chlorure " . . . . .        | 20 |
| Carbonate " . . . . .       | 18 |
| "    de potassium . . . . . | 32 |
| Matières terreuses. . . . . | 26 |

Ce salin lavé méthodiquement donne par des cristallisations le carbonate de potassium. La culture de la betterave est extrêmement répandue dans le nord de la France et dans notre pays.

La formule de réaction est :



La méthode est avantageuse à cause du carbonate de sodium qui se forme en même temps que le nitre. Cependant ce procédé n'est pas économique à cause du prix élevé du carbonate de potassium.

**38. — E)** On peut encore retirer beaucoup de carbonate de potassium du *désuintage des laines*. La laine brute ou *en suint* contient une matière grasse à odeur forte ou suint, qui est le produit de la transpiration du mouton plus ou moins modifié par les agents extérieurs, c'est un véritable savon de potassium (valérate de potassium) accompagné d'une matière odorante spéciale. On débarrasse la laine de son suint par des lavages à l'eau tiède additionnée d'un peu de carbonate d'ammonium.

Les eaux de lavage sont évaporées et le résidu est calciné, on obtient un charbon très alcalin dont l'eau sépare du carbonate de potassium presque pur. Le suint de 1000 kilogrammes de laine donne environ 75 kilogrammes de carbonate de potassium. En Belgique, le lavage des laines produit plus de 4 millions de kilogr. de suint.

**39. Extraction du salpêtre des sels d'osmose des fabriques de sucre.** — M. Faucher, ingénieur en chef des poudres et salpêtres, constate dans la betterave la présence d'une grande quantité de salpêtre, la teneur moyenne atteint 150 gr. par 100 kilogr. de betteraves.

On ne retrouve pas ce salpêtre dans les salins de betteraves, attendu que, pendant la calcination, il est transformé en carbonate de potasse.

L'osmose permet de retirer le salpêtre du suc sucré des betteraves. L'osmose a pour but d'enlever aux mélasses la majeure partie des sels qu'elles contiennent. Si l'on place une couche de mélasse à sa densité normale (40° B.) au-dessus ou à côté d'une couche d'eau dont elle est séparée par une feuille de papier parchemin, cette feuille de papier, primitivement imperméable aux deux liquides, devient au contraire perméable à chacun d'eux lorsqu'ils baignent les deux côtés de la feuille. Il s'établit à travers la feuille de papier parchemin deux courants en sens contraire, l'un allant de l'eau vers la mélasse et l'autre allant de la mélasse vers l'eau.

Le premier courant se nomme *endosmose* et l'autre *exosmose*. Le dernier se charge des sels contenus dans la mélasse et surtout de nitrate de potassium et de chlorure de potassium.

L'osmogène de Dubrunfaut, employé dans les sucreries, se compose d'une série de cadres garnis d'un côté de papier parchemin qui sont réunis (au nombre de 50 environ) de telle manière que l'on peut établir un courant de mélasse dans les cadres de rang pair (par exemple) et un courant d'eau dans les cadres de rang impair. Les eaux d'exosmose sortent de l'osmogène à 2° ou 3° B. chargées des sels de la betterave.

Ces eaux autrefois non utilisées sont actuellement évaporées à



40° B. et elles cristallisent par refroidissement : elles abandonnent du nitrate de potassium et du chlorure de potassium.

Voici la composition des sels (qui du reste est variable) :

|  |       |
|--|-------|
| Nitrate de potassium . . . . .         | 50    |
| Chlorure " . . . . .                   | 35    |
| Sulfate " . . . . .                    | 2     |
| Sucre et matières organiques . . . . . | 8     |
| Humidité et insolubles . . . . .       | 5     |
|  | <hr/> |
|  | 100   |

M. Faucher amène ces sels d'osmose à une teneur de 90 à 95 pour 100 de salpêtre par un clairçage à l'eau saturée de salpêtre. Les sels sont placés dans des cuiviers où ils restent en imbibition pendant deux heures avec 50 litres d'eau saturée par 100 Kg. de sel. On les verse alors dans le panier d'une turbine et on les essore pendant cinq minutes. Les sels ramenés au fond du panier sont imbibés à nouveau pendant un quart d'heure avec 30 litres d'eau saturée par 100 Kg. de sel, puis turbinés pendant cinq minutes. Enfin on fait une dernière imbibition dans la turbine même, pendant un quart d'heure avec la même quantité d'eau saturée et l'on turbine dix minutes.

M. Faucher estime que l'on pourrait retirer annuellement en France 7,500.000 Kg. de salpêtre des sucreries. (Mémoire original : *Mémorial des poudres et salpêtres*, tome I, p. 262).

#### § 4. — RAFFINAGE DU SALPÊTRE BRUT.

40. — La nature ou l'industrie fournit le salpêtre brut qui contient des matières terreuses, du nitrate de soude, des chlorures sodique et potassique. Il faut enlever ces substances du nitre destiné à la fabrication de la poudre, à cause de leur hygroscopicité.

Le raffinage comprend les opérations suivantes : 1° la dissolution ; 2° le collage ; 3° la cristallisation ; 4° le lavage des cristaux ; 5° le séchage.

41. **Dissolution.** — Dans une chaudière en cuivre rouge, on

introduit 100 litres d'eau et 1,300 Kg. de nitre, on pousse le feu modérément. Après cinq heures, on ajoute du salpêtre de façon à atteindre le poids total de 3500 Kg.; on agite constamment pour hâter la dissolution et empêcher la formation de croûtes dans le fond de la chaudière. Au bout de quinze à seize heures, l'ébullition commence; on écume de temps en temps après avoir arrêté l'ébullition par l'addition d'eau froide. Les chlorures se précipitent, on les enlève au moyen d'une écumoire.

**42. Collage.** — Il a pour but d'enlever les matières albuminoïdes colorantes, les pailles, etc., il remplace une filtration.

On dissout un kilogramme de colle forte dans 20 à 30 litres d'eau; on verse la moitié de ce liquide dans la chaudière de raffinage. La gélatine, soluble dans l'eau chaude, se coagule dans la solution salpêtrée et forme une espèce d'éponge qui, montant peu à la surface, emprisonne dans ses mailles toutes les matières en suspension; un deuxième collage clarifie complètement la masse. Le bain est chaque fois écumé. On laisse ensuite éteindre le feu et les terres lourdes se déposent au fond de la chaudière.

**43. Cristallisation.** — Le liquide est décanté au moyen de puisards dans des augets de bois recouverts de cuivre qui le conduisent dans des cristallisoirs. Ceux-ci sont des espèces de vases plats en cuivre de 5 à 6 mètres de longueur et de 3 à 4 mètres de largeur avec de larges rebords en bois. Le fond n'est pas horizontal, il est composé de deux plans légèrement inclinés qui se coupent suivant une arête centrale arrondie parallèle aux longs côtés du cristallisoir; cette arête a elle-même une légère inclinaison; à son point le plus bas se trouve un tron fermé au moyen d'une bonde.

La liqueur salpêtrée chaude se refroidit rapidement au contact des parois du cristallisoir et de l'air ambiant, elle laisse précipiter le nitrate de potassium; des ouvriers remuent énergiquement le liquide au moyen de rabloires (espèces de râteaux sans dents et à longs manches) dans le but d'obtenir de petits cristaux; ils sont ramenés sur les bords du cristallisoir où ils s'égouttent. La cueillette des cristaux est arrêtée lorsque le liquide est arrivé à la température ambiante. L'eau-mère est évacuée dans des citernes en enlevant la bonde.

**44. Lavage des cristaux.** — Il a pour but d'enlever au salpêtre des cristallisoirs les dernières traces des sels hygroscopiques qui le souillent encore. Remarquons que le salpêtre potassique est beaucoup moins soluble dans l'eau froide que les chlorures et le nitrate sodique. En faisant passer de l'eau pure en quantité limitée sur le salpêtre, cette eau se charge de préférence des sels étrangers.

Le lavage s'opère dans des bacs à laver ; ce sont des caisses en bois à parois un peu inclinées ; leur hauteur est de 1<sup>m</sup>80, leur largeur en haut 1<sup>m</sup>45, en bas 1<sup>m</sup>20, leur longueur 2<sup>m</sup>50. Le bac possède deux fonds : celui d'en dessous est plein ; l'autre, placé à 0<sup>m</sup>25 plus haut, est percé de trous ; le salpêtre peut ainsi s'égoutter dans l'espace qui sépare les fonds et le liquide s'écoule par des trous percés dans la paroi de devant et se rend dans les citernes. Ces trous peuvent être fermés par des chevilles.

On procède à deux lavages :

*1<sup>er</sup> lavage.* — On arrose le salpêtre déposé dans les caisses à laver avec de l'eau de pluie à raison de 450 kilogrammes d'eau pour 3600 kilogrammes de salpêtre ; deux ou trois heures après l'arrosage, on ôte les chevilles des caisses pour en faire écouler l'eau dans un réservoir et on laisse égoutter pendant plusieurs heures.

*2<sup>e</sup> lavage.* — On procède comme ci-dessus et on laisse égoutter pendant 4 ou 5 jours.

Les eaux-mères provenant du premier lavage sont employées plus tard à l'alimentation d'une chaudière de rebouillage (voir le traitement des eaux-mères n° 47) ; celles du deuxième étant saturées de salpêtre sont réservées à la dissolution du salpêtre brut du brassin suivant.

Lorsque le salpêtre est lavé, il est analysé.

**45. Le séchage.** — On dispose sur trois séchoirs environ 200 kilogrammes (par séchoir) de salpêtre en couche de 3 à 4 centimètres, on concasse les grumeaux à la pelle et au besoin à l'aide de cylindres cannelés.

Le séchoir consiste en un bac plat formé de feuilles de cuivre, disposé sur des carnaux et chauffé par la chaleur perdue des chaudières de rebouillage. Le nitre est enfin tamisé.

**46. Produits du raffinage.** — 1° Du salpêtre raffiné ; 2° des eaux

de cristallisation qui doivent être traitées plus tard ; 3° des eaux de lavage saturées de salpêtre et à employer dans les raffinages suivants ; 4° des écumes, boues, dépôts et balayures d'ateliers.

**47. Traitement des eaux-mères.** — On emploie de petites chaudières, dites *de rebouillage*, une grande chaudière de raffinage avec chaudron en cuivre suspendu au moyen d'une chaîne et d'une poulie, des paniers en osier, des rafraîchissoirs, des bassines à main, des écumeurs et autres menus ustensiles.

On concentre les eaux-mères, dites de *première cuite*, dans une chaudière de rebouillage ; par des additions et des évaporations successives on enlève les écumes de la surface et on retire de temps en temps les chlorures qui se précipitent au fond ; on les dépose pour les laisser égoutter dans les paniers d'osier placés sur une traverse en bois au-dessus et un peu sur le côté de la chaudière.

Après l'évaporation d'un volume d'eau double de celui qui reste dans la chaudière, on verse la liqueur, au moyen d'une bassine, dans un rafraîchissoir (cuve cylindrique, n° 48, nota), où on laisse cristalliser par refroidissement ; après quelques jours, on décante l'eau surnageante, que l'on désigne par *eau de deuxième cuite*, puis on laisse égoutter les cristaux dans des paniers d'osier.

On concentre l'eau de deuxième cuite et on la traite de la même manière que ci-dessus. On traite de même l'eau de troisième cuite et toutes les eaux-mères.

Les cristaux retirés de ces diverses opérations sont incorporés au salpêtre brut, lors du commencement d'une nouvelle opération de raffinage.

Lorsqu'on a de grandes quantités d'eau de troisième cuite, il est plus économique de la concentrer dans une grande chaudière de raffinage ; on peut y ajouter les eaux de lavage obtenues, comme il sera indiqué plus loin, par le traitement des boues, des écumes et des balayures d'ateliers. Pendant la concentration de ces eaux, un petit chaudron en cuivre, suspendu à une pièce de charpente, est plongé au centre de la masse liquide ; il sert à recueillir les matières que le mouvement de l'ébullition amène de la circonférence au centre. Ce chaudron est maintenu en place au moyen de deux rin-

gards mis en croix sur les bords de la chaudière; il est vidé toutes les trois heures dans une futaille remplie aux trois quarts d'eau. Par le repos, le contenu de la futaille se divise en deux; l'eau surnageante est reversée dans la chaudière et les impuretés solides sont jetées en trois tas.

On concentre la liqueur de la chaudière jusqu'au tiers de son volume; on enlève les chlorures qui se précipitent et, enfin, on transvase la liqueur concentrée dans des rafraîchissoirs, où on laisse cristalliser lentement le salpêtre.

Le produit du traitement des eaux-mères sont :

1° Du salpêtre brut en cristaux à remettre au raffinage avec le salpêtre ordinaire;

2° Des eaux à traiter comme plus haut;

3° Des écumes, boues, balayures à traiter comme il va être indiqué;

4° Du sel marin à jeter en tas.

**48. Traitement des écumes, boues, balayures.** — Elles sont jetées dans une grande cuve en bois remplie d'eau, on laisse reposer, on décante les eaux surnageantes à mesure qu'elles deviennent claires et on les verse dans la petite chaudière de rebouillage pour être traitées comme eaux-mères, ou bien dans la grande chaudière de raffinage avec les eaux de troisième cuite (lorsqu'il y en a beaucoup).

Les produits sont :

1° Des eaux plus ou moins chargées de salpêtre;

2° Des boues à jeter en tas;

3° Du sel marin à jeter en tas.

*Nota.* — Les chaudières de rebouillage sont semblables aux grandes chaudières de raffinage :

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| Diamètre supérieur . . . . . | 1 <sup>m</sup> 50. |
| Profondeur . . . . .         | 1 <sup>m</sup> 10. |

Le rafraîchissoir est une cuve cylindrique en cuivre :

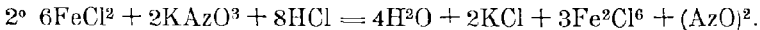
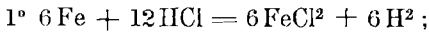
|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| Hauteur . . . . .  | 1 <sup>m</sup> 00. |
| Diamètre . . . . . | 1 <sup>m</sup> 50. |

**49. Degré de raffinage.** — Anciennement le nitre devait être raffiné au  $\frac{1}{3000}$  en Belgique. Actuellement, le règlement exige que le nitre, retiré de la poudre par lavage à l'eau distillée, ne renferme pas plus de  $\frac{1}{8000}$  de chlorures; cette condition oblige le raffinage du salpêtre au  $\frac{1}{12000}$ .

§ 5. — ANALYSE DU SALPÊTRE.

**50. Dosage du salpêtre brut.** — Ce dosage a pour but de rechercher combien de salpêtre réel est contenu dans un poids donné de salpêtre brut offert en vente.

**51. Procédé Pelouze.** — Ce procédé est basé sur les réactions suivantes :



Le calcul des poids atomiques, fait au moyen de ces formules, nous apprend que 2 grammes de fer pur, dissous dans de l'acide chlorhydrique, sont transformés intégralement en chlorure ferrique par 1 gr. 204 de salpêtre chimiquement pur.

Il est évident que si, au lieu d'employer 1 gr. 204 de nitre chimiquement pur, on fait usage du même poids de salpêtre impur, il restera dans le liquide de la réaction une certaine quantité de chlorure ferreux non transformé qu'on pourra doser au moyen de permanganate de potassium titré.

Par une soustraction, on obtiendra le poids du chlorure ferreux transformé en chlorure ferrique et enfin une simple proportion donnera le salpêtre correspondant.

On fait usage d'un ballon d'une contenance d'environ 300 cc. bien sec et fermé par un bouchon en caoutchouc à trois trous. Dans le premier trou passe un tube courbé à angle droit qui amène vers le fond du ballon un courant d'hydrogène purifié par de la potasse caustique; pour cela, le gaz passe dans un tube en U renfermant la potasse en petits morceaux. Dans le second trou passe un tube pour

l'évacuation des gaz, il communique avec un tube en U renfermant un peu d'eau qui joue le rôle d'obturateur mobile. On peut aussi faire plonger ce tube dans un verre à expériences contenant de l'eau alcalinisée pour absorber plus tard les vapeurs incommodes d'acide chlorhydrique.

Dans le trou du milieu passe un entonnoir à robinet à longue tige à bout effilé, lequel est arrêté vers le centre du ballon. Au lieu d'un entonnoir à longue tige et robinet, on emploie souvent un simple tube de verre relié à un entonnoir ordinaire par un tube en caoutchouc qui peut être serré au moyen d'une pince à vis.

On pèse à la balance de précision 2 grammes de fil de fer de clavecin nettoyé au papier émeri, puis poli avec du papier à filtrer, on introduit le fer dans le ballon bien séché, puis le bouchon muni de ses tubes est mis en place. On fait passer le courant d'hydrogène de manière à priver tout l'appareil de l'air atmosphérique; le robinet de l'entonnoir sera ouvert un instant, puis fermé. Il est important, en effet, d'empêcher l'action de l'air sur le chlorure ferreux qui va prendre naissance dans un instant.

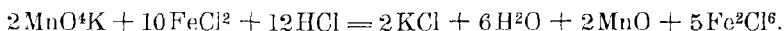
On introduit ensuite dans l'entonnoir 40 à 50 cc. d'acide chlorhydrique concentré, en ayant soin préalablement de soulever le tube à entonnoir, pour que son extrémité inférieure ne plonge pas dans le liquide. Le robinet est ouvert avec précaution et on laisse couler peu à peu l'acide dans le ballon jusqu'à dissolution complète du fer. Il faut laisser toujours un peu d'acide dans l'entonnoir, afin que l'air ne puisse s'introduire dans l'appareil. La dissolution est rendue plus active à la fin par une chauffe modérée.

Pendant ce temps on dissout dans un peu d'eau distillée 1<sup>er</sup>204 du salpêtre brut à essayer tel quel; cette liqueur est versée dans l'entonnoir, mais seulement quand tout le fer est dissous; on ouvre le robinet et le liquide salpêtré est introduit en partie dans le ballon; on ferme le robinet dès que le liquide va le dépasser; on lave le vase qui a contenu le salpêtre, avec un peu d'eau distillée qu'on reverse dans l'entonnoir; en définitive, on fait en sorte que tout le salpêtre pénètre dans le ballon sans y laisser pénétrer de l'air. On lave une dernière fois l'entonnoir avec de l'acide chlorhydrique fumant.

qu'on introduit dans le ballon, avec la précaution connue. On porte le ballon, maintenant rempli à moitié, à une ébullition très modérée; on chauffe jusqu'à ce que la couleur très foncée du liquide (par suite de l'absorption du bioxyde d'azote) ait pris la couleur rubis du perchlorure de fer; c'est un point très important à réaliser. Le bioxyde d'azote doit être absolument expulsé. Il faut éviter une ébullition trop vive, qui occasionne un dépôt de sel solide sur les parois du ballon.

La réaction étant achevée on laisse refroidir, on active le passage de l'hydrogène pour empêcher la rentrée de l'air, on étend d'eau distillée privée d'air par l'ébullition. Le tout est versé, sans rien perdre, dans un grand vase à précipités, on étend encore fortement d'eau distillée fraîchement bouillie, et on dose de suite dans ce liquide le chlorure ferreux au moyen de permanganate de potassium titré.

Le principe sur lequel repose l'emploi du permanganate de potassium, connu aussi sous le nom de *caméléon*, est indiqué par la formule suivante :



Le caméléon transforme, comme on le voit, le chlorure ferreux en chlorure ferrique. Ce corps rouge-violet a un grand pouvoir colorant; lorsqu'on verse goutte à goutte de sa solution aqueuse dans de l'eau qui renferme du chlorure ferreux, il se décolore instantanément; il faut avoir soin d'ajouter un peu d'acide sulfurique pour dissoudre l'oxyde manganoux (MnO), précipité ocreux, qui diminuerait la netteté de l'apparition de la couleur rose, laquelle est l'indice de la fin de l'oxydation.

Une seule goutte de caméléon en excès suffit pour teindre en rose permanent la solution de fer perchloruré.

Pour opérer le titrage, on dissout 5 grammes de caméléon dans un litre d'eau distillée, on mélange bien et on remplit de la liqueur rose une burette à robinet graduée en  $\frac{1}{10}$  de cc. On met à niveau au zéro. Il faut éviter les burettes à pince de Mohr, dont le caoutchouc altère le permanganate.



D'autre part, on dissout, dans un ballon privé d'air, 0<sup>gr</sup>2 de fil de clavecin au moyen de l'acide chlorhydrique, on dilue fortement avec de l'eau distillée fraîchement bouillie, on ajoute quelques centimètres cubes d'acide sulfurique, puis on laisse couler goutte à goutte la solution de caméléon; on agite avec une baguette de verre; la décoloration, instantanée dans le principe, devient de plus en plus lente et le liquide prend enfin une teinte rose permanente; on ferme le robinet, on lit sur la burette le nombre de centimètres cubes de caméléon employés et on a ainsi le titre qui doit se rapprocher de 25 cc. Ce titre reste constant pendant un temps assez long, on l'inscrit sur l'étiquette du flacon.

Au lieu de procéder comme nous venons de l'indiquer, il est plus simple de faire usage du sulfate double de fer et d'ammonium ( $\text{SO}^4\text{Fe}$ ,  $\text{SO}^4(\text{AzH}^4)^2$ ,  $6\text{H}^2\text{O}$ ) qui, contrairement au chlorure ferreux, se conserve bien à l'air; ce sel renferme exactement  $\frac{1}{7}$  de son poids de fer métallique.

On dissoudra donc  $7 \times 0^{\text{gr}}2$  de sulfate double dans de l'eau distillée bouillie, et on opérera le titrage (après addition d'un peu d'acide sulfurique) comme nous l'avons indiqué précédemment. Le résultat sera exactement le même.

Le titre étant ainsi obtenu, on recherche, dans le liquide du ballon, la quantité de chlorure ferreux qu'il contient et l'on suivra exactement le procédé du titrage.

Supposons qu'il faille  $a$  centimètres cubes; si le titre du caméléon est  $t$ , on aura :

$$\frac{0,2}{t} = \frac{x}{a}; \quad \text{d'où } x = \frac{0,2 \times a}{t}.$$

Voilà la quantité de chlorure ferreux qui a échappé à l'action du nitre à essayer.

Donc :  $2 - 0^{\text{gr}}2 \times \frac{a}{t}$  sera la quantité de fer qui a été perchloruré par 1<sup>gr</sup>204 de nitre impur. Or, si 2 grammes de fer sont perchlorurés par 1<sup>gr</sup>204 de nitre chimiquement pur;  $2 - 0,2 \times \frac{a}{t}$  grammes de

fer seront perchlorurés par :

$$1,204 \left( \frac{2 - 0,2 \frac{a}{t}}{2} \right),$$

ou bien, en réduisant en centièmes :

$$1,204 : 1,204 \left( \frac{2 - 0,2 \frac{a}{t}}{2} \right) = 100 : x \text{ ou } x = \left( 100 - 10 \frac{a}{t} \right) \%.$$

Il faut, pour que cette méthode donne de bons résultats, que le salpêtre ne renferme aucune substance organique susceptible d'être oxydée par le permanganate de potassium.

**52. Méthode Schloesing.** — Le principe de cette méthode est le même que celui dont on fait usage dans le procédé Pelouze, seulement on mesure le volume  $V'$  du bioxyde d'azote dégagé par un poids déterminé de nitre à essayer, et on le compare au volume  $V$  dégagé par un même poids de nitre chimiquement pur, traité dans les mêmes conditions. L'opération n'est pas influencée dans son exactitude par la présence de matières organiques.

L'appareil dont nous avons fait usage dans la méthode Pelouze peut servir. Il suffira de fermer le tube d'arrivée du gaz hydrogène au moyen d'un tube en caoutchouc, bouché avec un morceau d'agitateur. Le tube de dégagement du gaz est remplacé par un tube propre à recueillir le bioxyde d'azote dans une cloche graduée et plié suivant l'usage. La portion horizontale inférieure du tube est assez longue et plonge dans l'eau froide d'une cuvette plate de verre ou de porcelaine. Il est bon que ce tube de dégagement soit formé de plusieurs pièces réunies par de bons tubes de caoutchouc, afin de lui enlever de sa raideur; il est même prudent, pour éviter des absorptions, de munir un de ces bouts de caoutchouc d'une pince de Mohr; on peut ainsi isoler à un moment donné, le ballon de l'eau de la cuvette.

La première opération à exécuter, c'est de purger l'appareil de tout l'air qu'il renferme. On introduit dans le ballon, par l'enton-

noir, 40 à 50 cc. d'une solution saturée de chlorure ferreux, puis une égale quantité d'acide chlorhydrique. On ferme le robinet au moment où l'entonnoir va se vider, puis on chauffe à l'ébullition. Lorsque la colonne liquide, qui se meut dans la partie horizontale du tube de dégagement, ne se sépare plus par des bulles gazeuses, on est certain que tout l'air est chassé. On continue l'ébullition jusqu'à la fin de l'analyse.

On dispose la cloche à gaz remplie d'eau au-dessus de l'extrémité du tube de dégagement. Cette cloche est graduée en 100 cc. et en dixièmes. Au moyen d'une pipette graduée, on laisse couler dans l'entonnoir 5 cc. d'une liqueur type de salpêtre, obtenue en dissolvant 80 grammes de nitre chimiquement pur fondu, dans un demi-litre d'eau, et en complétant à 1000 cc. On pourrait aussi dissoudre 100 grammes de salpêtre de façon à faire 1000 cc. de liqueur et n'en prendre que 4 cc. Quoi qu'il en soit, la dose de salpêtre introduite dans l'entonnoir est de 0<sup>gr</sup>4, elle est évacuée dans le ballon par le jeu du robinet. Celui-ci doit être manié comme dans la méthode Pelouze, de façon à empêcher l'entrée de l'air qui causerait instantanément la transformation du bioxyde d'azote en peroxyde et l'opération devrait être recommencée. Il faut donc toujours conserver un peu de liquide au-dessus du robinet.

On rince à plusieurs reprises l'entonnoir avec de l'eau distillée, afin d'être certain que tout le salpêtre a pénétré dans le ballon. Ces liquides froids doivent être introduits goutte à goutte afin d'éviter l'absorption du liquide de la cuvette. Si, dans le cours du dégagement, la quantité de liquide du ballon devient trop faible, on peut parfaitement faire pénétrer de l'eau par l'entonnoir.

Le dégagement de bioxyde d'azote commence aussitôt après l'introduction du salpêtre; on recueille environ 95 cc. Lorsque le gaz cesse d'arriver, on enlève la cloche en fermant l'extrémité inférieure avec le pouce et on la plonge dans une longue éprouvette à pied remplie d'eau. On ne mesure pas le volume immédiatement afin que le gaz ait le temps de prendre la température ambiante.

Tenant alors la partie supérieure de la cloche au moyen d'une pince en bois, on la soulève jusqu'à ce que l'eau qu'elle renferme soit

au même niveau que le liquide de l'éprouvette, on lit le volume  $V$ cc. Il ne faut pas tenir la cloche avec les doigts afin d'éviter la dilatation du gaz.

On recommence aussitôt un essai avec une liqueur renfermant 80 grammes au litre, du nitre brut à doser. L'ébullition du ballon n'ayant pas cessé et la quantité de chlorure ferreux qu'on y a introduit dans le principe étant suffisante pour une dizaine d'analyses, il suffit de disposer la cloche comme précédemment et de verser dans l'entonnoir 5 cc. de la nouvelle liqueur salpêtrée. On obtient un nouveau volume  $V'$ cc. On a ainsi la proportion :

$$\frac{V}{V'} = \frac{0^{\text{gr}}4}{x}, \text{ d'où } x = 0^{\text{gr}}4 \frac{V'}{V}, \text{ quantité de salpêtre réel}$$

contenu dans  $0^{\text{gr}}4$  de salpêtre brut ou en centièmes :

$$x = 100 \frac{V'}{V} \text{ ‰.}$$

Les opérations se suivent rapidement, elles se font dans les mêmes conditions de température, de pression atmosphérique, etc.; il est donc inutile de tenir compte de ces variables.

Une condition essentielle à observer, c'est que la liqueur-type et la liqueur d'essai soient bien à la même température, sinon, la pipette de 5 cc. ne donnerait pas le même volume, et partant, le même poids des sels dissous.

Dans le cas d'un nitre sodique, la liqueur-type et la liqueur d'essai contiendront 66 grammes de sel au litre.

*Nota.* — Les deux méthodes précédentes sont basées sur des réactions produites, en dernière analyse par l'acide azotique et non pas par la base potassique ou sodique. Elles ne peuvent donc permettre l'analyse de mélanges de nitrates.

#### *Analyse d'un salpêtre brut.*

Le but est de rechercher les matières étrangères qui souillent le nitre.

**53. Dosage de l'eau.** — On pèse un poids donné de salpêtre dans une capsule de platine, on chauffe modérément d'abord, puis plus fort jusqu'à commencement de fusion. La perte de poids donne l'humidité du nitre.

Si celui-ci contenait des matières organiques, elles fausseraient le résultat en se volatilisant. Il faut dans ce cas chauffer à l'étuve à 110° jusqu'à ce que deux pesées consécutives soient identiques.

**54. Dosage des matières insolubles dans l'eau.** — On dissout 100 grammes de salpêtre sec dans de l'eau distillée chaude. S'il se forme un dépôt on filtre le liquide sur un filtre double que l'on fabrique comme suit : on équilibre à la balance de précision deux filtres ronds du même paquet en les rognant aux ciseaux. On les transforme en filtres sans plis et on les introduit l'un dans l'autre. Le liquide est filtré, le dépôt est lavé à l'eau distillée, puis séché à 110°. Enfin les filtres sont séparés, remis à la balance et l'équilibre est rétabli avec des poids marqués qui représentent la proportion % des matières insolubles dans l'eau.

**Dosage du chlore.** — On peut faire usage de deux méthodes : 1° le dosage par précipitation du chlore sous forme de chlorure d'argent ; 2° le dosage volumétrique au moyen d'une solution titrée d'azotate d'argent.

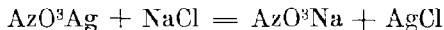
**55. 1° Méthode par précipitation.** — Le liquide de la filtration des matières insolubles dans l'eau peut servir, on sait combien il contient de salpêtre et à quel poids de salpêtre brut il correspond ; on en fait un volume déterminé V en ajoutant de l'eau distillée, on fait le dosage sur une partie mesurée du liquide précédent, soit sur Ncc. On acidule avec de l'acide azotique, puis on ajoute une solution de nitrate d'argent en excès, qui précipite le chlore sous forme de chlorure d'argent. Lorsque les liquides contiennent fort peu de chlore, le précipité est d'une ténuité telle, qu'il passe au travers du filtre. Dans le but d'augmenter la grosseur des molécules, il faut acidifier par l'acide azotique, chauffer à 70° c. et secouer énergiquement pendant un temps assez long. Lorsque le précipité est bien rassemblé, on filtre et on lave jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule, ne rougisse plus le papier de tournesol.

On est certain d'avoir employé un excès d'azotate d'argent en mêlant une goutte du liquide recueilli *neutralisé*, avec une goutte de chromate neutre de potassium, qui doit donner un précipité rouge de chromate d'argent.

Le filtre est séché à l'étuve, le chlorure d'argent est détaché le mieux possible et le filtre est incinéré à part dans une capsule de platine tarée. On verse sur les cendres *une goutte* d'acide nitrique, pour transformer l'argent métallique provenant de la réduction du chlorure d'argent par le charbon du filtre, en azotate d'argent, puis *une goutte* d'acide chlorhydrique pour le transformer en chlorure. Il ne faut pas employer plus d'une goutte des deux acides, un volume plus grand humecterait la capsule de platine qui serait attaquée par l'eau régale formée. On chauffe un peu pour chasser les acides et on ajoute le chlorure d'argent qui avait été détaché du filtre; on porte au commencement de fusion, on laisse refroidir et on pèse. Le poids obtenu multiplié par 0,24737 donne la quantité de chlore, qu'on transforme facilement en chlorure de sodium.

Il faut observer que toutes les opérations précédentes doivent se faire à la flamme jaune du gaz ou du pétrole, le chlorure d'argent se décomposant rapidement à la lumière solaire. Le chlorure d'argent fondu adhère fortement à la capsule de platine; on le détache facilement en le mouillant avec un peu d'acide chlorhydrique dans lequel on plonge un petit bâton de zinc; celui-ci réduit le chlorure en quelques minutes. On doit aussi avoir soin d'employer des filtres bien exempts d'acide chlorhydrique; il sera prudent de les laver avec de l'eau distillée avant de commencer la filtration.

**56. 2° Méthode par voie volumétrique.** — Au moyen de la formule de réaction :



il est facile de composer les liqueurs titrées qu'il faut employer.

Le calcul par les poids atomiques indique qu'il faut mettre en présence 169<sup>gr</sup>7 d'azotate d'argent ou 107<sup>gr</sup>7 d'argent métallique transformé en azotate et 58<sup>gr</sup>4 de sel marin, contenant 35<sup>gr</sup>4 de chlore, pour avoir une réaction complète.

On nomme *liqueur normale* celle qui renferme par litre le poids moléculaire d'une substance évalué en grammes. La liqueur est dite *déci-normale* quand elle contient au litre  $\frac{1}{10}$  du poids de la molécule évalué en grammes. Nous allons faire usage de deux liqueurs déci-normales.

Pour les obtenir nous dissoudrons dans un peu d'eau distillée 16<sup>gr</sup>97 d'azotate d'argent chimiquement pur fondu et nous compléterons à 1000 cc. avec de l'eau distillée.

On peut aussi dissoudre 10<sup>gr</sup>77 d'argent métallique chimiquement pur (il provient de la réduction du chlorure d'argent) dans un peu d'acide nitrique pur, on évapore à siccité au bain-marie, ensuite au bain de sable jusqu'à commencement de fusion pour chasser l'acide, on reprend par l'eau et on complète à 1000 cc. Ces deux liqueurs sont identiques, elles doivent être neutres.

D'autre part, on fait une solution aqueuse contenant 5<sup>gr</sup>84 de sel marin chimiquement pur fondu au litre.

De cette façon, en opérant avec soin, on a deux liqueurs équivalentes, c'est-à-dire, que 1 cc. de l'une précipite exactement 1 cc. de l'autre.

Il faut s'assurer qu'il en est bien ainsi en recherchant l'équivalence des deux réactifs. Pour cela on remplit exactement au zéro deux burettes graduées. On laisse couler dans une capsule de porcelaine, 10 cc. de la solution de sel marin, on ajoute quelques gouttes d'une solution concentrée de chromate neutre de potassium bien exempt de chlore pour jaunir le liquide, puis goutte à goutte et en remuant sans cesse, on laisse écouler la solution argentique. Chaque goutte qui tombe donne lieu à un précipité rouge de chromate d'argent, mais qui disparaît immédiatement tant qu'il reste du sel marin en liberté. Enfin, l'essai est terminé lorsqu'une dernière goutte donne au liquide une coloration rouge permanente.

Il est inutile de pousser au rouge, la couleur vire du jaune au rouge en passant par une couleur isabelle, on peut s'arrêter à celle-ci.

Si l'on craignait d'avoir ajouté trop d'argent, ce qui produirait une couleur rouge trop accentuée, on ajouterait 1 cc. de la solution

de sel marin et on recommencerait à verser l'azotate d'argent avec plus de précaution. On fera ensuite la correction en retranchant du nombre de centimètres cubes primitivement employé le volume nouveau de nitrate d'argent ajouté.

La fin de l'opération se distingue mieux à la lumière du gaz, parce que le liquide jaune paraît alors d'un blanc pur. On peut cependant opérer d'une façon précise en plein jour aussi bien qu'à la lumière du gaz, en regardant au travers d'un verre enduit de gélatine blanche, teinte avec un peu de chromate neutre de potassium ou en faisant usage d'un verre jaune citrin.

Si les solutions sont bien faites et les produits chimiquement purs, l'équivalence sera exacte.

Comme la solution argentique ne se conserve pas très bien, on doit de temps en temps la titrer et on inscrit le titre avec la date du titrage, sur l'étiquette du flacon. Les températures des deux liqueurs titrées doivent être les mêmes. Ces flacons sont conservés l'un à côté de l'autre dans l'armoire aux réactifs.

Pour doser maintenant le chlore dans un nitre, on dissout 10, 20, 30, etc. grammes de ce sel dans l'eau distillée, on ajoute quelques gouttes de chromate neutre de potassium et on verse de la solution argentique jusqu'à la coloration rougeâtre adoptée dans le titrage.

Supposons que 10 cc. de la solution de sel marin correspondent à 10<sup>cc</sup>2 de la solution argentique; que l'essai de 10 grammes de salpêtre ait nécessité 2 cc. on aura :

10<sup>cc</sup>2 : 0,0584 = 2 :  $x$  d'où  $x$  = 0,01145 grammes de sel marin.

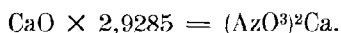
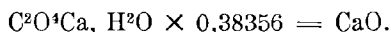
Le nitre contient donc 0,1145 % de sel marin.

**57. Dosage de la chaux et de la magnésie.** — Ces deux bases forment les azotates de calcium et de magnésium, qu'on trouve quelquefois en abondance dans le nitre des plâtras.

On dissout un poids de nitre dans de l'eau distillée; on filtre s'il est nécessaire, on ajoute de l'ammoniaque bien exempte d'acide carbonique. S'il se forme un précipité de magnésie, on ajoute du chlorure d'ammonium jusqu'à ce que la liqueur devienne limpide; on précipite alors la chaux par un excès d'oxalate d'ammonium



(faire bouillir un instant pour rassembler le précipité), on laisse reposer dans un endroit un peu chaud pendant quelques heures. Le liquide est filtré au travers d'un double filtre équilibré, le précipité est lavé et séché à 110°; on porte les deux filtres à la balance, l'un d'un côté, le second de l'autre, et on équilibre par des poids. La composition du précipité est  $\text{C}^2\text{O}^4\text{Ca}$ ,  $\text{H}^2\text{O}$ ; son poids multiplié par 0,38356 donne l'oxyde de calcium. avec lequel on calculera l'azotate de calcium. Il suffira pour cela de multiplier le poids de l'oxyde de calcium par 2,9285.



Ordinairement, on enlève le précipité du filtre qu'on calcine à part, l'oxalate est chauffé au rouge avec les cendres du filtre dans un creuset de platine pesé jusqu'à sa transformation en carbonate de calcium. Comme celui-ci est toujours un peu mêlé d'oxyde de calcium, on ajoute quelques gouttes de carbonate d'ammonium qui retransforme l'oxyde en carbonate; on volatilise l'excès du carbonate ammonique par une chauffe prudente. On repèse.

Afin d'éviter l'emploi du carbonate d'ammonium, on peut calciner l'oxalate au rouge blanc au moyen du chalumeau pendant un temps assez long. On obtient alors de l'oxyde de calcium.

Cependant l'expérience a appris, que l'oxalate de calcium a une composition constante et l'on arrive à de bons résultats et plus rapidement, en employant la méthode du double filtre.

**58. Dosage de la magnésie.** — Dans le liquide filtré on précipite la magnésie par le phosphate de sodium en excès, on agite avec une baguette de verre en ayant soin de ne pas toucher les parois du vase, sinon le précipité adhère énergiquement aux endroits heurtés. On laisse reposer douze heures dans un endroit tiède; on filtre et on lave avec de l'eau ammoniacale (trois parties d'eau plus une partie d'ammoniaque), jusqu'à ce que les liquides qui passent ne se troublent plus par le nitrate d'argent. On sèche le filtre, on le débarrasse du précipité qu'on calcine au rouge sombre pendant assez

longtemps, puis au rouge vif. Le filtre est incinéré à part, les cendres sont réunies au précipité, on chauffe encore une fois au rouge et on pèse après refroidissement sous le dessiccateur. On obtient du pyrophosphate de magnésium  $\text{Ph}^2\text{O}^5,2\text{MgO}$ , dont le poids multiplié par 0,36036 donne 2MgO, avec lequel on calculera l'azotate (multiplier MgO par 3,702) :

$$\text{Ph}^2\text{O}^5,2\text{MgO} \times 0,36036 = 2\text{MgO}.$$

$$\text{MgO} \times 3,7 = (\text{AzO}^3)^2\text{Mg}.$$

$$\text{Ph}^2\text{O}^5,2\text{MgO} \times 0,6666 = (\text{AzO}^3)^2\text{Mg}.$$

**59. Azotate de sodium.** — La grande ressemblance chimique du nitrate de potassium et du nitrate de sodium rend le dosage de ce dernier très difficile.

On peut rechercher ce corps au microscope d'après la méthode de Nœlner. On expose le salpêtre à l'air humide sous une cloche pendant quelques heures, pour concentrer l'azotate de sodium dans le plus petit volume de liquide possible; ce sel entre en déliquescence et peut alors être déplacé sur un entonnoir avec un peu d'eau. On évapore la lessive, on laisse cristalliser et on expose de nouveau la masse saline à l'air humide, pour provoquer une seconde fois la déliquescence du nitre sodique; on lessive et on agit ainsi jusqu'à ce que l'on ait obtenu une solution très riche de ce sel, qu'on laisse cristalliser.

Le salpêtre sodique cristallise en rhomboèdres qu'on distingue facilement des cristaux prismatiques du salpêtre potassique. Les chlorures de sodium et de potassium qui entrent en déliquescence dans les conditions de l'essai, donnent des cubes en trémies que l'on distingue très nettement si l'on emploie le microscope à polarisation.

#### *Essai du nitre raffiné.*

**60.** — D'après les règlements militaires pour la réception des poudres, le salpêtre retiré de la poudre par lessivage ne doit pas contenir plus de  $\frac{1}{8000}$  de son poids de chlorure de sodium. Ce salpêtre peut renfermer des sels provenant du charbon de bois ou qui se sont

introduits dans l'explosif pendant sa fabrication. On a remarqué notamment que du salpêtre raffiné au  $\frac{1}{3000}$  renfermait, après la fabrication de la poudre, une dose beaucoup plus forte de chlorures; ceux-ci provenaient des sels absorbés par la pierre poreuse des meules et rendus pendant les temps secs.

L'essai peut se faire au moyen de la liqueur d'azotate d'argent titrée comme nous l'avons indiqué à l'analyse du nitre brut (n° 56). Mais l'opération se fait plus simplement en employant une liqueur argentique titrée dont un volume déterminé précipite juste  $\frac{1}{8000}$  de chlorure sodique.

D'après la formule :



On voit que 58<sup>gr</sup>4 de chlorure de sodium sont précipités intégralement par 169.7 grammes de nitrate d'argent ou par 107.7 grammes d'argent métallique transformé en nitrate; donc  $\frac{1}{8000}$  de gramme de sel sodique exigera  $\frac{169.7}{58.4} \times \frac{1}{8000} = 0^{\text{gr}}0003632$  d'azotate d'argent ou  $\frac{107.7}{58.46} \times \frac{1}{8000} = 0^{\text{gr}}0002302$  d'argent métallique. Comme ces deux poids sont fort faibles et impossibles à peser, on prend des poids 1000 fois plus grands, soit 0<sup>gr</sup>3632 de nitrate d'argent, ou 0<sup>gr</sup>2302 d'argent métallique.

On dissout dans un peu d'eau distillée 0<sup>gr</sup>3632 d'azotate d'argent chimiquement pur fondu, on ajoute quelques centimètres cubes d'acide azotique (afin de contracter plus tard le chlorure d'argent) et on complète à 1000 cc. D'après cela, 1 cc. de cette solution contient juste 0<sup>gr</sup>0003632 de sel d'argent, c'est-à-dire, la quantité nécessaire pour précipiter, dans un gramme de salpêtre,  $\frac{1}{8000}$  de gramme de chlorure de sodium.

Si l'on fait usage d'argent métallique (provenant de la réduction du chlorure d'argent), on dissout 0<sup>gr</sup>2302 de ce métal dans un peu d'acide azotique à 1,2 de densité et on complète à 1000 cc. Cette liqueur est identique à l'autre.

Pour faire maintenant un essai, on dissout dans le moins d'eau possible 20 grammes de salpêtre dans un flacon de 150 cc., bouché à l'émeri. On y laisse couler 20 cc. de la liqueur argentique placée

dans une burette graduée. On chauffe le flacon dans de l'eau à 70° c. et on secoue énergiquement de temps en temps pour bien rassembler le précipité. On laisse déposer, et lorsque le liquide est bien limpide, on ajoute une nouvelle quantité de nitrate qui ne doit plus produire de trouble.

On peut aussi filtrer le liquide, mais il vaut mieux de ne pas le faire pour se mettre à l'abri d'une erreur provenant du chlore des filtres.

**61. Moyen de qualifier un nitre.** — On fait usage d'un réactif très sensible : l'oxalate de brucine. Voici comment on le compose : on mélange une partie de brucine, deux parties d'acide oxalique et cent parties d'alcool à 90° (Gay-Lussac). Dans une capsule de porcelaine, on met un peu de sel en poudre, puis on verse dessus un centimètre cube du réactif; on évapore au bain-marie. Il se développe une coloration rouge intense due à la formation de cacothéline.

Si le sel est en solution, on évapore au bain-marie, et sur le résidu sec on opère comme plus haut.

Pour qualifier le métal, on usera du bec Bunsen. Le nitrate de sodium, introduit dans la flamme incolore, donne une teinte jaune, le nitrate de potassium une teinte violette, le nitrate de baryum colore la flamme en vert, celui de strontium en rouge. (Voir aussi n° 253.)

## § 6. — NITRATES DIVERS.

### *Nitrate de sodium.*

**62. — Formule :**  $AzO^3Na$ . — Poids moléculaire : 85.

Nous avons vu son origine (n° 24).

Ce sel cristallise dans le système rhomboédrique, l'angle est 106°30'. Ce rhomboèdre ressemble donc beaucoup au cube, de là le nom de *nitre cubique* que l'on donne souvent au nitre sodique. La densité des cristaux est 2,24.

C'est un corps déliquescent, il ne peut, à cause de cela, être employé dans la fabrication de la poudre. Il se dissout facilement dans l'eau.

100 parties d'eau dissolvent (Maumené) :

|                 |                |
|-----------------|----------------|
| à 0° c. . . . . | 70.94 parties. |
| 10° . . . . .   | 78.57 "        |
| 20° . . . . .   | 87.97 "        |
| 30° . . . . .   | 98.26 "        |
| 40° . . . . .   | 109.01 "       |
| 50° . . . . .   | 120.00 "       |
| 60° . . . . .   | 131.11 "       |
| 70° . . . . .   | 142.31 "       |
| 80° . . . . .   | 153.72 "       |
| 90° . . . . .   | 165.55 "       |
| 100° . . . . .  | 178.18 "       |
| 110° . . . . .  | 194.26 "       |
| 119°4 . . . . . | 213.43 "       |

Ses propriétés chimiques sont semblables à celles du nitrate de potassium.

Il peut par conséquent former avec le soufre et le charbon de bois des poudres explosives. Il faut même remarquer que les poudres à base de nitrate sodique développent sous le même poids des pressions plus grandes que les poudres à base de nitrate potassique; en effet, le poids moléculaire de l'azotate de potassium est 101.1, tandis que celui de l'azotate de sodium est 85 pour la même teneur d'oxygène.

Tout calcul fait, on trouve qu'un kilogramme de sel potassique renferme 0<sup>fr</sup>474 d'oxygène disponible et que le même poids de sel sodique contient 0<sup>fr</sup>564 du même gaz.

Seulement le nitrate de sodium est très hygroscopique et la conservation des poudres exigerait des conditions impossibles à réaliser en pratique dans nos climats humides.

Le nitrate de sodium a une grande importance industrielle; il sert à la fabrication du nitre de conversion, de l'acide nitrique et des engrais artificiels.

*Azotate d'ammonium.*

**63.** — *Formule* :  $\text{AzO}^3\text{AzH}^4$ . — Poids moléculaire : 80.

**PRÉPARATION.** — On traite les eaux ammoniacales des usines à gaz, des urines, etc. On neutralise les eaux ammoniacales par de l'acide nitrique faible, on laisse reposer le liquide et on évapore à consistance sirupeuse. Le nitrate cristallise.

**PROPRIÉTÉS.** — C'est un sel anhydre qui cristallise en prismes à six faces, isomorphes avec le salpêtre potassique. La saveur est piquante. Il est très soluble dans l'eau avec abaissement de température considérable. Quand on mélange parties égales d'eau et de sel, la température tombe de  $+ 10^\circ$  à  $- 15^\circ \text{C.}$ ; à  $18^\circ$ , il est soluble dans  $\frac{1}{2}$  p. d'eau; à  $164^\circ$ , la solution bouillante renferme 47.8 de sel sur 52.2 d'eau.

Il fond à  $150^\circ$  et commence à se décomposer à  $210^\circ$ . Quand on le projette dans un creuset chauffé au rouge, il donne en se décomposant une flamme jaune.

Ce corps est remarquable par la propriété qu'il possède de subir plusieurs décompositions par la chaleur; quelques-unes sont explosives :

1°  $\text{AzO}^3. \text{AzH}^4 = \text{AzO}^3\text{H} + \text{AzH}^3$  réaction non explosive;

2°  $\text{AzO}^3. \text{AzH}^4 = \text{Az}^2 + 2\text{H}^2\text{O} + \text{O}$  réaction explosive : elle dégage de la chaleur et des gaz. Effet maximum. Échauffement brusque;

3°  $\text{AzO}^3. \text{AzH}^4 = \text{Az}^2\text{O} + 2\text{H}^2\text{O}$  réaction explosive moins énergique. Échauffement ménagé;

4°  $\text{AzO}^3. \text{AzH}^4 = \text{Az} + 2\text{H}^2\text{O} + \text{AzO}$  réaction explosive moins énergique;

5°  $3\text{AzO}^3. \text{AzH}^4 = 4\text{Az} + \text{Az}^2\text{O}^3 + 6\text{H}^2\text{O}$ ;

6°  $5\text{AzO}^3. \text{AzH}^4 = 8\text{Az} + 2\text{AzO}^3\text{H} + 9\text{H}^2\text{O}$  sous l'influence de la mousse de platine.

On voit que ce nitrate peut, tout en dégageant de l'oxygène, donner des explosions par lui-même. Tous les produits sont gazeux. Ce sel est donc éminemment propre à la fabrication des poudres, mais malheureusement il est avide d'eau. Malgré cela, il intervient actuellement dans la fabrication de quelques mélanges explosibles à

base d'hydrocarbures nitrés, dans lesquels on est parvenu jusqu'à un certain degré à diminuer l'hygroscopicité de la matière, en l'enrobant d'une matière non avide d'eau et surtout en paraffinant les cartouches. Il renferme, au kilogramme, 600 grammes d'oxygène.

*Nitrate de barium.*

64. — Ce sel est quelquefois employé dans la fabrication de certaines poudres, à cause de sa faible solubilité à froid. Il n'a pas une tendance aussi grande à disparaître sous l'influence de l'eau que les autres nitrates.

*Formule :*  $(\text{AzO}^3)^2\text{Ba}$ . — Poids moléculaire = 261.

PRÉPARATION. — On l'obtient par conversion au moyen de chlorure de baryum et de nitrate de soude.

PROPRIÉTÉS. — Il cristallise en octaèdres réguliers anhydres, inaltérables à l'air. Les poudres à base de nitrate de baryum se conservent donc bien.  $D = 3,228$ . Sa saveur est salée et amère. Chauffé au rouge, il donne de l'oxygène, de l'azote, de l'acide hypoazotique et de la baryte. Il déflagre avec les corps combustibles.

SOLUBILITÉ. — 100 parties d'eau dissolvent :

|        |                                 |
|--------|---------------------------------|
| à 0° — | 5 parties de nitrate de baryum. |
| 15° —  | 8 " "                           |
| 49° —  | 17 " "                          |
| 86° —  | 29 " "                          |
| 101° — | 36 " "                          |

À cause du poids moléculaire élevé de ce nitrate, les poudres barytées sont moins énergiques que les poudres à base de nitrates alcalins.

## CHAPITRE II.

### CHARBON DE BOIS.

#### § 1. — GÉNÉRALITÉS SUR LES BOIS ET LE CHARBON DE BOIS.

65. — C'est, des trois corps constituant la poudre noire, celui qu'il est le plus difficile d'obtenir dans un état constant. Dans les formules de réaction entre le salpêtre le soufre et le carbone, on suppose toujours celui-ci à l'état de carbone pur ; mais en réalité, on fait usage de charbon de bois, dont la porosité et l'inflammabilité sont plus satisfaisantes. Malheureusement, les compositions chimique et physique du charbon de bois, sont très variables et ne dépendent pas seulement de la nature du bois, de son âge, etc., mais encore du mode de carbonisation.

Il faut tout d'abord faire un choix judicieux du bois ; on sait que celui-ci est en majeure partie composé de cellulose, laquelle est alliée en plus ou moins grande proportion avec de la *matière incrustante*.

Celle-ci est dure, pesante, cassante, et elle est d'autant plus abondante que le bois est plus dur ; c'est elle qui donne au bois la propriété de pouvoir se polir. Cette matière n'a pas la constitution chimique de la cellulose ; elle est plus riche en carbone et en hydrogène par rapport à l'oxygène que la cellulose. Elle est de plus inégalement répartie dans l'arbre, le cœur en contient plus que l'aubier ; elle est rare dans certaines espèces de bois, tels que ceux de la catégorie dite des bois blancs et surtout dans les branches ou les bois en taillis.



Ce sont ces essences dont on fera usage de préférence, à cause de l'uniformité de composition chimique qui se rapproche de celle de la cellulose.

Envisagé dans son ensemble, le bois complètement séché, quelle que soit sa provenance, renferme plus de carbone et d'hydrogène que la cellulose ( $C^{12}H^{20}O^{10}$ ). Cela provient comme nous l'avons dit, de la présence de la matière incrustante et d'autres principes riches en carbone.

**66. Composition élémentaire de diverses espèces de bois (Chevandier) :**

|                | Carbone. | Hydrogène. | Oxygène. | Azote. |      |
|----------------|----------|------------|----------|--------|------|
| Cellulose puro | 44,44    | 6,18       | 49,38    | —      |      |
| Hêtre          | tronc    | 49,89      | 6,07     | 43,11  | 0,93 |
|                | tiges    | 50,08      | 6,23     | 41,61  | 1,08 |
| Chêne          | tronc    | 50,64      | 6,03     | 42,05  | 1,28 |
|                | tiges    | 50,89      | 6,16     | 41,94  | 1,01 |
| Tremble        | tronc    | 50,31      | 6,32     | 42,39  | 0,98 |
|                | tiges    | 51,02      | 6,28     | 41,65  | 1,05 |
| Saule          | tronc    | 51,75      | 6,19     | 41,08  | 0,98 |
|                | tiges    | 54,03      | 6,56     | 37,93  | 1,48 |
| Bouleau        | tronc    | 50,61      | 6,23     | 42,04  | 1,12 |
|                | tiges    | 51,93      | 6,31     | 40,69  | 1,07 |

On remarquera que les rapports entre les éléments des divers bois ne diffèrent pas beaucoup.

**67. Cendres.** — Leur proportion varie dans des limites étendues. Les feuilles et les écorces en contiennent plus que le bois proprement dit. Voici un exemple :

| Bois de poirier.  | Carbone.  | Hydrogène. | Oxygène et Azote. | Cendres. |       |
|-------------------|-----------|------------|-------------------|----------|-------|
| Feuilles. . . . . | 45,015    | 6,971      | 40,910            | 7,118    |       |
| Extrémité         | écorce    | 52,496     | 7,312             | 36,737   | 3,454 |
|                   | des tiges | 48,359     | 6,605             | 44,730   | 0,304 |
| Partie moyenne    | écorce    | 48,855     | 6,342             | 41,121   | 3,682 |
|                   | bois      | 49,902     | 6,607             | 43,356   | 0,134 |
| Partie inférieure | écorce    | 46,871     | 5,570             | 44,656   | 2,903 |
|                   | bois      | 48,003     | 6,472             | 45,170   | 0,354 |
| Tronc             | écorce    | 46,267     | 5,930             | 44,755   | 2,657 |
|                   | bois      | 48,925     | 6,460             | 44,319   | 0,296 |
| Racine            | écorce    | 50,367     | 6,069             | 41,920   | 1,129 |
|                   | bois      | 47,390     | 6,259             | 46,126   | 0,234 |

**Composition des cendres (hêtre) :**

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Carbonate de potassium . . . . . | 11,72 |
| ” de sodium . . . . .            | 12,37 |
| Sulfate de potassium . . . . .   | 3,49  |
| Carbonate de calcium . . . . .   | 49,54 |
| Magnésie. . . . .                | 7,74  |
| Phosphate de calcium . . . . .   | 3,32  |
| ” de magnésie . . . . .          | 2,92  |
| ” de fer . . . . .               | 0,76  |
| ” d’alumine . . . . .            | 1,51  |
| ” de manganèse . . . . .         | 1,59  |
| Silice . . . . .                 | 2,46  |

**68. Expériences de Violette sur la carbonisation du bois.** — Violette a recherché l'influence que peuvent avoir sur la composition du charbon de bois et sur le rendement : 1° la température de carbonisation d'un même bois; 2° la durée de la carbonisation; 3° la nature du bois.

**69. Influence de la température de carbonisation.** — On soumit à l'expérience, du bois de bourdaine dont la composition chimique est presque uniforme dans toute la masse. L'appareil de carbonisation est celui à vapeur d'eau surchauffée, que nous décrivons plus loin (n° 85). Le bois était préalablement desséché à 150°, cuit à l'appareil jusque 350°, et enfin dans des bains de sable jusque 1500°.

**70. Résultats obtenus.** — De 150° à 280°, on obtient un bois fortement desséché, résistant, non pulvérisable, brûlant avec flamme. Son inflammation se fait entre 340° et 360°. Sa densité varie de 1,40 à 1,41. C'est un brûlot ou fumeron.

De 280° à 350°, le charbon est roux, friable, très inflammable, brûlant avec flamme, soluble en partie dans les alcalis. Il s'enflamme entre 360° et 370°. Densité : 1,40 à 1,50.

De 350° à 432°, le charbon est noir, il s'enflamme facilement et produit une faible flamme; il est insoluble dans les alcalis, il s'enflamme à 400°. La densité égale 1,71.

De 1000° à 1500°, le charbon est noir, dur, compact, d'une pulvérisation pénible, il s'enflamme difficilement, il est bon conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il s'enflamme de 600° à 800°. La densité est 1,84 à 1,87.

**71. Rendement.** — 100 parties de bois donnent :

|              |                                   |
|--------------|-----------------------------------|
| à 280° . . . | 36,16 parties de charbon de bois. |
| 300° . . .   | 33,61 " "                         |
| 350° . . .   | 29,66 " "                         |
| 432° . . .   | 18,87 " "                         |
| 1100° . . .  | 18,40 " "                         |
| 1500° . . .  | 17,31 " "                         |

**72. Composition élémentaire du charbon de bois cuit à diverses températures.** —

|               | Carbone. | Hydrogène. | Oxygène et azote. | Cendres. |
|---------------|----------|------------|-------------------|----------|
| 280° . . . .  | 72,63    | 4,70       | 22,09             | 0,568    |
| 300° . . . .  | 73,23    | 4,25       | 21,96             | 0,569    |
| 350° . . . .  | 76,64    | 4,14       | 18,44             | 0,613    |
| 432° . . . .  | 81,64    | 1,96       | 15,24             | 1,162    |
| 1100° . . . . | 83,29    | 1,70       | 13,79             | 1,224    |
| 1500° . . . . | 94,56    | 0,73       | 3,84              | 0,664    |

**73.** — L'hygroscopicité des charbons de bois est en raison inverse de la température de la cuisson. Ainsi, 100 parties de charbon de bois absorbent :

Température. — Cuisson.

|               |                       |
|---------------|-----------------------|
| 150° . . . .  | 20,862 parties d'eau. |
| 270° . . . .  | 6,306 " "             |
| 280° . . . .  | 7,879 " "             |
| 432° . . . .  | 4,704 " "             |
| 1500° . . . . | 2,204 " "             |

Quand le charbon est pulvérisé, il prend bien plus d'eau que le charbon en bâtons.

Lorsqu'on chauffe progressivement du bois en vase clos, il se produit un effet remarquable. Vers 270°, sous l'influence de la formation et du dégagement des carbures d'hydrogène, la température

s'élève rapidement jusque vers 340° et une partie du charbon se transforme en charbon noir. On ne peut obtenir des charbons roux homogènes qu'en maintenant la température très proche de 270°, sans dépasser ce point.

**74. Conclusions.** — On peut conclure de ces expériences :

1° Le charbon pour la poudre de guerre doit être obtenu entre 280° et 432°; il est alors bien pulvérisable, ce qui permet un mélange intime avec le salpêtre et le soufre; il est d'une inflammation facile.

2° Le rendement diminue à mesure que la température de carbonisation augmente.

3° Le charbon cuit à basse température retient plus de matières volatiles, ce qui a une grande influence sur la vivacité de la poudre. Ainsi les poudres de chasse sont à base de charbon roux, les poudres de guerre à base de charbon noir.

La température de réaction entre le charbon de bois et le salpêtre est très fortement influencée par la température de carbonisation du bois. La combinaison des deux corps se fait dès 400°, lorsque le charbon est roux, tandis qu'elle ne se fait plus qu'au rouge vif pour les charbons cuits entre 1000° et 1500°.

**75. Influence de la durée de carbonisation.** — L'appareil de carbonisation à vapeur d'eau surchauffée est porté à 432°, et cette température est conservée bien constante.

L'opération peut être menée plus ou moins vigoureusement, suivant la plus ou moins grande quantité de vapeur d'eau qu'on lance dans le carbonisoir.

Lorsque la carbonisation est menée lentement, le rendement est de 18,87 %, lorsqu'elle est menée rapidement, le rendement n'est plus que de 8,96 %, il y a une différence de près de 50 %.

Dans le premier cas, l'oxygène et l'hydrogène se dégagent lentement sous forme d'eau, et abandonnent la majeure partie du carbone; dans le second cas, par suite de l'énergie de l'opération, une partie du carbone se combine à l'eau d'hydratation pour donner une grande quantité de goudron.

La composition chimique des charbons varie aussi :

|                      | Température. | Carbone. | Hydrogène. | Oxygène et azote. | Cendres. |
|----------------------|--------------|----------|------------|-------------------|----------|
| Carbonisation lente. | 432°         | 82,106   | 2,190      | 14,849            | 0,995    |
| "    rapide          | 432°         | 79,589   | 2,169      | 15,736            | 2,506    |

Le rendement en cendres est moindre dans le premier cas, car l'eau de mouillage lentement entraînée, enlève les sels métalliques.

**76. Influence de la nature du bois.** — Toutes les essences peuvent donner du charbon de bois propre à la fabrication de la poudre, mais celle-ci sera plus ou moins bonne.

Un bois tendre fournit un charbon de bois léger, peu résistant et se pulvérisant très bien; il est de composition uniforme et se mélange bien au nitre et au soufre, il s'enflamme facilement. Le bois dur donne un charbon dur, pesant; sa composition chimique n'est pas homogène et il est d'une inflammation plus difficile. Il ne donne pas de résultats aussi bons et aussi constants que le bois tendre.

On peut remplacer un charbon de bois par un autre, dans la fabrication de la poudre noire, en changeant le dosage.

Les bois résineux ne conviennent pas, mais à la rigueur, ils peuvent servir; la résine donne un charbon compact, tandis que le ligneux donne un charbon léger; l'ensemble présente un mélange peu combustible.

Pour la poudre de guerre, il faut employer les bois tendres, à tissu homogène et de préférence, leurs branches débarrassées de leur écorce, ou bien du bois tendre en taillis.

Chaque pays fait naturellement usage des bois tendres qui y croissent en abondance. Ainsi en Belgique, on fait surtout usage de la bourdaine, du coudrier, du peuplier, de l'aulne, du saule, de la chènevotte de chanvre ou de lin. Ces essences sont aussi abondantes en France et en Allemagne. Dans d'autres pays, on emploie le cornouiller, la vigne, le laurier cerise, l'if, le noisetier.

## § 2. — CARBONISATION DU BOIS.

**77.** Lorsqu'on chauffe le bois à l'abri de l'air, il se décompose en charbon et en produits volatils. Il faut se rappeler que le bois est

surtout formé de cellulose  $C^{12}H^{20}O^{10}$ , qu'on peut écrire  $C^{12}, 10H^{20}O$ ; c'est un hydrate de carbone. Il semble, d'après cela, qu'on peut enlever par déshydratation, les dix molécules d'eau; mais en réalité, des réactions beaucoup plus complexes ont lieu et les produits de la distillation en vase clos sont extrêmement nombreux.

Une chaleur ménagée dégage d'abord l'eau de mouillage, puis vers  $150^{\circ}$  apparaissent des vapeurs rousses inflammables, puis des produits de plus en plus simples.

Le tableau suivant donne une idée des corps principaux qui se forment.

**78. Produits principaux de la distillation du bois. —**

|      |                             |                                  |  |  |
|------|-----------------------------|----------------------------------|--|--|
| BOIS | LIGNES ET BAU DE MOUILLAGE. | 1 <sup>o</sup> Gaz d'éclairage.  | Oxyde de carbone.<br>Acide carbonique.<br>Gaz des marais.<br>Hydrogène.<br>Acétylène.<br>Éthylène.<br>Benzine.<br>Naphtaline.                                | CO.<br>CO <sup>2</sup> .<br>CH <sup>4</sup> .<br>H.<br>C <sup>2</sup> H <sup>2</sup> .<br>C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> .<br>C <sup>6</sup> H <sup>6</sup> .<br>C <sup>10</sup> H <sup>8</sup> .   |
|      |                             | 2 <sup>o</sup> Goudrons.         | Benzine.<br>Naphtaline.<br>Paraffine.<br>Rétène.<br>Acide phénique.<br>" oxyphénique.<br>" crésylique.<br>" phlorylique.<br>Résines pyrogénées.<br>Créosote. | C <sup>6</sup> H <sup>6</sup> .<br>C <sup>10</sup> H <sup>8</sup> .<br>C <sup>20</sup> H <sup>42</sup> .<br>C <sup>18</sup> H <sup>18</sup> .<br>C <sup>6</sup> H <sup>6</sup> O.<br>C <sup>6</sup> H <sup>6</sup> O <sup>2</sup> .<br>C <sup>6</sup> H <sup>7</sup> O.<br>C <sup>8</sup> H <sup>10</sup> O.<br>C <sup>7</sup> H <sup>8</sup> O <sup>2</sup> . |
|      |                             | 3 <sup>o</sup> Vinaigre de bois. | Acide acétique.<br>" propionique.<br>Acétone.<br>Alcool méthylique.  | C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> O <sup>2</sup> .<br>C <sup>3</sup> H <sup>6</sup> O <sup>2</sup> .<br>C <sup>3</sup> H <sup>6</sup> O.<br>CH <sup>4</sup> O.   |
|      |                             | 4 <sup>o</sup> Charbon de bois.  | Carbone.<br>Eau.<br>Hydrogène.<br>Cendres.   | C.<br>H <sup>2</sup> O.<br>H.<br>H.  |

**79. Choix du bois.** — En Belgique, on fait surtout usage de la bourdaine et du coudrier. La bourdaine est abondante du côté de Diest, de Montaigu, de Lierre, en Zélande; on la coupe au printemps vers avril-mai, alors que la sève monte, ce qui rend l'écorçage facile; on coupe les extrémités et l'on ne conserve que les branches de 15 à 30 millimètres de diamètre et de 2 à 3 mètres de longueur. Les branches sont écorcées à l'usine, puis exposées en fagots qu'on place debout à la pluie pendant une année; cette exposition les débarrasse de la sève, riche en sels potassiques hygroscopiques. Les bottes sont ensuite entassées les unes sur les autres; on en forme des meules par lits horizontaux. La partie supérieure forme deux plans inclinés préservés par un toit de même forme. Après deux ou trois ans d'exposition, on les transporte dans des hangars en maçonnerie ouverts sur les côtés, où elles restent environ un an à dessécher. La botte de bois vert écorcé pèse 25 à 30 kilogrammes, et après exposition à l'air et le séchage dans les hangars, le poids n'est plus que de 13 à 15 kilogrammes.

**80. Procédés de carbonisation.** — Les appareils doivent produire une température régulière afin de donner une carbonisation bien homogène dans toute la masse. On ne carbonise jamais en meule pour la poudre, le charbon obtenu est peu homogène, des cailloux peuvent s'y mêler et provoquer des explosions lors du travail sous les meules.

**81. Carbonisation en cylindres.** — Les appareils consistent en des cylindres de fonte placés horizontalement au-dessus d'un foyer à houille. Des carneaux empêchent le contact direct de la flamme. Les cylindres, au nombre de trois pour un four, sont fermés du côté de la façade de chargement, au moyen de couvercles pesants suspendus à des chaînes et maintenus par des vis à pression. Un tuyau de dégagement placé à l'autre bout du cylindre porte au dehors les produits de la distillation. On peut condenser ces matières et en retirer du goudron végétal dont la valeur est assez grande, mais généralement, le tube d'évacuation est replié et pénètre dans le foyer où le gaz et les goudrons brûlent. Avant de commencer une opération, on introduit dans le cylindre un faux fond percé de trous, et muni d'un manche à

anneau, afin de pouvoir plus tard défourner d'un coup, la botte de charbon et éviter une perte de chaleur.

Les cylindres ont un diamètre de 0<sup>m</sup>57 et une longueur de 1<sup>m</sup>50.

**82. Travail.** — On introduit dans chaque cylindre une botte de bourdaine de 1<sup>m</sup>25 de long et de 0<sup>m</sup>50 de diamètre, du poids de 35 kilogrammes. On chauffe à la température approximative de 350°. L'opération dure cinq heures en commençant avec un cylindre froid; les opérations suivantes durent seulement trois heures et demie.

Parfois, on place des baguettes d'éprouve qu'on peut retirer des cylindres au travers du couvercle; on les examine de temps en temps afin de vérifier la marche de la cuisson; mais, généralement, ce procédé n'est pas usité: l'ouvrier écarte simplement le couvercle et constate rapidement le degré de la carbonisation.

L'opération terminée, le charbonnier approche du cylindre un étouffoir muni d'une espèce de grand entonnoir. L'étouffoir est un grand vase cylindrique en tôle. La porte du cylindre carbonisoir est rapidement écartée, un crochet est introduit dans l'anneau du manche du faux fond, l'ouvrier tire à lui, le charbon tombe dans l'étouffoir, qui est refermé de suite au moyen d'un couvercle qu'on lute à l'argile. Une botte de bois est immédiatement enfournée et une nouvelle opération commence.

Les étouffoirs sont placés sous un auvent; au bout d'un jour, on enlève le lut d'argile afin de laisser pénétrer peu à peu l'air; on n'enlève le couvercle qu'au bout de trois jours; ces précautions sont indispensables pour empêcher l'inflammation spontanée du charbon de bois par l'absorption rapide de l'oxygène de l'air. Le charbon est enfin transporté dans de grands bacs en maçonnerie avec couvercles en tôle fermant incomplètement. Avant de passer sous les appareils de broyage, les morceaux de charbon sont triés, on enlève ceux qui sont mal cuits et on racle ceux qui sont vernissés.

Les produits obtenus sont assez réguliers; mais la conduite égale de la chaleur est difficile, la partie inférieure de la botte est plus cuite que la partie centrale et que la partie supérieure; la proportion de charbon vernissé est assez considérable, ce qui entraîne un travail manuel de raclage subséquent. Ce charbon vernissé provient du



goudron qui, s'écoulant de branche en branche, vient, en partie, recouvrir celles qui se trouvent à la partie inférieure du cylindre ; là, le goudron est volatilisé, décomposé et il abandonne un charbon brillant simulant un vernis noir recouvrant le charbon de bois.

**83. Perfectionnements.** — On a imaginé de placer la botte dans un cylindre en tôle perforé de trous ; ce cylindre est muni d'un axe central qui lui permet de tourner au centre d'un autre cylindre analogue à celui employé dans la méthode précédente. On obtient ainsi un charbon plus égal ; cela n'empêche pas que le centre de la botte soit moins cuit que la partie extérieure.

On évite absolument cet inconvénient en employant un seul cylindre rotatif analogue à celui dont on fait usage dans la torréfaction du café. On peut y introduire le bois coupé en petits morceaux et même sous la forme de sciure de bois. Cet appareil donne les meilleurs résultats.

**84. Appareils Maurouard.** — C'est la méthode par cylindres perfectionnée ; chaque cornue a son foyer ; ce foyer consiste en principe en deux buses horizontales placées à la partie inférieure du cylindre-cornue ; ces buses portent deux fentes longitudinales au travers desquelles s'échappent les produits gazeux combustibles de la carbonisation ; ce sont donc de véritables becs de gaz.

La chauffe est ainsi très bien régularisée. Ces cylindres-cornues sont mobiles et portent à leur partie inférieure deux rails, qui glissent sur des galets. La carbonisation étant achevée, on retire les cornues et elles servent d'étouffoirs. Les produits obtenus sont très réguliers.

**85. Distillation par la vapeur d'eau surchauffée.** — Ce procédé est dû à Violette, qui l'introduisit dès 1847 ; voici quel en est le principe :

Le bois (généralement chènevotte) est soumis en vase clos, et pendant un temps qui dépend de l'espèce de charbon à produire (roux ou noir) à l'action de la vapeur chauffée à 300°.

La vapeur se dégage librement et à la température de 100° d'une chaudière ; elle parcourt une série de tuyaux disposés en serpentín au-dessus d'un foyer, de manière à y acquérir une température de 300° environ ; de là, elle est introduite par un robinet dans des cylindres en fonte chargés du bois à carboniser.

Les deux cylindres à carboniser le bois sont disposés horizontalement l'un à côté de l'autre, dans un espace à voûte surbaissée; ils sont percés latéralement de deux ouvertures par où pénètre la vapeur surchauffée, et à leur fond, se trouve une ouverture, à laquelle est ajusté un tuyau pour la décharge de la vapeur, qui entraîne avec elle les produits gazeux et liquides de la distillation du bois; à l'extrémité de ce conduit est ajusté un tuyau en forme de  $\perp$  dont la branche supérieure conduit les gaz dans l'atmosphère, et la branche inférieure déverse les produits liquides, dans un réservoir contenant de l'eau.

Le serpentín reposant sur la voûte à claire-voie du foyer, est surmonté d'une voûte en briques réfractaires; il est formé de tuyaux en fer épais, réunis par des coudes; il communique d'une part avec la chaudière, par un tuyau, et d'autre part avec les deux cylindres par des conduits débouchant aux deux ouvertures latérales; un robinet permet d'intercepter cette communication avec les cylindres. Le foyer est surmonté d'une voûte en briques réfractaires, munie d'ouvertures par lesquelles passent les produits volatils du foyer, pour venir entourer le serpentín et se rendre par des carneaux dans la cheminée.

Le bois est mis en bottes comme dans le procédé des cylindres, la charge des deux cylindres est de 30 kg. de chènevotte. On charge les cylindres, on y applique les obturateurs, puis on ouvre le robinet du tuyau de conduite pour donner passage à la vapeur d'eau surchauffée. La vapeur pénètre dans les fibres du bois, dissout et entraîne à l'extérieur les gaz et les liquides.

Dans un travail continu, la carbonisation est achevée en quatre heures; on ferme alors le robinet d'introduction de la vapeur, on fait tomber le charbon dans un étouffoir et on charge une nouvelle botte de bois.

**Produit.** — Le charbon obtenu est entièrement dépourvu de goudron; il n'a pas besoin d'être trié et peut être employé dès qu'il est suffisamment refroidi. Le rendement pour le charbon noir est de 26 %, pour le charbon roux 31 %.

L'appareil de Violette, quoique donnant d'excellents produits, est compliqué et le serpentín se détériore rapidement. Il servait autre-

fois à Wetteren à la fabrication du charbon roux destiné à la poudre de chasse, on a renoncé actuellement à son usage ; l'appareil a été démoli.

**86. Appréciation de la méthode de carbonisation en cylindres.** — Les défauts que nous avons reprochés à la méthode des cylindres, sont plus apparents que réels ; les charbons certainement manquent d'une homogénéité de cuisson absolue que l'on atteint presque dans la méthode Violette ; mais ces inégalités n'ont pas grande influence sur les qualités de la poudre, attendu que les morceaux de charbon de bois, provenant des diverses parties du cylindre, sont intimement mélangés et en pratique, on obtient une composition moyenne ne laissant rien à désirer.

D'après un brevet récent de M<sup>r</sup> H. Güttler, on fait passer constamment dans l'appareil de carbonisation un courant de gaz inerte, de l'acide carbonique pur ou mélangé d'azote. Le charbon poreux se sature d'acide carbonique, ce qui évite des combustions spontanées.

**87. Inflammation spontanée du charbon de bois.** — Lorsque le charbon de bois est retiré trop chaud des appareils de carbonisation et est abandonné à l'air, il s'enflamme spontanément. Ce phénomène se produit par l'absorption rapide d'un énorme volume d'oxygène de l'air ; cette condensation, presque instantanée, cause une élévation de température suffisante pour amener le charbon à l'incandescence. Généralement, le charbon chauffé vers 400°, s'enflamme spontanément. Il y a des charbons qui produisent déjà des phénomènes d'oxydation avec dégagement d'acide carbonique lorsqu'ils sont chauffés à 100° ; on conçoit que si ces substances sont en tas volumineux, l'oxydation produit une chaleur qui ne peut s'échapper et elle devient bientôt suffisante pour produire l'inflammation ; on explique ainsi des cas d'inflammation spontanée du pulvérin. Lorsqu'on pulvérise sous des meules, du charbon de bois même vieux de plusieurs jours, une inflammation spontanée peut avoir lieu.

Il ne faut donc jamais mettre sous les meules, en présence du soufre et du salpêtre, du charbon de bois trop jeune ; il faut le laisser se saturer d'air et lentement, pendant plusieurs semaines.

§ 3. — PROPRIÉTÉS DES CHARBONS DE BOIS.

**88. Charbon roux.** — La couleur varie du brun chocolat au noir ; les morceaux se cassent en donnant un son mat, la trituration parfaite est assez difficile et dans tous les cas, plus que celle du charbon de bois noir. La poussière est rousse et grasse au toucher, elle brûle avec une légère flamme à cause des matières volatiles qu'elle contient encore. Mélangée au nitre et au soufre, elle donne des poudres vives et brisantes, telle que la poudre de chasse.

**89.** — Cette vivacité spéciale s'explique par la présence dans ce charbon d'une dose notable d'hydrogène. La chaleur dégagée par ce gaz en brûlant est bien plus grande que celle produite par le même poids de carbone. La puissance calorifique de l'hydrogène est, en effet, de 34.000 calories, tandis que celle du carbone n'est que 8000 par kilogramme. La braise de boulanger, analogue au charbon de bois pour la poudre, contenant pour un gramme de carbone 0<sup>sr</sup>027 d'hydrogène dégage dans le calorimètre 8740 calories au lieu de 8000 calories fournies par le carbone pur.

Le calcul est du reste facile à faire ; voici la composition chimique d'un charbon de bois :

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Carbone . . . . .   | 83,88 |
| Hydrogène . . . . . | 3,24  |
| Oxygène . . . . .   | 11,56 |
| Cendres . . . . .   | 1,33  |

L'hydrogène se trouve en partie combiné à l'oxygène sous forme d'eau :

$$\begin{array}{l} 8 \text{ d'oxygène se combinent à } 1 \text{ d'hydrogène,} \\ 11,56 \text{ " " " } \frac{11,56}{8} \approx 1,44 \text{ d'hydrogène.} \end{array}$$

Il reste donc libre dans le charbon de bois :

$$3,24 - 1,44 = 1,80 \text{ d'hydrogène.}$$

La partie du charbon de bois qui, par sa combustion au contact du salpêtre, donnera lieu à un dégagement de chaleur sera donc :

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Carbone . . . . .   | 83,88 |
| Hydrogène . . . . . | 1,80  |

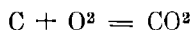
Si l'on considère les puissances calorifiques 8000 et 34000 du carbone et de l'hydrogène par kilogramme, on aura :

|                    |                                |          |
|--------------------|--------------------------------|----------|
| Carbone. . . . .   | $0^k8388 \times 8000 = 6710,4$ | calories |
| Hydrogène. . . . . | $0^k018 \times 34000 = 612,0$  | "        |
|                    | $7322,4$                       | "        |

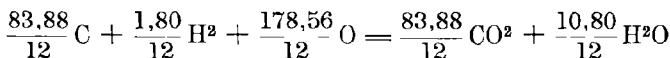
pour un poids total de  $0^k8568$ , ce qui fait pour 1 kilogramme : 8546 calories au lieu de 8000 pour le carbone pur.

On voit là l'influence notable de faibles doses d'hydrogène.

Il y a aussi une différence dans le volume gazeux développé; si l'on calcule le volume gazeux donné par du carbone pur d'après la formule :



en tenant compte des volumes moléculaires (voir n° 210) 1 kilogramme de carbone donne : 1860 litres d'acide carbonique à 0° sous 0,76. Si l'on fait le même calcul pour un charbon de bois hydrogéné, d'après la formule :



on trouve :

$$(83,88 + 10,80)22,32 = 2113^k25 \text{ pour : } 1006,56C + 21,60O = 1028,16$$

de charbon de bois, ce qui donne au kilogramme : 2055 litres.

Ainsi, en résumé :

|  | Volume gazeux. | Chaleur.  |
|--|----------------|-----------|
| 1 kilogramme de carbone pur donne . . . . .      | 1860 lit.      | 8000 cal. |
| 1 kilogramme de carbone hydrogéné donne. . . . . | 2055 "         | 8546 "    |

Il faut, en troisième lieu, tenir compte de ceci : c'est que la vitesse de réaction entre l'hydrogène et l'oxygène est beaucoup plus grande que celle entre le carbone et l'oxygène. L'explosion de la poudre à base de charbon roux se fait donc en un temps plus court que celle à base de charbon noir, ce qui explique sa nature plus brisante.

**90. Charbon noir.** — L'aspect est noir bleu, la poussière est noire, le bâton est dur et raide, il se casse et éclate facilement, le son est clair, la trituration est facile, il est moins hygroscopique que le charbon roux, il brûle sans flamme et sert dans la fabrication des poudres lentes.

**91. REMARQUE.** — On remplace souvent dans les poudres de mine le charbon de bois par l'anhracite, la houille, le coke, le brai, la sciure de bois, la farine de bois, la farine de céréales, le son, le tan, le sucre, les hydrocarbures, etc., etc., et cela dans un but économique.

#### § 4. — ANALYSE DU CHARBON DE BOIS.

**92.** — Il est important de doser le carbone et l'hydrogène. On combure ces deux corps en faisant passer dans un tube de verre réfractaire chauffé au rouge un courant d'oxygène pur et l'on recueille l'acide carbonique et l'eau formés, dans des tubes renfermant de la chaux sodée ou de la potasse caustique et du chlorure de calcium.

On fait usage d'un tube à combustion ouvert aux deux bouts et de vingt centimètres plus long que la grille à analyses dont on dispose.

A l'une des extrémités on serre une bande de toile métallique en cuivre enroulée en spirale; cette toile a été oxydée dans la flamme d'une lampe Bunsen; par l'autre côté du tube on introduit de la tournure de cuivre oxydée et de l'oxyde de cuivre en grains; au milieu se place une petite nacelle de porcelaine ou de platine qui contient un poids déterminé de charbon préalablement desséché à l'étuve; enfin au-dessus une nouvelle toile métallique en spirale. Il

est nécessaire avant d'introduire la nacelle, de chauffer le tube à une température élevée et d'y faire passer un courant lent d'air sec, afin de le priver de toute humidité. Le tube est fermé au moyen de bons bouchons munis chacun d'un tube de verre droit.

Entre le gazomètre à oxygène et le tube à analyses on place des appareils destinés à purifier le gaz. L'oxygène passe d'abord par un tube à boules de Liebig contenant une lessive concentrée de potasse, puis par un tube en U contenant de la ponce alcaline, enfin dans un tube en U contenant du chlorure de calcium.

Les produits de la combustion du charbon de bois passent d'abord par un petit tube à boules, suivi d'un tube en U renfermant de la ponce sulfurique. Ces deux tubes sont tarés; ils sont destinés à absorber l'eau provenant de la combustion de l'hydrogène du charbon de bois. A la suite vient un tube de Liebig contenant une lessive de potasse caustique concentrée; enfin, on termine par un petit tube témoin, renfermant de la ponce sulfurique, pour absorber l'eau qui pourrait être enlevée à la dissolution de potasse par le passage de l'oxygène sec en excès. Ces deux derniers tubes sont tarés; ils absorberont l'acide carbonique.

On commence par chauffer le tube renfermant le charbon de bois sous l'oxyde de cuivre (placé du côté opposé à l'arrivée de l'oxygène), puis, sous le charbon et on fait passer le courant d'oxygène. Lorsque la combustion est terminée, on remplace l'oxygène par un courant d'air. On pèse le tube à ponce sulfurique avec le tube à boules, l'augmentation de poids donne l'eau; on pèse le tube de Liebig avec le petit tube témoin, l'augmentation de leur poids donne l'acide carbonique.

En supposant qu'un poids  $P$  de charbon de bois ait donné un poids  $p'$  d'acide carbonique et un poids  $p''$  d'eau, on aura :

$$\frac{p' \times 27,27 \times 100}{P} \text{ de carbone } \% = a.$$

$$\frac{p'' \times 11,1 \times 100}{P} \text{ d'hydrogène } \% = b.$$

Les cendres restées dans la nacelle sont pesées et peuvent être soumises à l'analyse. L'oxygène et l'azote se dosent par différence.

REMARQUES. — Au lieu de faire usage d'une lessive de potasse caustique pour absorber l'acide carbonique, il est préférable d'employer la chaux sodée; cette matière absorbe ce gaz avec une grande avidité et élévation de température.

Voici comment on fabrique cette chaux sodée : on fait une dissolution concentrée de soude caustique et on y éteint de la chaux vive. Pour une partie de soude caustique, on emploie deux parties de chaux. On évapore à siccité dans une marmite en fer, on chauffe au rouge sombre, on remue pour diviser la masse, on réduit en poudre et on tamise. On conserve en vase bien clos, à l'abri de l'acide carbonique de l'air.

On trouve, du reste, la chaux sodée dans le commerce, mais souvent carbonatée; on la débarrasse de l'acide carbonique par une chauffe au rouge.

Pour obtenir la ponce potassique, on fait une dissolution concentrée de potasse caustique dans de l'eau, puis on y jette de la pierre ponce en petits morceaux; on évapore à sec, puis on chauffe plus fort. On remue la masse afin d'empêcher que les grains ne se collent les uns aux autres. C'est un excellent absorbant de l'acide carbonique.



## CHAPITRE III.

### SOUFRE.

#### § 1. — GÉNÉRALITÉS.

Symbole : S. — Poids atomique : 32.

**93. État naturel.** — Le soufre est extrêmement répandu dans la nature; on le trouve à l'état natif dans le voisinage des volcans en activité et des volcans éteints; les sulfures sont aussi abondants que les oxydes; plusieurs eaux minérales renferment de l'hydrogène sulfuré. De Rivero a rencontré le soufre sous forme d'acide sulfurique, accompagné d'acide chlorhydrique, dans le Pasambio ou Río-Vinagre, torrent des Cordillères; il entraîne plus de 40.000 kilogr. de cet acide par jour. Un torrent, sortant du Paramo de Ruin, contient, d'après M. Leroy, 3<sup>gr</sup>66 d'acide sulfurique et 0<sup>gr</sup>456 d'acide chlorhydrique par litre. L'acide sulfurique provient probablement de l'attaque de l'acide chlorhydrique par les sulfates au rouge, l'acide chlorhydrique provient lui-même de l'attaque des silicates trachytiques par les chlorures et la vapeur d'eau.

Les sulfates existent en grande abondance et constituent des couches géologiques importantes : tel est le gypse ou sulfate de calcium. On trouve le soufre dans beaucoup de matières animales : les matières albuminoïdes, la laine, la corne. Le corps humain renferme, en moyenne, 110 grammes de soufre. A ce compte, dans les

six millions d'habitants de la Belgique, il y aurait 660.000 kilogr. de soufre.

Certaines plantes renferment du soufre : le raifort, les radis, le cresson, le navet, la moutarde, les oignons, etc.

**94. Propriétés physiques.** — C'est un corps jaune, sans goût, presque sans odeur. Il est transparent quand il est cristallisé. Il conduit mal la chaleur; prouvons-le comme suit :

Voici un canon de soufre, serrons-le entre les mains, il fait aussitôt entendre un crépitement particulier qu'on appelle *cri du soufre*; il provient du glissement des facettes des cristaux de soufre les unes sur les autres par l'effet de la dilatation.

Le soufre est dimorphe, il se présente sous deux formes cristallines bien distinctes. Le soufre naturel est cristallisé en octaèdres droits à base rhombe. Le soufre fondu qui se refroidit lentement, cristallise en aiguilles formées de prismes obliques à bases rhombes. Sous ces formes cristallines on le nomme *soufre octaédrique* ( $S\alpha$ ) et *soufre prismatique* ( $S\beta$ ). Le soufre se dépose, sous la forme  $S\alpha$ , par l'évaporation de ses dissolutions à froid; si, au contraire, on le fait cristalliser à chaud (au-dessus de  $110^\circ$ ), il se présente sous la modification  $S\beta$ . Lorsqu'on chauffe à  $106^\circ$ , du soufre octaédrique obtenu à froid, les cristaux deviennent opaques et se transforment en cristaux prismatiques; de même des cristaux prismatiques, abandonnés au repos, se changent en un agglomérat de cristaux octaédriques. Ainsi la forme cristalline stable, en dessous de  $106^\circ$ , est l'octaèdre, et au-dessus de  $106^\circ$ , le prisme. Ce dimorphisme du soufre a donné lieu à des études très intéressantes, mais qui ne peuvent nous arrêter ici.

**95. Action de la chaleur.** — Le soufre octaédrique ( $S\alpha$ ) fond à  $114^\circ$ , sa densité est alors de 2,08. Le soufre prismatique ( $S\beta$ ) fond à  $120^\circ$ , sa densité est 1,96. A la température de fusion, la liquidité est parfaite; la couleur jaune d'ambre. Au-dessus de  $120^\circ$ , le soufre brunit et devient visqueux; cette viscosité s'accroît tellement que de  $200^\circ$  à  $250^\circ$ , on peut retourner le vase dans lequel s'opère la fusion, sans que le soufre ne s'écoule. Au-dessus de  $250^\circ$ , il subit une espèce de deuxième fusion qui absorbe beaucoup de chaleur et pen-

dant laquelle un thermomètre plongé dans la masse reste immobile. La liquidité réapparaît vers 300° et enfin, l'ébullition commence à 440°; il se dégage des vapeurs oranges très lourdes. Naturellement, ces phénomènes ne peuvent être observés qu'en chauffant le soufre dans un ballon de verre, car à l'air libre, il prend feu dès 250°.

Le soufre se volatilise déjà à la température ordinaire, mais très faiblement; à la température de 50°, l'odeur du soufre est manifeste dans les séchoirs des poudreries.

**96.** Le soufre est insoluble dans l'eau et dans l'alcool. Il est très soluble dans le sulfure de carbone.

100 parties de sulfure de carbone dissolvent :

|                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| à 0° . . . . .       | 23,99 parties de soufre. |
| 15° c. . . . .       | 41,65 "                  |
| 22° c. . . . .       | 46,05 "                  |
| 38° c. . . . .       | 94,57 "                  |
| 55° c. (ébullition). | 181,34 "                 |

Il est soluble dans la benzine, l'éther, le toluène, le chloroforme, le phénol, l'aniline, etc.

|                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 100 parties de benzine dissolvent | 0,965 parties de soufre à 26° c. |
| " " "                             | 4,377 " 71° c.                   |
| " de toluène "                    | 1,479 " 23° c.                   |
| " d'éther "                       | 0,972 " 23°5.                    |
| " de chloroforme "                | 1,205 " 22°.                     |
| " de phénol "                     | 16,350 " 174°.                   |
| " d'aniline "                     | 85,960 " 130°.                   |

Le soufre prismatique S $\beta$  a les mêmes dissolvants.

**97. Variétés du soufre.** — On distingue souvent les variétés de soufre suivant leur manière d'être vis-à-vis des dissolvants et surtout du sulfure de carbone.

**A. Soufres solubles.** — Ce sont les variétés S $\alpha$  et S $\beta$ .

**B. Soufres insolubles.** — 1° Le *soufre amorphe* obtenu en décomposant le chlorure de soufre par l'eau. Ce soufre, appelé S $\nu$ ,

se transforme en  $S\beta$  par la chauffe à  $100^{\circ}$ , ou par la sublimation. Le soufre  $S\gamma$  devient soufre soluble par son contact avec de l'hydrogène sulfuré. Il prend encore naissance par l'action de la lumière sur une solution de  $S_x$  dans le sulfure de carbone; ce phénomène est accompagné de chaleur. La transformation du soufre ordinaire, simplement fondu en  $S\gamma$  vers  $113^{\circ}$ , est aussi accompagnée de chaleur; ce changement n'a pas lieu dans les conditions ordinaires, mais bien sous l'influence de la lumière. Il a lieu également lorsque le soufre fondu se solidifie au contact de l'acide sulfurique ou de l'acide azotique. La lumière ne joue ici qu'un rôle d'agent excitateur.

*2<sup>o</sup> Le soufre trempé :  $S\delta$ .* — On l'obtient par la fusion du soufre suivie d'un refroidissement brusque. La trempé a sur le soufre, le même effet que sur le bronze : de dur qu'il est, il devient mou comme du caoutchouc; la trempé se fait ordinairement à la température de  $260^{\circ}$ . Pour obtenir le soufre trempé, on le laisse couler par filet mince dans de l'eau froide.

Trempé de  $114^{\circ}$  à  $170^{\circ}$  le soufre est dur et jaune.

” à  $190^{\circ}$  il est mou, transparent et devient vite fragile.

” à  $220^{\circ}$  il est transparent et brunâtre.

” de  $230^{\circ}$  à  $260^{\circ}$  il est ductile, transparent et rougeâtre.

Le soufre  $S\delta$  au repos s'altère et se transforme peu à peu en soufre  $S_x$  avec dégagement de chaleur. Si l'on enveloppe la boule d'un thermomètre avec du soufre mou trempé à  $400^{\circ}$  et si on le place dans une étuve chauffée à  $95^{\circ}$ , la colonne thermométrique s'élève et atteint près de  $114^{\circ}$ , point de fusion du soufre; de fait on trouve du soufre fondu. Cela prouve que le soufre mou à  $95^{\circ}$  passe brusquement à l'état de soufre jaune ordinaire  $S_x$ ; il abandonne par le fait de son changement allotropique assez de chaleur pour liquéfier une partie de la substance.

Le soufre en vapeur condensé dans l'air froid contient du soufre insoluble, tel est le cas du soufre en fleurs.

Puissance calorifique : le soufre octaédrique 2300 calories.

soufre prismatique 2260 ”

**98. Propriétés chimiques du soufre.** — C'est un corps analogue à l'oxygène par son atomicité et ses affinités. Chauffé à l'air, il

s'enflamme à 250° c. Il s'unit au brome, à l'iode, au chlore, au phosphore, etc., et à la plupart des métaux. Sa combustion à l'air donne de l'anhydride sulfureux. Cette oxydation peut même se faire à la température ordinaire en présence de l'humidité, elle est assez active entre 35° et 40°, rapide entre 65° et 70°.

Le soufre pulvérisé, conservé dans un local humide, devient acide et ne peut plus être employé comme tel dans la fabrication de la poudre qu'il rendrait hygroscopique, à cause de la présence de l'acide sulfurique formé.

**99. Usages du soufre.** — Le soufre est surtout employé dans la fabrication de la poudre. Ce corps y favorise la propagation de la combustion, augmente ainsi la rapidité des réactions et accroît la force explosive; un surdosage en soufre diminue la vivacité de la poudre et la quantité de chaleur dégagée (à cause de la faible puissance calorifique du soufre comparée à celle du charbon de bois), la température des gaz diminue et la déflagration est tempérée.

Dans les poudres au chlorate de potassium, le soufre augmente considérablement la sensibilité à la percussion et la friction.

Le soufre est énormément employé encore dans le soufrage des vignes : répandu en poussière fine sur les grappes, il tue un champignon microscopique, l'*oïdium Tuckerie*. C'est du reste un parasiticide très usité : on en fabrique la pommade sulfurée alcaline pour le traitement de la gale.

La fabrication des allumettes consomme beaucoup de soufre, son odeur l'a fait généralement remplacer par la paraffine; il sert encore à la fabrication des sulfures, des hyposulfites, du sulfure de carbone, de l'anhydride sulfureux, à la vulcanisation du caoutchouc, dans l'industrie de l'acide sulfurique, etc.

**100. Le soufre et les feux de cheminées.** — Nous citerons encore l'application intéressante du soufre à l'extinction des feux de cheminées. Lorsque le feu se met dans la suie d'une cheminée, on se contente souvent d'occlure celle-ci sur le toit par des moyens quelconques. L'extinction se fait faute d'oxygène; mais dès que le tirage se fait à nouveau, le feu reprend immédiatement; la suie en effet encore chaude absorbe avec avidité l'air qui passe et s'enflamme

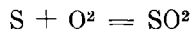
spontanément; l'extinction définitive ne peut se faire ainsi. Ce phénomène ne se présente plus quand la suie s'éteint dans une atmosphère d'anhydride sulfureux.

Voici une expérience qui le prouve; faisons usage de quatre cloches sur mercure; deux renferment de l'oxygène, la troisième de l'acide carbonique, la quatrième de l'anhydride sulfureux. Coiffons une chandelle allumée de la cloche remplie d'acide carbonique, l'extinction se produit rapidement; plongeons la chandelle dans la cloche à oxygène, elle se rallume aussitôt. Éteignons la chandelle de nouveau avec la cloche renfermant de l'acide sulfureux, mais nous ne parvenons plus à la rallumer avec la cloche remplie d'oxygène.

L'anhydride sulfureux imprégnant la mèche carbonisée lui fait donc subir une transformation telle que l'inflammation spontanée est devenue impossible.

Il suffit de jeter dans la cheminée par l'ouverture supérieure, ou par le carneau de ramonage, du soufre en fleurs en quantité suffisante, proportionnée au volume de la cheminée, puis de la fermer de façon à empêcher tout tirage pendant un certain temps.

Il est facile de calculer combien de soufre il faut d'après la formule :



qui indique que 32 grammes de soufre se combinent à 32 grammes d'oxygène. Un mètre cube d'air renferme 210 litres d'oxygène, qui pèsent  $210 \times 1,429 = 300$  grammes. Il faut donc 300 grammes de soufre pour absorber tout l'air d'un mètre cube d'air; les combustions s'arrêtent lorsque la moitié de l'oxygène est absorbé.

Dans tous les ménages on devrait avoir une provision de soufre en fleurs en prévision de l'extinction facile des feux de cheminée.

On a aussi proposé le soufre pour l'extinction du feu dans les cales de navires.

## § 2. — INDUSTRIE DU SOUFRE.

101. — Le soufre est abondant dans la nature à l'état natif, c'est-à-dire, de soufre à l'état non combiné et surtout à l'état de

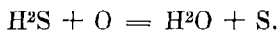
combinaisons, dont les plus importantes sont : les sulfures, les sulfo-arséniures, les sulfo-antimoniures, les sulfates. Presque tout le soufre employé provient du soufre natif. Ce soufre se trouve principalement dans le voisinage de volcans éteints ou en éruption ; aucun pays n'en contient plus que la Sicile. Quelquefois il existe en dépôts superficiels et provient de dégagements gazeux ou fumerolles actuellement encore en activité. Les fumées qui se dégagent du sol dans les solfatares sont composées de vapeur d'eau, d'acide sulfureux et d'hydrogène sulfuré.

D'autres fois le soufre est extrait de gisements profonds au moyen de galeries de mine.

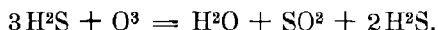
Voici comment on peut expliquer la formation du soufre natif. L'eau de la mer avoisinant toujours les volcans, pénètre dans les couches profondes du sol ; elle y rencontre des sulfures à très haute température, les décompose en donnant des oxydes et de l'hydrogène sulfuré :



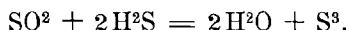
Le soufre se dégageant sous forme d'hydrogène sulfuré, arrive dans les fissures ou dans les tufs volcaniques chauds et y subit une combustion incomplète qui produit une première précipitation de soufre :



La réaction suivante peut aussi avoir lieu :



Il se dégage ainsi un mélange intime de vapeur d'eau, d'anhydride sulfureux et d'hydrogène sulfuré qui laisse aussi précipiter du soufre :



Voici comment nous pouvons démontrer la décomposition mutuelle de l'anhydride sulfureux et de l'hydrogène sulfuré. Faisons usage d'un grand ballon à trois tubulures ; par une des tubulures introduisons un courant d'hydrogène sulfuré, par l'autre un courant d'anhydride

sulfureux. L'air du ballon est humide. Il se dépose bientôt sur les parois du ballon une couche jaune de soufre.

Les cratères des volcans et les fissures de leurs flancs sont souvent remplis de soufre. *Fernand Cortez*, pendant la conquête du Mexique, retira, au risque de sa vie et en dépit des craintes superstitieuses de ses hommes, le soufre nécessaire à la fabrication de la poudre, du cratère du grand volcan *Popocatepelt*.

Il est bien connu que les cratères des volcans en activité dégagent constamment des gaz et des vapeurs, du soufre en vapeur et de l'anhydride sulfureux.

**102. Gisements principaux du soufre.** — Les plus importants se trouvent en Sicile. Les minerais de soufre d'Italie se trouvent pour la plupart dans le terrain miocène en couches et parfois en amas au milieu du gypse, ou bien entre le gypse (au toit) et le tripoli (au mur). La gangue se compose de calcaire ou de marne et le soufre y est associé soit à l'état de mélange intime, soit en petites géodes ou en filets minces. La puissance des gisements est très variable, mais généralement assez grande; elle varie de 3 à 30 mètres. Les couches, quoique souvent redressées et contournées, ont une allure assez régulière.

Le région la plus riche en soufre est la Sicile où les provinces de *Caltanissetta*, *Catania*, *Girgenti*, *Messina*, etc., comptent dans leur ensemble plus de 350 mines en activité et 30.000 ouvriers. Après la Sicile viennent comme importance les Romagnes et les Marches, avec 15 mines et 3.217 ouvriers; suivent en dernier lieu les provinces d'*Avellino* et *Catanzaro* dans le Napolitain; la production totale est d'environ 460.000 tonnes d'une valeur de 43.000.000 de francs. On extrait encore du soufre à *Cracovie*, en Croatie (*Radoboj*), en Espagne dans l'*Aragon* (*Téruel*), en *Murcie* (*Lorca*), dans la province d'*Alicante* (*Valence*), dans l'*Andalousie* (*Arcos*).

L'extraction en Espagne devient de plus en plus active; enfin les demandes de soufre augmentant d'année en année, on a repris en Islande d'anciennes souffrières.

La production italienne dépasse cependant de beaucoup, celle des autres pays, même pris ensemble.



**103. Classement du minerai.** — Le minerai est ordinairement divisé en trois catégories :

1° Minerai très riche contenant 30 à 40 % de soufre. Rendement 20 à 25 %.

2° Minerai riche conten. 25 à 30 % de soufre. Rend. 15 à 20 %.

3° Minerai ordinaire conten. 20 à 25 % de soufre. Rend. 10 à 15 %.

#### EXTRACTION DU SOUFRE DE SON MINERAIS.

**104. 1° Méthode par fusion.** — Elle est appliquée au minerai exceptionnellement riche, contenant au moins 50 % de soufre. On fait usage d'une grande chaudière en fonte placée au-dessus d'un foyer, elle est remplie de minerai et chauffée de 120° à 130°. Le soufre en fondant abandonne la gangue, qui gagne le fond de la cuve d'où on peut l'enlever avec des passoires. Le soufre est versé au moyen d'une espèce de grande cuiller dans une augé en fonte. Le bloc refroidi est cassé au merlin et on expédie le soufre vers les usines de raffinage, soit en vrague, soit dans des tonneaux.

Les gangues renferment encore à peu près la moitié du soufre; elles sont considérées comme minerais moyens et traitées par une des méthodes suivantes.

**105. 2° Méthode par distillation au moyen des fours dits D'Oppioni.** — Elle s'applique aux minerais pauvres, aux sables imprégnés de soufre, etc. Le four a la forme allongée et une section verticale en forme de trapèze, la grande base vers le bas. Il renferme douze pots ayant la forme des anciens vases étrusques, ils sont en terre réfractaire et disposés en deux séries parallèles. Les pots ne reposent pas directement sur le sol du four, mais bien sur deux petits murs parallèles aux grands côtés de l'oppione. Ces murs, servant de fromages, facilitent à la flamme l'échauffement de la partie inférieure du vase. Les cols des vases sont engagés dans la voûte supérieure, de façon à permettre le changement par l'extérieur. Chaque pot porte latéralement en haut un tube pour laisser dégager les vapeurs du soufre qui se condensent dans un pot semblable placé hors du four. Tous les pots de distillation et de condensation peuvent être fermés au moyen de couvercles.

Le combustible est le bois qu'on jette sur l'aire du four contre les supports des pots. Ceux-ci sont chargés chacun de vingt à trente kilogrammes de minerai, on chauffe vers 450°, ce qui produit l'ébullition et la distillation du soufre. La vapeur se condense dans les vases extérieurs sous forme de soufre liquide. Le minerai est convenablement épuisé, mais le soufre obtenu n'est pas tout à fait pur; l'ébullition tumultueuse provoque l'entraînement d'impuretés dans le vase de condensation. La méthode a de plus l'inconvénient d'exiger l'emploi du bois, qui est un combustible coûteux.

**106. 3° Méthode des calcaroni.** — Les calcaroni sont des espèces de vastes meules faites avec les minerais de soufre. On commence par disposer sur le sol une aire circulaire en briques, elle est assez fortement inclinée et composée de deux plans qui se coupent suivant une arête diamétrale qui suit la ligne de plus grande pente. Le soufre fondu en ruisselant sur cette aire se rassemble dans cette sorte de gouttière centrale et se dirige vers un trou de coulée. L'aire est fermée par un mur circulaire portant une ouverture de coulée à hauteur de la partie la plus basse de la gouttière. On dispose le minerai, les morceaux les plus gros et les plus résistants en bas et on continue jusqu'à hauteur du mur d'enceinte avec des morceaux plus petits, on termine la meule par une forme sphérique; on a eu soin pendant l'opération, de ménager dans la masse des espèces de cheminées verticales qui servent à l'allumage et à la circulation d'un peu d'air. La meule est recouverte d'une chemise de minerai menu ou même en poussière.

Ces meules ont de très grandes dimensions : leur volume atteint jusque 1000 mètres cubes.

On met le feu en introduisant dans les cheminées des morceaux de bois imbibés de soufre. La chaleur destinée à la fusion du soufre est donc due à la combustion d'une partie du minerai. Le tas bientôt s'échauffe et le soufre coule et ruisselle sur l'aire inférieure; de là il est reçu dans un bassin et moulé en pains de la forme de pyramides tronquées appelées *ballates*.

Un calcarone de 100 à 120 mètres cubes demande de 30 à 35 jours pour s'épuiser.

Un calcarone de 400 à 500 mètres cubes demande de 50 à 60 jours pour s'épuiser.

Un calcarone de 800 à 1000 mètres cubes demande de 80 à 90 jours pour s'épuiser.

Le rendement est d'environ 60 %.

Le procédé est très économique, quoiqu'il y ait une grande perte de soufre qui sert en partie à échauffer la masse; mais ce combustible est encore à meilleur marché que le bois et la houille.

Les calcaroni dégagent des torrents d'anhydride sulfureux, bientôt transformé en acide sulfurique, lequel, se répandant dans l'air, détruit aux environs toute végétation. Le gouvernement italien ne permet à cause de cela l'emploi des calcaroni, que de juillet à janvier.

#### PROCÉDÉS NOUVEAUX.

**107. Procédé de M. De la Tour Dubreuil.** — L'inventeur fait usage d'une solution concentrée de chlorure de calcium telle que l'ébullition se fait à 120° c.; on emploie des cuves rectangulaires accouplées et inclinées. Le liquide bouillant est envoyé alternativement d'une cuve épuisée dans l'autre cuve remplie de minerai; grâce à la température du liquide, le soufre fond et abandonne la gangue. L'extraction est presque complète, le soufre est pur et l'exploitation peut se faire toute l'année.

**108. Méthode Émile et Pierre Thomas.** — On fait ici usage de la vapeur d'eau surchauffée à 130°. Le minerai est placé dans un cylindre de tôle vertical perforé de trous. Ce cylindre est enveloppé d'un autre cylindre en tôle forte revêtue de bois. On injecte la vapeur, le soufre fond et s'écoule dans un récipient. Le chargement est de 3500 kilogrammes environ; il est épuisé au bout de deux heures.

**109. Système Condy-Bollmann.** — Il est basé sur l'emploi du sulfure de carbone, lequel est fabriqué sur les lieux. Les appareils consistent en des cylindres en fonte de deux mètres de haut et de 0<sup>m</sup>80 à 0<sup>m</sup>90 de diamètre; on y descend des paniers en osier dans lesquels on place le minerai. Une série de 5 à 6 cylindres, disposés

en lessivage méthodique, reçoit le sulfure de carbone et le laisse sortir complètement saturé (25 à 30 % de soufre). Les communications entre les cylindres sont établies de manière que le sulfure de carbone le plus pur passe toujours sur le minerai le plus épuisé. Le sulfure de carbone, saturé de soufre, est ensuite distillé et condensé. Dans la cornue de distillation, il reste le soufre, on surchauffe pour le fondre et on le moule.

Le sulfure de carbone ainsi employé, épuise parfaitement le minerai; seulement, dans les pays chauds, c'est un liquide dangereux à manier à cause de sa grande volatilité et de sa très facile inflammation, ce qui amène des dangers très grands d'explosion. C'est en outre une substance délétère et l'on ne peut, même avec un bon lutage, empêcher que ses vapeurs se dégagent dans l'air.

REMARQUE. — Les procédés nouveaux ne peuvent lutter sur le terrain économique contre le procédé des calcaroni. Plus des neuf dixièmes du soufre mis dans le commerce sont obtenus par ce dernier procédé. Le restant s'obtient soit par distillation avec les fours d'opponi, en usage surtout dans les Romagnes, soit par dissolution à l'aide d'appareils à vapeur.

La rareté des combustibles ordinaires, à proximité des mines, et les propriétés toutes spéciales que présente le soufre quand il est chauffé au delà de son point de fusion, rendent le traitement de ces minerais, beaucoup plus difficile qu'il ne paraît au premier abord.

**110. Analyses de soufre brut de Sicile (Mène). —**

|  |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|
| Soufre (soluble dans le sulfure de carbone).                     | 90.1 | 96.2 | 91,3 | 90.0 | 88.7 |
| Substance charboneuse . . . . .                                  | 1.0  | 0.5  | 0.7  | 1.1  | 1.0  |
| Soufre (insoluble dans CS <sup>2</sup> ) . . . . .               | 2.0  | "    | 1.5  | 1.1  | 1.7  |
| Sable siliceux . . . . .   | 2.3  | 1.5  | 3.3  | 2.8  | 0.5  |
| Carbonate de calcium (parfois célestine = sulfate de strontium). | 4.1  | 1.8  | 2.5  | 3.0  | 2.8  |
| Pertes. . . . .  | 0.5  | "    | 0.7  | 1.0  | 0.3  |

La partie inférieure du pain de soufre brut contient jusque 25 % de matières étrangères.

§ 3. — EXTRACTION DU SOUFRE DE SES COMBINAISONS.

**111. Pyrite de fer.** — La composition de ce corps est  $\text{FeS}^2$ , il renferme 53,30 % de soufre. Lorsqu'on chauffe ce mineral en vase clos on obtient par distillation, du soufre, d'après les formules suivantes :

- 1°  $\text{FeS}^2 = \text{FeS} + \text{S}$  rendement théorique 26 % de soufre.  
 2°  $2\text{FeS}^2 = \text{Fe}^2\text{S}^3 + \text{S}$  " " 13 % "  
 3°  $3\text{FeS}^2 = \text{Fe}^3\text{S}^4 + \text{S}^2$  " " 17 % "  
 4°  $7\text{FeS}^2 = \text{Fe}^7\text{S}^8 + \text{S}^6$  " " 23 % "

On se contente de retirer 13 à 14 % de soufre d'après la formule 2°; le résidu est pulvérulent, tandis que le protosulfure de fer  $\text{FeS}$  fond et met bientôt les appareils de distillation hors de service. Le résidu mis en tas et humecté s'oxyde et donne du sulfate de fer.

La distillation s'opère dans des cornues en poterie, disposées en pente dans un foyer; les cornues ont la forme de pyramides tronquées placées horizontalement. La grande base sort du four et sert au chargement, elle peut être close par un couvercle; la petite base fait saillie de l'autre côté du four et porte un tube de dégagement qui conduit les vapeurs de soufre dans un récipient rempli d'eau.

Ce soufre est presque toujours arsénical; on doit en interdire l'usage en pyrotechnie.

**Composition des pyrites de Theux et de Vedrin. —**

|                                    |       |              |
|------------------------------------|-------|--------------|
| Soufre . . . . .                   | 45,01 | 50,00        |
| Fer . . . . .                      | 89,68 | 43,61        |
| Plomb . . . . .                    | 0,37  | "            |
| Zinc . . . . .                     | 1,80  | 1,75         |
| Gangue insoluble dans les acides . | 12,23 | 2,85         |
| Oxygène en excès. . . . .          | 0,32  | 0,18         |
| Humidité . . . . .                 | 0,24  | 0,10         |
| Carbonate de chaux . . . . .       | "     | 1,65         |
| Arsenic . . . . .                  |       | moyenne 0,10 |

L'extraction du soufre des pyrites par distillation, est abandonnée. Sous le premier Empire, la Sicile ayant été bloquée, le soufre

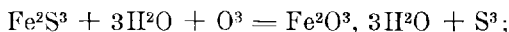
n'arriva plus en France, le gouvernement français avait installé à Vedrin, une usine de distillation des pyrites.

**112. Extraction du soufre du gaz de houille.** — Lorsqu'on distille de la houille renfermant de la pyrite de fer, ce qui est le cas général, il se forme de l'hydrogène sulfuré qui se mêle au gaz d'éclairage; celui-ci doit en être absolument débarrassé.

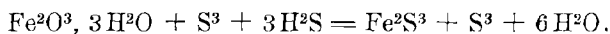
On fait passer le gaz sur de l'oxyde de fer, qui absorbe l'hydrogène sulfuré en se transformant en sulfure de fer :



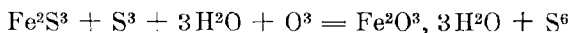
Après sulfuration complète, la masse pulvérulente est étalée sur le sol et humectée. Sous l'influence de la macération à l'air, le sulfure se transforme en oxyde et abandonne du soufre :



puis de nouveau :



Une nouvelle macération donne :



et ainsi de suite. La quantité de soufre augmente de plus en plus et atteint 40 à 50 %; la régénération alors cesse et la masse reste noire.

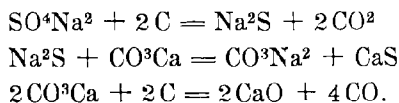
En traitant cette espèce de minéral artificiel par la distillation, par la vapeur d'eau surchauffée, par le sulfure de carbone, on peut en retirer le soufre qui y est mêlé.

D'après la méthode Hills, on grille le mélange dans un four pour former de l'anhydride sulfureux, destiné à la fabrication de l'acide sulfurique; le résidu d'oxyde de fer rentre à la purification du gaz.

La houille employée annuellement à Londres pour la fabrication du gaz contient dix millions de kilogrammes de soufre, correspondant à 30.625.000 kilogrammes d'acide sulfurique.

**113. Extraction du soufre des marcs de soude.** — La méthode Leblanc, pour la fabrication du carbonate de sodium, donne comme résidus, des substances appelées *marcs ou charrées de*

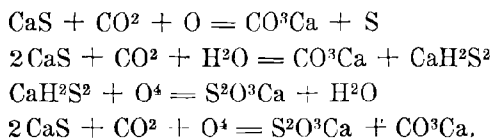
*soude*, riches en sulfure. Nous rappelons que, pour fabriquer le carbonate de sodium par la méthode Leblanc, on calcine un mélange de sulfate de sodium, de houille et de carbonate de calcium. Les réactions suivantes ont lieu :



Le produit de la calcination subit un lavage à l'eau, qui dissout le carbonate de sodium, et le résidu insoluble renferme du sulfure et de l'oxyde de calcium. Autrefois, ces marcs étaient jetés en tas, ils dégageaient pendant l'été, de l'hydrogène sulfuré qui infectait l'air, et des liquides qui empoisonnaient les puits et les cours d'eau.

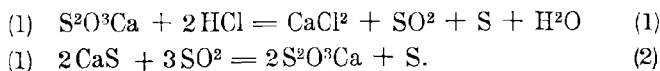
Actuellement, ces charrées sont reprises et traitées pour l'extraction du soufre. Les méthodes de régénération reposent sur la transformation du sulfure de calcium insoluble en combinaisons solubles, au moyen d'une oxydation par l'air; on lave à l'eau et on précipite dans celle-ci le soufre par l'acide chlorhydrique.

**Procédé Schaffer.** — Les charrées sont soumises à l'oxydation en tas. Au bout de quelques semaines on fait la lixiviation; après quoi le résidu est encore soumis à l'oxydation, et on y injecte les gaz d'un foyer en combustion. Voici les diverses réactions qui se passent :



Le sulfure de calcium insoluble se transforme ainsi finalement en hyposulfite de calcium soluble dans l'eau.

Un lessivage méthodique donne des eaux jaunes, riches en hyposulfite. Ces eaux sont décomposées par l'acide chlorhydrique :



L'action de l'acide chlorhydrique sur l'hyposulfite de calcium donne lieu, d'après la formule (1), à un dégagement d'anhydride sulfureux. Si l'on injecte celui-ci dans du sulfure de calcium, il y a précipitation de soufre et formation d'hyposulfite de calcium, d'après la formule (2).

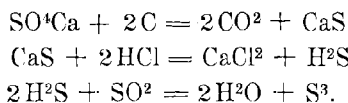
L'appareil de précipitation est double; il se compose de deux cylindres placés horizontalement, qui reçoivent les lessives. Ils communiquent ensemble par deux tubes recourbés; le premier part de la partie supérieure du premier cylindre et pénètre jusque dans le fond du second cylindre; le deuxième part de la partie inférieure du premier cylindre et aboutit à la partie supérieure du second; ces tubes sont munis de robinets.

On place dans le cylindre de gauche des lessives riches en hyposulfite, et dans le cylindre de droite des lessives riches en sulfures; on verse dans le premier de l'acide chlorhydrique; la réaction (1) a lieu, l'anhydride sulfureux qui se dégage passe par le tube et barbote dans les sulfures où la réaction (2) s'opère. Le cylindre de gauche est déchargé et reçoit une lessive de sulfures, puis on verse de l'acide chlorhydrique dans le cylindre de droite, et ainsi de suite en chargeant alternativement les cylindres de sulfures.

Le soufre obtenu est fondu.

Ces méthodes d'extraction du soufre deviennent de moins en moins importantes à cause de la disparition progressive des usines Leblanc.

**114. Extraction du soufre des sulfates.** — Les sulfates étant très abondants peuvent à l'occasion, servir à l'extraction du soufre. On transforme le sulfate en sulfure par le chauffage au rouge avec du carbone. On arrose le sulfure avec de l'acide chlorhydrique, il se dégage de l'acide sulfhydrique, on le brûle en partie, ce qui produit de l'anhydride sulfureux. Ce gaz, en présence de l'acide sulfhydrique donne, dans l'air humide, du soufre.





§ 4. — RAFFINAGE DU SOUFRE.

On raffine le soufre brut en le distillant dans des cornues et en condensant les vapeurs dans de grandes chambres froides. Le soufre raffiné se trouve dans le commerce sous forme de soufre en canons et de soufre en fleurs.

**115. Appareil Lamy.** — Il comprend dans ses parties essentielles : 1° deux cornues cylindriques de 1<sup>m</sup>50 de long et de 0<sup>m</sup>50 de diamètre; ces cornues sont fermées vers l'avant au moyen d'un couvercle mobile et sont réunies vers l'arrière, avec la chambre de condensation, au moyen d'un tube recourbé en col de cygne. Les cornues peuvent être complètement entourées par les flammes d'un foyer; 2° une chambre de condensation; elle est cubique et construite en briques; son volume est, en moyenne, de 100 mètres cubes. La partie inférieure de la chambre est formée de deux plans légèrement inclinés vers un trou de coulée. Une des parois verticales possède une porte murillée en temps ordinaire. Une soupape de sûreté équilibrée est disposée à la voûte afin de prévenir l'effet des explosions intérieures sur les murs de la chambre; une glissière, qu'on manie du dehors, permet d'interrompre la communication entre la cornue et la chambre de condensation dans le cas du nettoyage d'une cornue; on évite ainsi l'introduction, dans les appareils, de l'air atmosphérique, ce qui occasionne la combustion d'une certaine quantité de soufre et des dangers d'explosions. Celles-ci proviennent de la présence habituelle d'hydrocarbures, de matières organiques, etc., dans le soufre brut; la distillation produit alors une certaine quantité de gaz, entre autres l'hydrogène sulfuré qui se dégageant dans la chambre, y produit avec l'air, un mélange explosif; une parcelle de soufre enflammé suffit pour provoquer la détonation, laquelle peut, quelques fois répétée, provoquer la dislocation de la chambre.

3° Au-dessus des cornues de distillation se trouve un réservoir ou réchauffeur, dont la partie inférieure est chauffée par les flammes perdues du foyer. Il est rempli de soufre brut qui fond, les impuretés lourdes se précipitent et le liquide s'écoule par un tuyau dans les

cornues de distillation. La distillation est ainsi précédée d'une purification par décantation.

Les cornues reçoivent alternativement 300 kilogrammes de soufre provenant du réchauffeur, la distillation de cette masse dure huit heures. Le rendement par 24 heures est donc de 1800 kilogrammes.

Certains fours de distillation contiennent 8 cornues.

On peut, à volonté, obtenir le *soufre fondu en canons* ou le *soufre sublimé dit en fleurs*. Cela dépend uniquement de la température de la chambre de condensation. En supposant que celle-ci soit entièrement froide et qu'une distillation après chômage commence, les vapeurs de soufre saisies par le froid, se condensent et tombent sous forme de poussière ténue sur les parois et le sol; si la distillation est active, la chaleur abandonnée par le fait de la condensation, élève bientôt la température de la chambre au-dessus de 120° et le soufre fond. Il faut donc mener la distillation de telle manière, que cette température ne puisse être atteinte. On peut arriver à ce résultat en distillant lentement, c'est-à-dire en ne faisant usage que d'une seule cornue au lieu de deux, de trois, etc.; ou bien, si l'on désire marcher plus activement, il faut construire des chambres de condensation beaucoup plus vastes (en fait, certaines atteignent une capacité de 600 mètres cubes), à parois plus minces, frappées par les vents froids. Avec cette dernière disposition, il est difficile de fabriquer autre chose que du soufre en fleurs, avec la première le rendement par journée de travail diminue dans de grandes proportions. Aussi ce soufre coûte-t-il plus cher que le soufre en canons.

Le soufre fondu est coulé dans des moules en bois légèrement coniques, le démoulage donne des canons de soufre.

Pour le soufre en fleurs on laisse refroidir la chambre, on ouvre la porte pratiquée près du sol et on balaie la fleur de soufre.

**116. Appareil de Court et Déjardin.** — Dans l'appareil précédent les cornues sont chauffées par en dessous, la viscosité du soufre chauffé à 440° est moins grande que celle du soufre chauffé à 350°; il se forme ainsi à la surface du soufre pâteux qui se boursoufle sous l'influence des vapeurs du fond et il est projeté dans la chambre en entraînant beaucoup d'impuretés.

Dans l'appareil Déjardin, le vase distillatoire est lenticulaire, les gaz du foyer chauffent d'abord la paroi supérieure et s'échappent dans la cheminée sous la paroi inférieure; par ce dispositif l'ébullition se fait à la surface du bain de soufre et les projections sont évitées.

La durée de l'appareil Déjardin est aussi plus longue que celle de l'appareil de Lamy.

**117. Remarque.** — La fleur de soufre non lavée à l'eau est presque toujours acide, elle rougit le papier de tournesol. Elle se forme en effet dans une chambre remplie de vapeurs d'anhydride sulfureux, qui se transforme bientôt à l'air humide en acide sulfurique. Nous n'avons pas besoin de dire que ce soufre doit être exclu de la fabrication de la poudre de guerre, qu'elle rendrait hygroscopique. Son emploi dans les mixtures renfermant du chlorate de potassium, pourrait donner lieu à des inflammations spontanées. Le soufre en canons n'a pas ce défaut, l'anhydride disparaissant pendant la fusion.

La fleur de soufre n'est pas entièrement soluble dans le sulfure de carbone; elle renferme du soufre amorphe insoluble, parfois en proportions considérables; les bonnes fleurs fines en contiennent jusque 35 %.

## § 5. — ESSAIS DU SOUFRE.

**118. Acidité.** — Nous avons vu que le soufre en fleurs est toujours acide; on peut le rendre neutre par des lavages à l'eau. Le soufre en canons finement pulvérisé et conservé dans des locaux humides peut devenir acide, ce qui doit le faire rejeter des usages militaires.

Pour constater le défaut, on fait bouillir le soufre avec de l'eau distillée, puis on essaie le liquide avec le papier de tournesol. Cet essai est suffisant.

**119. Matières terreuses.** — Cette recherche est surtout applicable au soufre brut; on enflamme un poids donné de soufre dans une capsule de porcelaine tarée. Le résidu de l'incinération est pesé. Le soufre bien raffiné brûle sans laisser de cendres.

**120. Arsenic.** — Ce corps ne se trouve que rarement dans le

soufre de Sicile, il peut provenir du mélange d'un soufre retiré des pyrites, généralement arsénifères, avec du soufre de Sicile. Cette recherche sera donc rarement faite. La présence de l'arsenic doit faire rejeter le soufre des emplois militaires.

On examine attentivement le soufre trituré étalé en mince couche sur une feuille de papier blanc, le sulfure d'arsenic ou réalgar étant rouge vif, tranche sur le fond jaune du soufre.

On peut faire usage de l'appareil de Marsh. On transforme le sulfure d'arsenic en un composé oxydé soluble; pour cela on mélange intimement une partie de soufre arsénifère avec cinq parties de carbonate de sodium sec et dix parties de salpêtre. Le tout est placé dans un creuset en porcelaine; on chauffe lentement d'abord, puis on donne un coup de feu pour fondre la masse. Le soufre se transforme en sulfate et le sulfure d'arsenic en arséniate. Après refroidissement on reprend la masse blanche par de l'eau distillée qui dissout le tout et on introduit une partie du liquide dans l'appareil de Marsh.

Celui-ci se compose d'un petit flacon de Woulf à deux tubulures, dans lequel on produit un dégagement d'hydrogène par l'action de l'acide sulfurique très dilué sur le zinc. Comme l'acide et le zinc contiennent souvent de l'arsenic, il faut d'abord essayer l'appareil à blanc. Le tube de dégagement du gaz est suivi d'un tube en verre réfractaire placé horizontalement et terminé en pointe fine. Le jet d'hydrogène étant enflammé, on écrase la flamme au moyen d'un tesson de porcelaine qui ne doit pas noircir. Si des taches noires viennent à se produire, il faut rejeter le contenu du flacon et le remplacer par des matières plus pures.

L'essai à blanc ayant donné de bons résultats, on introduit dans le flacon un peu du liquide arsénical obtenu précédemment. L'arséniate de potassium est réduit par l'hydrogène avec formation d'hydrogène arsénié  $\text{AsH}_3$ , poison des plus redoutables; ce gaz se décompose à la chaleur rouge sombre en arsenic et en hydrogène.

Si pendant le dégagement du gaz, on chauffe une partie du tube de verre réfractaire au rouge sombre, de l'arsenic se dépose dans la partie froide en un anneau noir miroitant.

On peut aussi enflammer le gaz et écraser la flamme au moyen d'un tesson de porcelaine, comme on l'a fait pour l'essai à blanc; on obtient aussitôt des taches noires d'arsenic. La réaction est d'une extrême sensibilité.

L'aspect de la flamme est aussi caractéristique; dès que le liquide contenant l'arsenic est versé dans le flacon, le dégagement gazeux est activé et la flamme prend une teinte livide violacée.

Il est à remarquer que les composés de l'antimoine fournissent des taches analogues à celles de l'arsenic et il est très important de pouvoir les distinguer.

Les taches d'arsenic formées sur le tesson de porcelaine sont brillantes, d'un brun noir; elles disparaissent par une chaleur élevée. Celles d'antimoine sont ternes, d'un noir gris et peu volatiles.

Les taches arsénicales sont solubles dans l'acide azotique; à froid, il y a formation d'acide arsénieux, la solution neutralisée par l'ammoniaque précipite en jaune par l'azotate d'argent ammoniacal (formation d'arsénite d'argent); si l'on opère à chaud, il se forme de l'acide arsénique qui donne, avec l'azotate d'argent ammoniacal, un précipité rouge brique d'arséniate d'argent soluble dans les acides et l'ammoniaque.

On peut encore dissoudre les taches noires d'arsenic dans le chlorure de chaux, qui n'a pas d'effet sur l'antimoine.

Au lieu de faire usage de l'appareil de Marsh, on peut essayer directement la solution d'arséniate de potassium par l'azotate d'argent ammoniacal, mais ce moyen est moins sensible. Il faut avoir préalablement soin de détruire tout le carbonate sodique en excès qui a servi à la désagrégation, par addition prudente d'acide azotique.

Si le soufre contient beaucoup d'arsenic, on simplifie encore la recherche en le faisant digérer dans de l'ammoniaque à 70° c. Le sulfure se dissout, la liqueur est filtrée, on l'additionne d'acide chlorhydrique qui précipite le sulfure d'arsenic.



## SECTION II.

### Fabrication de la poudre noire.

---

#### CHAPITRE I.

TRITURATION, MÉLANGE & COMPRESSION DES MATIÈRES PREMIÈRES.  
GRENADE, LISSAGE, SÉCHAGE & ÉPOUSSETAGE.

---

##### § 1. — TRITURATION, MÉLANGE ET COMPRESSION.

121. — La fabrication de la poudre de guerre consiste en un mélange parfait de salpêtre, de soufre et de charbon de bois en proportions déterminées.

Ces proportions varient légèrement d'un pays à l'autre pour les poudres de guerre, les poudres de chasse et les poudres de mine. De faibles changements dans les proportions font varier les qualités des poudres; leur inflammabilité, due surtout à la présence du soufre, varie peu avec les dosages. Un excès de charbon accélère la combustion dans certaines limites, l'excès de salpêtre la ralentit.

## 122. Composition de la poudre dans les différents pays (pour fusils).

| PAYS.                               | COMPOSITION. |         | CHARBON<br>ROUX. | DENSITÉ<br>ABSOLUE. | DENSITÉ<br>GRAVI-<br>MÉTRIQUE. | GRAINS<br>AU<br>GRAMME. | ÉPAISSEUR<br>DES<br>GRAINS.                       | POIDS<br>DE<br>LA BALLE,<br>LA CHERGE. | POIDS<br>DE<br>LA CHERGE. | VITESSE<br>INITIALE. |
|-------------------------------------|--------------|---------|------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------|---|--|---------------------------|----------------------|
|                                     | NITRE.       | SOUFRE. |                  |                     |                                |                         |   |  |                           |                      |
| Belgique . . . . .                  | 75           | 12.5    | 12.5             | 1.578               | 915                            | 850(max.)               | 1mm — 1mm5  | 25 gr.                                 | 5.20                      | 430                  |
| Roumanie . . . . .                  | 75           | 10      | 15               | 1.735               | 960                            | 496(max.)               | $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{10}$ pouce<br>anglais. | 31.1                                   | 5.50                      | 414                  |
| Angleterre. . . . .                 | 75           | 10      | 15               | 1.745               | 930                            | 660-700                 | 0.6 à 1.8   | 31.1                                   | 5.50                      | 385                  |
| Italie. . . . .                     | 75           | 10      | 15               | 1.700               | 910                            | 5000                    | 0.4 à 0.7   | 20                                     | 4.00                      | 430                  |
| France . . . . .                    | 75           | 10      | 15               | 1.740               | 937                            | 2000                    | 0.6 à 1.2   | 25                                     | 5.25                      | 430                  |
| Républ. Argentine.                  | 75           | 10      | 15               | 1.745               | 930                            | 660-700                 | 0.6 à 1.8   | 31.1                                   | 5.50                      | "                    |
| Allemagne. . . . .                  | 77           | 9       | 14               | 1.685               | 920                            | 1760                    | 0.2 à 1.2   | 25                                     | 5.00                      | 435                  |
| Suisse . . . . .                    | 75           | 11      | 14               | 1.750               | 940                            | "                       | "   | 20                                     | 4.00                      | 430                  |
| Espagne . . . . .                   | 75           | 12.5    | 12.5             | 1.700               | 980                            | "                       | "   | 25                                     | 5.00                      | 430                  |
| Russie . . . . .                    | 77           | 8       | "                | 1.765               | 930                            | "                       | 0.5 à 1.1   | 24                                     | 5.09                      | 43                   |
| Chine (avant J.-C.) .               | 72.6         | 8.4     | 19               | "                   | "                              | "                       | "   | "                                      | "                         | "                    |
| Arabie (xvii <sup>e</sup> siècle) . | 74           | 11      | 15               | "                   | "                              | "                       | "   | "                                      | "                         | "                    |
| France (xvii <sup>e</sup> siècle) . | 75           | 12.5    | 12.5             | "                   | "                              | "                       | "   | "                                      | "                         | "                    |



**123. Opérations successives.** — La fabrication de la poudre comprend les opérations successives suivantes :

1° Le *dosage*, qui consiste à peser les éléments de la poudre suivant des proportions données.

2° La *trituration*, qui a pour but de pulvériser les éléments de la poudre, afin de permettre leur mélange intime.

3° Le *mélange* du salpêtre, du soufre et du charbon de bois. Les appareils doivent pouvoir mêler ces trois substances d'une façon parfaitement uniforme.

4° La *compression*, qui donne à la poudre la densité requise. La densité a une grande influence sur la qualité de la poudre. Celle-ci est d'autant plus lente que sa densité est plus élevée. La tension dans l'intérieur d'un canon augmente avec le calibre. il faut donc, au fur et à mesure que celui-ci s'accroît, exiger des poudres de plus en plus denses. Celles-ci brûlent de plus avec beaucoup de régularité par couches concentriques; ces qualités sont ainsi en faveur de la progressivité des effets de la poudre.

5° Le *grenage*, qui réduit la galette obtenue par la compression en grains plus ou moins gros. La grosseur des grains règle la vitesse de combustion de la poudre.

La forme des grains a une grande importance. On peut avec des poudres à grande densité, régler la surface en prise à la combustion, aux différents instants du phénomène de la déflagration. Elle permet aussi de régler la durée de la combustion d'après la durée du trajet du projectile dans l'âme. La meilleure forme est le parallépipède aplati d'épaisseur constante qui est la dimension minimum du grain. En donnant aux côtés de la base du parallépipède une valeur comprise entre une et demi et deux fois cette dimension minimum la combustion du grain se fait dans les meilleures conditions.

6° Le *lissage*, qui polit le grain, augmente quelquefois sa densité et le rend moins hygroscopique; il diminue le poussier pendant le transport en chariots.

7° Le *séchage* enlève l'eau qui imprègne les grains de poudre; cette eau a été ajoutée afin de diminuer les dangers pendant la fabrication.

8° *L'égalisage*, qui a pour but de classer les grains par ordre de grosseur.

9° *L'époussetage*, qui élimine le poussier du grain terminé.

*Mélange, trituration et compression.*

Ces trois opérations s'exécutent ordinairement dans les mêmes appareils. On fait usage de deux classes de procédés :

1° Les procédés simples : pilons, meules, tonnes.

2° Les procédés mixtes : tonnes et meules, tonnes et pilons, tonnes et presses.

*Procédé des pilons.*

124. — Ce procédé est déjà fort ancien puisqu'on signale l'établissement d'une usine à pilons en 1435 par Harscher à Nuremberg.

L'appareil se compose essentiellement d'une série de pilons soulevés successivement par un arbre à cames et qui retombent dans des mortiers creusés dans un gros madrier de bois.

Le moteur est généralement une roue hydraulique, quelquefois un manège. L'arbre de couche du moteur porte une grande roue dentée verticale engrenant deux roues dentées plus petites placées de part et d'autre du diamètre horizontal. Ces petites roues portent deux longs arbres centraux horizontaux armés d'un certain nombre de cames placées suivant une hélice. Ces cames soulèvent des pilons par l'intermédiaire de mentonnets. Grâce à la disposition des cames suivant une hélice, le soulèvement des pilons se fait alternativement et la résistance à la force est ainsi uniformément répartie. Un même appareil a donc deux séries de pilons ; chaque série comprend une dizaine de pilons.

Le pilon se compose d'une pièce de bois de hêtre de section carrée ; sa longueur varie de 2 à 3 mètres ; son côté est de 10 centimètres ; son poids en moyenne de 20 kilogrammes. La partie inférieure du madrier s'emboîte dans le logement piriforme d'une masse de bronze dur. Afin que celle-ci fasse corps parfait avec la flèche, on termine

cette dernière par un tenon rond qu'on fend à la scie; dans la fente on introduit un coin; le tenon ainsi disposé est introduit dans le creux de la tête en bronze, creux qui est plus large dans le fond qu'à la surface. Par le battement, la flèche s'introduit de plus en plus dans le logement de la masse de bronze et le coin ouvre de plus en plus les mâchoires du tenon, le serrage est bientôt parfait. La tête pèse environ 20 kilogrammes; le poids total du pilon est ainsi de 40 kilogrammes.

Ce poids varie un peu d'un pays à l'autre, mais il doit être le même pour tous les pilons d'une fabrique.

Les flèches des pilons se meuvent entre les pièces jumelles qui les obligent à se mouvoir bien verticalement. La flèche peut être arrêtée à un moment donné en la traversant par une cheville de fer qui s'appuie sur les jumelles; c'est ce qu'on appelle *mettre à la cheville*. La hauteur de sa chute est de 40 centimètres en moyenne, elle doit être la même pour tous les pilons. Il faut, en définitive, que la force vive et le travail de tous les pilons soient les mêmes.

A chaque pilon correspond un mortier. Tous les mortiers d'une même batterie sont creusés dans une épaisse poutre de bois dur; leur forme est sphérique allongée. Le fond du mortier se compose d'un morceau de bois très dur, placé fibres debout. Les axes des mortiers sont distants de 70 centimètres; leur profondeur est de 50 centimètres, et leur largeur de 40 centimètres. Un compteur de tours permet d'enregistrer le nombre de coups.

**Travail.** — On charge chaque mortier de  $1\frac{1}{4}$  kilogramme de charbon, additionné de 1 kilogramme d'eau; on bat pendant une demi-heure à raison de 40 coups à la minute; on arrête.

On introduit alors dans chaque mortier  $1\frac{1}{4}$  kilogramme de soufre (trituré à part),  $7\frac{1}{2}$  kilogrammes de salpêtre en farine et  $\frac{1}{2}$  litre d'eau. La charge totale de matière active est donc 10 kilogrammes, additionnée de 15 % d'eau. Cette grande quantité d'humidité est nécessaire pour que la matière n'échappe pas et pour diminuer le danger. On bat à raison de 60 coups à la minute.

Toutes les heures on arrête et on change la matière de mortier afin d'éviter la formation d'agglomérés, ce qui empêche un

mélange parfait et augmente les dangers. Le contenu du mortier n° 1 est versé dans un réservoir ; la charge du mortier n° 2 va dans le n° 1, etc. ; enfin, la charge du n° 1 va dans le n° 10. Le battage a lieu pendant onze heures ; on ne fait pas de recharges pendant les deux dernières heures, ni d'arrosage. Alors la matière, sous l'influence du choc, se comprime et forme un aggloméré dur appelé *galette*. Elle est enlevée et passe aux appareils de grenage.

*Observation.* — La méthode simple des pilons ne donne pas une trituration et un mélange parfaits. Le microscope révèle encore la présence de la fibre du charbon de bois ; la poudre n'ayant pas une homogénéité absolue donne des effets irréguliers.

Le travail des pilons offre des dangers incessants d'explosion. En raison de ces faits, la méthode est peu à peu abandonnée partout.

#### *Procédé des meules.*

125. Un massif cylindrique, en maçonnerie, supporte une grande meule placée horizontalement ou *meule gisante*, sur laquelle roulent deux meules verticales. La meule gisante est munie de rebords pour que la matière ne tombe pas par terre. Un axe vertical en fer, traverse le centre du massif et sert de pivot à la rotation des deux meules mobiles. Celles-ci sont réunies par un essieu en fer horizontal dont les fusées se meuvent dans des boîtes en bronze enchâssées au centre des meules, lesquelles tournent comme les roues d'une voiture. L'axe vertical porte un manchon dans lequel passe l'essieu des meules ; pendant la rotation de l'axe, l'essieu se meut dans un plan horizontal en entraînant les meules. La réunion est faite de façon à permettre à celles-ci de prendre de légers mouvements, dans le sens vertical, sans risquer de gauchir l'axe.

Les meules de Wetteren sont en chaux carbonatée fétide (Écausines). Elles ont 2<sup>m</sup>60 de diamètre et 0<sup>m</sup>35 d'épaisseur. Leur poids est de 5000 kilogrammes. Les distances des meules à l'axe vertical sont respectivement de 0<sup>m</sup>67 et 0<sup>m</sup>93, afin qu'elles parcourent des pistes différentes. Derrière chaque meule se trouve un repoussoir qui glisse sur la meule gisante et qui ramène la matière à broyer sur la

piste parcourue par les meules. Un des repoussoirs se trouve à l'extérieur de la piste et l'autre à l'intérieur. Il arrive souvent que la matière colle sur les meules, ce qui peut amener à la longue des dangers; pour la détacher, on fait usage de *grattoirs*, espèces de couteaux en bronze ou en bois, placés parallèlement aux génératrices des cylindres et très rapprochés de ceux-ci.

Au lieu de pierre on peut adopter la fonte et cette matière, moulée en coquille, remplace peu à peu les anciennes meules. La pierre, en effet, toujours un peu gélive, peut abandonner des éclats sur la piste, d'où dangers d'explosion. Les meules en fonte sont disposées comme les meules en pierre; leur poids est de 5000 kilogrammes, leur diamètre de 1<sup>m</sup>50 et leur largeur 0<sup>m</sup>47. La distance des deux meules à l'axe vertical est la même : 0<sup>m</sup>675.

#### *Meules suspendues.*

On a introduit tout nouvellement à Wetteren des meules en fonte moulée en coquille, caractérisées par un faible diamètre, une grande largeur et un petit écartement de l'axe vertical de rotation. Cette disposition assure un travail de broyage et de mélange plus énergique. De plus, les meules sont suspendues à une faible distance de la piste en fonte, distance que l'on peut diminuer à volonté; de cette façon, on a l'assurance que jamais les meules, par suite de la disparition accidentelle de la matière à broyer, ne frottent contre le métal de la piste, ce qui offre de grands dangers. Voici comment les meules sont suspendues : l'arbre vertical de rotation porte à la partie supérieure une pièce de fonte horizontale à collier; elle sert de suspension à deux tiges de fer verticales pour chaque meule; ces tiges sont terminées en bas par des étriers dans lesquels passent les fusées des meules. Chaque meule est encadrée par les deux tiges de suspension; on peut soulever celles-ci ou les abaisser par le jeu d'écrous, ce qui entraîne le soulèvement ou l'abaissement des meules.

Un dispositif spécial permet la levée des meules lorsqu'elles viennent à rencontrer sur la piste un corps trop dur. Afin de rendre ce mouvement indépendant dans les deux meules, on fait usage de 2 demi-essieux coudés; on n'a ainsi à craindre aucun faussement.

Le mouvement est donné à l'axe vertical par l'intermédiaire d'engrenages coniques mus par la vapeur.

Les meules sont logées dans des bâtiments en bois de construction légère. La toiture a des gîtes de préférence en fer ; on a remarqué dans des explosions de moulins que les gitages en bois volaient au loin, tandis que ceux en fer restaient sur place.

Parfois aussi l'atelier est formé de trois murs épais, la quatrième face dirigée vers la campagne, est constituée par une paroi légère en planches ; on dirige ainsi l'explosion vers des parties non habitées. Dans quelques usines, l'explosion d'un moulin provoque l'inondation de la piste des moulins voisins.

Toutes les portes s'ouvrent de l'intérieur vers l'extérieur.

**126. Mode de travail des meules.** — Les meules agissent d'abord par leur poids, dont l'effet est un écrasement de la matière ; mais le travail le plus énergique est dû à une torsion. La meule cylindrique a une tendance à rouler suivant une ligne droite ; d'après la disposition que nous avons décrite, elle est obligée de décrire un cercle ; son mouvement est donc celui d'une tangente à une circonférence ; de là naît une friction énergique de la génératrice inférieure de la meule sur le plan de la piste. Cette friction, très vive, peut produire des explosions, c'est pourquoi il faut régler le poids des meules, leur largeur, la vitesse de leur course, le degré d'humidité de la matière pour empêcher ce danger. On avait même proposé l'emploi de meules sphériques roulant sur une meule plane, ou de meules tronconiques roulant sur une piste de même forme, mais les résultats furent peu satisfaisants au point de vue de la trituration et du parfait mélange, l'élément énergétique du travail, la torsion, étant supprimée.

Le procédé des meules est bien préférable à celui des pilons ; la nature fibreuse du bois disparaît complètement ; le mélange est beaucoup plus parfait et les poudres plus régulières. On peut réduire la quantité d'eau de mouillage, ce qui permet d'obtenir une galette dense.

**127. Travail.** — On commence par triturer grossièrement les matières premières, puis on les mélange dans des proportions données ; 25 kilogrammes de mélange ternaire sont versés sur la piste et on

ajoute 1  $\frac{1}{2}$  litre d'eau au moyen d'un arrosoir. La trituration dure d'habitude 3 à 4 heures avec une vitesse de rotation de 3 tours à la minute. L'ouvrier humecte de temps en temps ; la quantité d'eau ajoutée est du reste variable ; elle dépend de la température ambiante, de l'état hygrométrique de l'air, de la plus ou moins grande sécheresse des meules en pierre qui absorbent ou restituent de l'eau.

Au bout de 3 heures, on opère le galetage ; dans ce but, on fait tourner les meules avec une grande lenteur, environ un tour à la minute ; les meules pèsent alors vigoureusement sur la matière, il se forme des croûtes plates, dures, appelées *galettes*.

La vitesse de rotation des meules pendant la trituration doit être bien régulière ; l'expérience a démontré qu'il vaut mieux tourner rapidement et pendant un temps court, que tourner lentement pendant un temps plus long. On a aussi remarqué que la densité de la galette est en relation intime et croissante avec une trituration plus complète.

#### *Procédé des tonnes.*

**128.** Ce procédé, dit *révolutionnaire*, permet de fabriquer une grande quantité de poudre en temps de presse. Seulement la poudre obtenue n'est pas homogène et manque de densité.

On fait usage de tonnes cylindriques en fer, en bois, en cuir. Elles se meuvent autour d'un axe horizontal passant par le centre des parois planes, au moyen de poulies et de courroies. Une des douves porte une ouverture carrée que l'on peut fermer pendant la rotation au moyen d'une planche maintenue par un levier à vis. Elle sert au chargement et au déchargement.

Dans l'intérieur des tonnes et suivant les génératrices de la surface cylindrique se trouvent des liteaux formant saillies. En même temps que la matière à pulvériser, on introduit dans les tonnes des sphères de bronze appelées *gobilles*, qui, dans le mouvement de rotation, sont lancées dans tous les sens et hâtent considérablement la trituration. Les liteaux sont nécessaires pour empêcher que les gobilles, par suite de la force centrifuge, ne se collent contre la paroi cylindrique et lisse de la tonne ; il en résulte des chocs répétés faisant

office de coups de marteaux, et la matière à pulvériser est rapidement écrasée.

Les tonnes en bois et en cuir, constituées comme les tonnes en fer, servent à la trituration et au mélange des composants de la poudre réunis ; ici des dangers d'explosion sont à craindre.

La fabrication comprend :

1° Une trituration binaire de quatre heures avec des gobilles de bronze dans des tonnes en fer, chargées de 170<sup>k</sup>5 de mélange salpêtre-charbon d'une part, et de 80 kilogr. de mélange soufre-charbon d'autre part. La tonne, à cet effet, comprend deux compartiments.

2° Une trituration ternaire de deux heures, avec gobilles de bois ou de bronze, dans des tonnes de cuir.

3° La granulation s'opère en introduisant dans des tonnes de bois de 1<sup>m</sup>65 de diamètre et de 0<sup>m</sup>60 de long, des grains fins de poudre auxquels on ajoute progressivement du mélange ternaire, en y faisant arriver une petite quantité d'eau de pluie. La matière ternaire vient s'attacher à la surface des grains qui forment les noyaux et ils augmentent progressivement de volume en prenant la forme ronde.

On introduit dans le tonneau granulateur. 100 kilogrammes de noyaux (grains d'un diamètre inférieur à 2<sup>mm</sup>2) et 50 kilogrammes de galles concassées (grains d'un diamètre supérieur à 5<sup>mm</sup>) produits d'une opération précédente.

Un tube de cuivre percé de trous capillaires permet de faire arriver de l'eau en pluie fine à peu près perpendiculairement à la surface qui limite la masse de poudre pendant la rotation. Ce mouvement soulève fréquemment un maillet de bois qui vient frapper fortement les douves et empêcher la matière d'y adhérer. On ajoute, par portions, le pulvérin.

On obtient des grains ronds qu'on égalise au moyen de tamis. Le diamètre des grains admis est de 3<sup>mm</sup>4.

Cette poudre manque de densité.

#### *Procédés mixtes.*

**129. A. Tonnes et pilons.** — Le charbon de bois est pulvérisé dans des tonnes en fer et tamisé ; il en est de même du soufre. Le



nitre raffiné en farine est tamisé. On mélange les trois matières, et on soumet 10 kilogr. humectés de 1,5 kilogr. d'eau au battage sous les pilons. On bat d'abord lentement pendant une demi-heure, puis on fait suivre d'un battage pendant dix heures, à raison de 60 coups à la minute. On fait sept rechanges avec addition de 250 grammes d'eau, la pâte en retient 8 %.

**130. B. Tonnes et meules.** — (Wetteren) avant 1885.

**Dosage des composés binaires.** — On fait deux mélanges binaires : l'un composé de nitre et de charbon, l'autre de soufre et de charbon. Ces mixtures facilitent la trituration et hâtent le mélange ternaire.

|                  |                |   |          |                     |                    |   |          |        |
|------------------|----------------|---|----------|---------------------|--------------------|---|----------|--------|
| Dosage pratique. | 1 <sup>o</sup> | { | Salpêtre | 45 <sup>k</sup> 735 | Dosage pratique %. | { | Salpêtre | 44.265 |
|                  |                |   | Charbon  | 5 <sup>k</sup> 925  |                    |   | Charbon  | 5.735  |
|                  |                |   |          | 51 <sup>k</sup> 660 |                    |   |          | 50.000 |
|                  | 2 <sup>o</sup> | { | Soufre   | 37 <sup>k</sup> 50  |                    | { | Soufre   | 36.058 |
|                  |                |   | Charbon  | 14 <sup>k</sup> 50  |                    |   | Charbon  | 13.942 |
|                  |                |   |          | 52 <sup>k</sup> 00  |                    |   |          | 50.000 |

Le soufre et le charbon de bois ont été préalablement broyés.

**131. Pulvérisation du soufre.** — A Wetteren, on emploie le soufre de Sicile raffiné en canons à Marseille, à Paris, à Rouen ou à Anvers. On ne fait pas usage du soufre en fleurs, parce qu'il renferme un peu d'acide sulfurique qui est très avide d'eau. Le soufre en canons est broyé sous des meules, trituré ensuite dans une tonne de fer avec des gobilles de bronze et soumis à un tamisage qui le fournit à l'état de poudre impalpable.

On met sous les meules 25 kg. de soufre à la fois; les meules font trois tours par minute, et l'opération est terminée au bout d'une demi-heure.

Les meules sont de petites dimensions; elles ne pèsent que 1800 kg. chacune; plus lourdes, elles feraient adhérer le soufre à leur surface et le travail deviendrait impossible. Le soufre retiré des meules est transporté à la tonne à triturer; celle-ci est en fer et munie à l'intérieur de 8 liteaux du même métal; elle reçoit un chargement de 60 kg. de gobilles de toutes dimensions et 50 kg. de soufre. La tonne

fait dix-huit tours en une minute, et au bout d'une demi-heure la matière est réduite en poudre presque impalpable. Longueur de la tonne : 1<sup>m</sup>30; diamètre : 0<sup>m</sup>800.

On tamise ensuite le soufre; les tamis sont composés de : un crible en parchemin, un tamis en soie et un tambour en peau superposés. Ils sont réunis par trois, dans un cadre mobile auquel on imprime un mouvement de va-et-vient. Le tout est disposé dans une cage en bois. On met dans chaque tamis 2 kilogr. de soufre et 3 gobilles en bronze ou en bois; au bout de quelques minutes le soufre est rendu en poussière impalpable dans le tambour en peau; le travail est assez rapide pour suivre celui des meules et de la tonne à triturer.

On a employé aussi un blutoir mécanique qui se compose de deux tissus disposés de manière à former deux cylindres concentriques; le premier tissu, celui de l'intérieur, est métallique et le deuxième est en soie, tous les deux du reste très fins; ces tissus sont montés sur un arbre en fer. On imprime à ce blutoir une vitesse de rotation de 40 tours par minute; on introduit le soufre venu de la tonne par petites parties dans le cylindre intérieur, qui laisse passer la poussière assez fine et retient le soufre resté à l'état granuleux.

Une légère pente règne suivant l'axe du blutoir; elle est nécessaire pour que l'opération s'effectue sur toute la longueur, et pour permettre au soufre en grains retenu dans le premier tissu de se rendre par une gouttière disposée à l'extrémité du blutoir dans une cuvette à ce destinée.

Le soufre en poussière impalpable est recueilli dans quatre maies placées sous le blutoir; le tout est recouvert d'une grande cage en bois qui empêche la matière de se répandre dans l'atelier. La longueur du blutoir est de 4 mètres. Le diamètre du premier tissu est de 0<sup>m</sup>60; celui du second de 0<sup>m</sup>68.

**132. B. Trituration des composés binaires.** — Cette trituration se fait dans des tonnes en fer constituées comme à l'ordinaire. Longueur de la tonne : 1 mètre; diamètre : 1<sup>m</sup>165; gobilles en bronze de 10, 15 et 20 millimètres.

*Travail* : 100 kilogrammes de gobilles + 2 sacs nitre-charbon (103\*32) ou 2 sacs soufre-charbon. Vitesse : 23 tours à la minute.

Il faut deux heures et demie pour le mélange du nitre-charbon, on fait usage de deux tonnes.

Il faut trois heures et demie pour le mélange du soufre-charbon, on fait usage de cinq tonnes.

De cette façon, la trituration dure le même temps pour les deux catégories de mélanges; on arrête, on enlève la porte, et on la remplace par une porte en grosse toile métallique; l'ouverture est amenée en bas, et le pulvérin s'écoule au travers de la toile dans une maie, tandis que les gobilles sont retenues dans la tonne.

**133. C. Dosage des composés ternaires.** — On prend : 41  $\frac{2}{3}$  kg. de nitre-charbon + 8  $\frac{1}{3}$  kilog. de soufre-charbon; au total 50 kilog., ce qui correspond à un mélange dont la composition est la suivante :

|                  |         |
|------------------|---------|
| Nitre . . . . .  | 73,775  |
| Charbon. . . . . | 14,205  |
| Soufre . . . . . | 12,020  |
|                  | <hr/>   |
|                  | 100,000 |

La poudre doit finalement avoir comme composition :

|                  |         |
|------------------|---------|
| Nitre . . . . .  | 75,000  |
| Charbon. . . . . | 12,500  |
| Soufre . . . . . | 12,500  |
|                  | <hr/>   |
|                  | 100,000 |

Le dosage pratique diffère donc de la composition du produit final; cela provient de la tendance qu'a le charbon de bois de s'échapper pendant les triturations; il faut en outre tenir compte de la quantité d'eau que les matières renferment, ainsi que les sels et cendres du charbon.

**134. D. Trituration et mélange des composés ternaires.** — On fait usage de tonnes mélangeoires en cuir de vache. Le cuir est maintenu entre douze liteaux intérieurs et extérieurs en bois; leur saillie est de 4 centimètres. Les tonnes sont divisées en deux compartiments par une cloison médiane en chêne; chacun des compartiments a une porte pleine et une porte treillissée. L'axe de rotation est

recouvert d'un manchon en bois garni de cuir. Longueur des tonnes 1<sup>m</sup>20; diamètre 1<sup>m</sup>30.

*Travail* : 25 kilogrammes de gobilles de bois dans chaque compartiment, plus un sac du mélange ternaire (50 kilogrammes); vitesse de rotation : 12 tours à la minute pendant une heure au plus.

**135. E. Trituration, mélange et compression sous les meules.**

— Les meules achèvent le travail des tonnes.

On passe sous les meules 25 kilog. d'un mélange de :

$\frac{2}{3}$  poussier provenant des tonnes de cuir,

$\frac{1}{3}$  " " " grenoirs, etc.

On humecte légèrement d'eau de pluie au moyen d'un petit arrosoir à raison de 1  $\frac{1}{2}$  à 2  $\frac{1}{2}$  litres par batterie.

Tous les moulins exécutent le travail en même temps; la vitesse de rotation est de 3 tours par minute pendant trois heures. L'ouvrier suit les meules, achève le travail des racloirs et des repousseurs, arrose la matière; il ajoute peu à peu de l'eau jusqu'à concurrence de 8 à 14 % suivant l'état hygrométrique de l'air et des meules; avec trop peu d'eau il se forme du poussier; avec trop d'eau la charge glisse sous les meules.

Dans les huit dernières minutes des trois heures, et dont le commencement est annoncé par une sonnerie, tous les moulins sont amenés à une vitesse très lente, de manière à ne plus faire qu'une révolution par minute.

La galette se forme; celle-ci terminée, une nouvelle sonnerie fait procéder à son enlèvement dans des cuvelles qui servent à la transporter aux grenoirs; cette sonnerie sert aussi de signal pour commencer une nouvelle opération.

La vitesse des meules peut être portée à 5 tours par minute, et le temps de trituration augmenté ou diminué suivant l'espèce de poudre à produire.

La galette contient 7 à 8 % d'eau.

Le galetage aux meules est rapide, mais la densité de la galette n'est pas uniforme et n'est pas élevée.

**136. Méthode précédente simplifiée à Wetteren.** — On triture à part le soufre sous les meules, puis on l'achève à la tonne. Il est

ensuite mêlé au charbon de bois, et le mélange binaire est trituré dans des tonnes en fer pendant trois heures. Le salpêtre en farine est alors ajouté au mélange précédent, et on triture le tout à la tonne de cuir; enfin on passe aux meules et on comprime.

On évite ainsi une des triturations binaires. La méthode ancienne est encore en usage pour certaines poudres.

### *Tonnes, meules et presses.*

137. — A Wetteren, le mélange et la trituration se font dans des tonnes et sous les meules comme précédemment, mais la galette s'obtient à la presse hydraulique.

S'il est nécessaire, on humecte légèrement le poussier (6 %) avant la compression. Dans un bac en bois, on place une feuille de cuivre ou de zinc rigide, une toile par-dessus, puis un cadre de bois d'une certaine hauteur.

L'ouvrier, au moyen d'une petite pelle en bois, verse du pulvérin dans le cadre et en égalise la surface; le cadre est enlevé et l'on a ainsi une couche bien limitée de pulvérin, qu'on recouvre d'une nouvelle toile et d'une nouvelle feuille de cuivre; on continue dans le même ordre jusqu'à ce qu'on ait une soixantaine de couches. Les feuilles de cuivre ont 42 centimètres de côté. Actuellement les feuilles de cuivre sont remplacées par des feuilles d'ébonite, ce qui permet la suppression des toiles.

Le tas est porté sous la presse hydraulique qui donne une pression lente (pendant 20 à 60 minutes) de 96 kilog. par centimètre carré. La pression est indiquée par un manomètre ou par la réduction de la hauteur du tas de poudre.

En général, pour obtenir une galette d'épaisseur  $a$ , on prend un cadre d'une hauteur  $2a$ . A Wetteren, on fabrique ainsi des galettes qui donnent des grains de 10 à 13<sup>mm</sup>, 13 à 16<sup>mm</sup>, 16 à 20<sup>mm</sup>, 20 à 25<sup>mm</sup>, 25 à 30<sup>mm</sup>.

Dans certaines fabriques, on comprime le poussier sans ajouter de l'eau; seulement, cette galette sèche est dangereuse à grener et à lisser et elle donne beaucoup de poussier.

**138. Presses hydrauliques à chaud.** — On a fait en Russie en 1878 des galettes, en comprimant la matière ternaire à chaud. Cette idée, mise en avant par S. Robert, fut exécutée par le colonel russe Wiener à la poudrerie d'Ochta.

On se sert d'une presse hydraulique munie de deux plaques creuses de cuivre, dans lesquelles on peut faire arriver de la vapeur d'eau. Le mélange ternaire qui doit constituer la poudre et qui a été opéré à sec, est étendu sur la plaque de cuivre inférieure (vissée sur le plateau mobile de la presse). Le piston est mis en mouvement et la pression s'exerce pendant dix minutes. Le gâteau de poudre qui en résulte forme une masse homogène due à la fusion du soufre, la température des plaques creuses de cuivre étant portée à 120° c.

La densité du gâteau est 1,66 à 1,70. La pression de 25 kilog. par centimètre carré.

Le gâteau est grené au grenoir Congrève.

Les avantages de ce mode de préparation de la poudre à chaud seraient :

- 1° Une diminution dans la propriété hygroscopique; donc, avantage pour la conservation dans les magasins humides;
- 2° Fabrication moins coûteuse, car elle supprime les séchoirs;
- 3° Le danger de fabrication moindre, parce que les manipulations sont moins longues.

En Allemagne, certaines usines font usage d'une espèce de laminoir pour obtenir la galette, mais la pression n'est pas très uniforme.

La méthode de la presse hydraulique permet d'obtenir des galettes de très grande densité (1.830). Une grande densité est avantageuse parce qu'elle permet d'introduire, dans une capacité donnée, plus de matière explosive et par conséquent d'augmenter le potentiel; de plus, les poudres denses sont lentes et favorables au tir des grosses bouches à feu; elles sont peu sujettes à se laisser pénétrer par l'humidité, donnent peu de poussier et relativement peu de résidus dans les canons.

La méthode des tonnes, des meules et des presses fournit les meilleures poudres au point de vue de la force et de la régularité, toutes choses égales d'ailleurs.

§ 2. — GRENAGE DE LA POUDRE.

139. — La galette obtenue par l'une des méthodes précédentes est divisée en grains d'épaisseurs variables. De la grosseur du grain dépend la rapidité plus ou moins grande de la combustion de la charge; composition de la poudre mise à part. On appelle *vitesse d'inflammation* d'un grain de poudre, la vitesse avec laquelle la flamme partant du point allumé enveloppe tout le grain; *la vitesse de combustion* est la vitesse avec laquelle le feu marche de la surface au centre du grain. Les expériences prouvent que la vitesse d'inflammation d'un grain ou d'une charge est beaucoup plus grande que la vitesse de combustion; or, celle-ci dépend évidemment de la grosseur du grain; plus celui-ci sera fin, plus sa combustion sera rapide. La poudre de chasse, dont les grains sont très petits, constitue une poudre fort vive et même brisante, tandis que les poudres à gros grains, à l'usage des bouches à feu de gros calibres, sont lentes. Il ne faut cependant pas composer des grains trop fins et faire usage de poussier, car la flamme ne pourrait plus pénétrer dans les interstices et l'inflammation instantanée de toute la charge deviendrait impossible.

Le grenage est donc une condition essentielle de l'inflammation rapide de la charge et de la rapidité plus ou moins grande de sa combustion.

Il évite encore la séparation des éléments de la poudre dans les transports; il empêche sa filtration à travers les sacs ou barils et diminue ainsi le danger des manipulations, il rend la poudre moins hygroscopique; cette hygroscopicité varie du reste avec la composition (charbon roux ou noir), avec la forme et la grosseur du grain, en raison de l'augmentation ou de la diminution relative de la surface extérieure totale.

140. **Grenoir Lefèvre.** — Il est appelé aussi *grenoir à retour*, *grenoir mécanique*.

Il se compose d'un plateau de bois octogonal de 2<sup>m</sup>50 de diamètre, suspendu horizontalement au plafond au moyen de 8 cordes. Il reçoit un mouvement de giration d'un axe vertical, coudé dans sa partie

moyenne; l'excentricité est de 0<sup>m</sup>16, la vitesse de rotation 70 à 75 tours par minute.

Le plateau supporte 8 cribles disposés contre les côtés du plateau. Le crible a la forme générale d'un tamis à plusieurs fonds. Le premier fond supérieur est composé d'une plaque de noyer percée de trous de 6 mm.; il supporte un tourteau de bois de charme, pesant 700 grammes, qui concasse la galette. Ce premier tamis constitue le *guillaume*. La galette concassée passe au travers du guillaume et tombe sur un deuxième fond constitué par une toile métallique appelée *grenoir en guerre*; ce grenoir est quelquefois muni d'un tourteau d'un poids inférieur à 500 grammes; il laisse passer les grains d'artillerie et les grains plus fins. Enfin, en dessous du grenoir en guerre, se trouve un tamis en crin ou en zinc perforé, qui retient les grains d'artillerie et les grains plus fins et laisse passer le poussier. Des tubes en cuir conduisent les grains dans des tines et le poussier dans des boîtes à poussier. Une manche en peau, en forme d'entonnoir, ferme le guillaume par au-dessus et sert au chargement de la galette. Celle-ci est préalablement concassée grossièrement au marteau de bois.

Le poussier est reporté sous les meules; les grains sont conduits au magasin des poudres vertes.

**Grenoir Lefèvre modifié.** — Parfois des morceaux trop gros passent du guillaume dans le grenoir en guerre. On peut les faire revenir sur le guillaume en disposant, entre les deux tamis, un conduit courbe, dans lequel viennent s'engager les grains trop gros, animés d'une force vive assez considérable. Ces grains montent alors par l'action de la force centrifuge et se soumettant à l'action du tourteau.

**141. Grenoir Congrève ou Grüson.** — Le principe en est dû au général anglais Congrève qui le proposa en 1819.

Entre deux grands flasques verticaux sont disposés huit cylindres horizontaux par paires, suivant un axe incliné à 35° environ et à des distances verticales de 0<sup>m</sup>736. Les diamètres sont de 0<sup>m</sup>178 et la longueur 0<sup>m</sup>762. Ils sont accouplés comme les laminoirs métallurgiques, mais les cylindres, au lieu d'être superposés, sont placés l'un à côté de l'autre, dans un plan horizontal.



Ces cylindres portent à leur surface des dents qui sont taillées en pointes de diamant avec des saillies de 6<sup>mm</sup>4 à 6<sup>mm</sup>2; les dents d'un des cylindres correspondent aux creux de l'autre cylindre et cela dans le but de rompre la galette et non pas de l'écraser. Les dents des autres paires se terminent à leur sommet en forme de tranchant et ont de 3 à 4 millimètres de saillie.

L'écartement des deux cylindres varie d'une paire à l'autre et va en diminuant. Dans chaque paire l'axe d'un des cylindres est fixe, l'autre peut s'écarter ou se rapprocher au moyen d'une vis qui donne l'écartement minimum; si un morceau de galette trop dure se présente, le cylindre mobile s'écarte, mais il revient à sa place par l'action d'un contre-poids. Le mouvement est communiqué au cylindre de la paire n° 1, qui le transmet au cylindre fixe de la paire n° 2, et ainsi de suite; chacun des cylindres fixes mène, par un engrenage, le cylindre jumeau. Sous chaque paire se trouve un tamis formé d'une toile métallique sans fin, qui conduit à la paire suivante la galette encore trop grosse; sous chaque tamis se trouve une caisse. Souvent on fait usage d'un blutoir incliné.

Dans le cas où l'on ne retire qu'une poudre, deux égalisoirs, maximum et minimum suffisent, et l'on recueille dans trois tines, les grains trop gros, les bons grains et le poussier.

Les tamis reçoivent des mouvements longitudinaux rapides. La galette est portée à la paire supérieure par une toile sans fin, munie de bandelettes transversales. En travail continu, l'appareil peut grener 3 à 4000 kilogrammes de galettes par jour.

Le grenoir Congrève offre de sérieux avantages sur les autres grenoirs : la forme des grains est meilleure, plus régulière, leur combustion est par conséquent plus uniforme.

Le grenage peut se faire sur des galettes très dures et d'épaisseurs variables. La production est élevée et l'emploi de l'appareil est sûr.

**142. Grenage des poudres à gros grains.** — On emploie différents moyens pour casser la galette des presses hydrauliques.

En France, on fait usage de maillets cubiques en bois, dont la face inférieure est garnie de pointes en laiton, taillées en diamant et disposées en quinconce. La galette, grossièrement concassée, est

placée sur des tables percées de trous correspondant aux dents du maillet; l'ouvrier frappe et les morceaux de galette passent au travers de la table qui sert ainsi de surégalisoir.

A Wetteren, on découpe la galette en bandes régulières, à l'aide d'une espèce de couteau de guillotine en bronze, qui prend un mouvement vertical de va-et-vient au moyen d'un excentrique. Les bandes sont replacées les unes contre les autres et engagées perpendiculairement sous le même couteau qui les divise ainsi en cubes de dimensions voulues.

Parfois on coupe les bandes avec un marteau à bec de laiton.

Dans certaines poudreries, on produit sur la galette une série de lignes de rupture par l'interposition, pendant la compression, de baguettes métalliques.

### § 3. — LISSAGE DE LA POUDRE.

**143.** — Le lissage a pour but d'effacer les arêtes vives et de polir le grain, ce qui diminue la quantité de poussier pendant les transports en chariots. La densité est légèrement augmentée, du moins pour la galette de meules et l'espèce de vernis formé à la surface des grains en diminue l'hygroscopicité.

A Wetteren, on lisse deux fois la poudre; une première fois après le grenage et une seconde fois après le premier séchage. Si on lissait complètement la poudre après le grenage, l'eau qui s'y trouve enfermée comme en une sorte de vase clos, fendillerait le grain en s'échappant, et après dessiccation complète, le grain aurait perdu son brillant. Si on lissait après le séchage, le brillant ne s'acquerrait qu'avec grand danger d'explosion.

Il est donc préférable de lisser d'abord légèrement le grain avant de le sécher et de terminer par un lissage définitif.

Le poli de la poudre est obtenu par le glissement lent des grains de poudre les uns sur les autres.

**144.** Pour le premier lissage, on emploie de petites tonnes lissoires en bois à trois compartiments, munies de portes pour le chargement et le déchargement. Les tonnes sont formées de 24 douves dont 12

font saillie à l'intérieur afin d'empêcher l'adhérence des grains. La tonne tourne autour d'un axe horizontal en fer, garni d'un manchon en bois. — Longueur 2<sup>m</sup>25; diamètre 0<sup>m</sup>60.

Pour le second lissage, on fait usage de grandes tonnes lissoires à deux compartiments. — Longueur 1<sup>m</sup>40; diamètre 1<sup>m</sup>65. Les douves sont en bois, ondulées vers l'intérieur.

Une cage en cuir recouvre les tonnes. Une maie mobile sur des rails en bois peut se placer sous les tonnes et recevoir la poudre lissée.

**145. Travail.** — Petites tonnes : 50 kilogr. de poudre dans chaque compartiment; 20 tours par minute pendant 2 heures et demie.

Grandes tonnes : 50 kilogr. de poudre dans chaque compartiment; 16 tours par minute pendant 4 heures. La grandeur de ces tonnes et leur vitesse donnent un lissage énergique.

**146. Causes qui influent sur le lissage.** — Nous pouvons citer : 1<sup>o</sup> l'inégalité des grains : le frottement est énergique, le lissage est rapide, mais la quantité de poussier est considérable; 2<sup>o</sup> la proportion d'eau : avec trop peu d'humidité (en dessous de 3 %), il y a du danger, la masse s'échauffe et il se forme du poussier; avec trop d'eau (8 %), une croûte ou *galle* tapisse l'intérieur de la tonne; de plus, la chaleur due au frottement, détermine une vaporisation abondante et le salpêtre vient s'effleurir à la surface des grains; le poussier s'agglomère aux grains et augmente leur diamètre. Le lissage des poudres très humides exige généralement un nouveau surégalissage pour enlever les grains trop gros; 3<sup>o</sup> le refroidissement trop rapide des grains à leur sortie de la tonne de lissage, produit la disparition du poli; aussi, doit-on avoir soin de laisser éteindre le mouvement de la tonne; de cette façon, la masse, tout en continuant à se lisser, se refroidit lentement.

Dans certains lissoirs, on ouvre une porte près de l'axe de rotation; la vapeur d'eau s'échappe, ce qui permet de supprimer le premier séchage, mais on tombe dans l'inconvénient de devoir lisser des poudres vertes humides.

Pour augmenter le brillant des grains, on ajoute quelquefois de la plombagine. Un lissage court et à grande vitesse expose à des explo-

sions; la température monte rapidement à 60°, ce qui produit la volatilisation du soufre, fait prouvé par l'odeur manifeste du soufre qui se répand dans les ateliers.

#### § 4. — SÉCHAGE.

**147.** On fait deux séchages à Wetteren : un après le premier lissage, il dure une heure à la température de 30° c. ; un second après le deuxième lissage; il dure trois heures à la température de 50 à 60° c.

Le séchage doit se faire ni trop vite ni trop lentement. Dans le premier cas, le grain se fendille par la tension de la vapeur d'eau, dans le second cas, l'eau disparaissant avec lenteur, entraîne avec elle du salpêtre et le grain s'effleurit; il se recouvre d'une couche blanchâtre de nitre.

**148. Séchage par la vapeur d'eau.** — Un gros tuyau, soutenu par des supports scellés aux murs, parcourt plusieurs fois la chambre ou séchoir. Il est un peu incliné afin que l'eau de condensation puisse s'écouler. On injecte dans le tuyau de la vapeur d'eau à 100°; la température du séchoir monte jusque 50° c.

La poudre est étendue sur des étagères, le long des murs, en couches de 2 ou 3 centimètres. Un ventilateur à ailettes enlève la vapeur d'eau provenant de la dessiccation des grains. De temps en temps, un ouvrier remue la poudre.

**149. Séchage par l'air chaud.** — Dans ce procédé, on injecte de l'air chaud au travers de la poudre mise en tas mince. Pour chauffer l'air, on fait usage d'un tambour cylindrique en fonte; à quelques centimètres des deux fonds pleins sont disposés deux faux fonds, percés de trous, qui reçoivent une centaine de tubes de cuivre de faible diamètre. Le tambour est ainsi divisé en trois compartiments; le milieu contenant les tubes. Un tuyau, mis en communication avec un ventilateur, envoie de l'air dans le premier compartiment; cet air se subdivise et traverse les tubes de cuivre, puis se répand dans le troisième compartiment, d'où un tuyau l'amène dans les séchoirs. Les tubes de cuivre sont chauffés extérieurement; pour cela, de la vapeur d'eau est amenée dans le compartiment médian. L'air froid, finement

divisé, s'échauffe rapidement. Une place voisine renferme un ou deux grands coffres de bois, fermés de tous côtés, sauf à la partie supérieure; là se trouve une toile métallique, un peu inclinée, couverte d'une serge, ou prélat, sur laquelle on place la poudre en couche de 2 ou 3 centimètres. L'air chaud du tambour est amené dans le coffre et est obligé de filtrer entre les grains. La dessiccation est très rapide, on sèche 300 kilogr. en une heure.

§ 5. — ÉGALISAGE ET ÉPOUSSETAGE.

150. On a pour but de classer les grains suivant l'ordre de grosseur. On fait usage d'un crible dont les perces ont un diamètre convenable; sous ce crible, se trouvent des tamis. Si par, exemple, il faut égaliser des grains pour l'artillerie et l'infanterie, l'opération peut se faire en une fois de la façon suivante :

|                       | <i>Perces.</i> |                               |
|-----------------------|----------------|-------------------------------|
| Crible                | $2^{mm}5$      | Sur-égalisoir d'artillerie.   |
| 1 <sup>er</sup> tamis | $1^{mm}5$      | } Sous-égalisoir id.          |
| 2 <sup>e</sup> tamis  | $1^{mm}$       |                               |
|                       |                | } Sur-égalisoir d'infanterie. |
|                       |                | } Sous-égalisoir id.          |

Les grains plus gros que  $2^{mm}5$  restent sur le crible; il tombe sur le premier tamis des grains de  $2^{mm}5$  et en dessous; les grains de  $2^{mm}5$  ne peuvent passer et sont recueillis; il tombe sur le second tamis, les grains de  $1^{mm}5$  et en dessous; les premiers sont retenus et les autres passent ( $1^{mm}$  et en dessous). Une étamine, dont les perces sont plus petites que  $1^{mm}$ , placée sous le second tamis, fait l'époussetage de  $1^{mm}$ .

Les cribles sont placés, à Wetteren, au nombre de trois dans une espèce de bac en bois, suspendu au plafond au moyen de quatre cordes. L'ouvrier pousse l'appareil devant lui avec force, le bac heurte une tige de bois flexible attachée au plafond et formant lame vibrante; le bac est repoussé vers l'ouvrier, etc.; ce mouvement de va-et-vient provoque l'égalisage rapide.

*Époussetage.*

Il peut se faire dans des espèces de blutoirs ou bien en faisant rouler les grains sur un cadre d'étamine incliné. Du reste, les appareils de grenage, et surtout d'égalisage, provoquent la disparition du poussier.

Les poudres égalisées et classées sont conservées en magasin dans des caisses contenant 5500 kilogrammes.

*Rendement.* — 100 kilogrammes de galette donnent :

40 kilogrammes de grains d'artillerie ;

20       "       de grains d'infanterie ;

40       "       de poussier.

Ce dernier est reporté aux meules avec les grumeaux et les croûtes.

## CHAPITRE II.

### POUDRES SPÉCIALES.

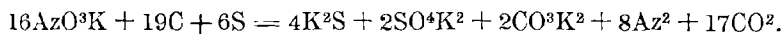
#### *Poudres de chasse.*

151. Ces poudres sont beaucoup plus vives que les poudres de guerre ordinaires. Cela résulte de leur composition, de l'emploi d'un charbon roux, et d'un grenage à grains excessivement fins (jusque 25.000 grains au gramme).

#### Composition de quelques poudres de chasse. —

|                | Nitre. | Carbone. | Soufre.         |
|----------------|--------|----------|-----------------|
| Belgique . . . | 78     | 12       | 10              |
| France . . .   | 78     | 12       | 10 (Pilons).    |
| " . . .        | 77     | 13,5     | 9,5 (Bouchet).  |
| " . . .        | 76     | 14       | 10 (Esquerdes). |
| " . . .        | 74     | 17       | 10 (Essone).    |
| Russie . . .   | 80     | 12       | 8               |
| Allemagne . .  | 78,5   | 11,5     | 10              |

Formule de l'explosion :



On voit qu'en général, ces poudres renferment un excès de salpêtre, et le charbon est roux. Nous avons eu l'occasion de discuter

l'influence du charbon très chargé de matières volatiles combustibles sur la force de la poudre (n° 88). Cette poudre a même dans les armes rayées des allures Brisantes. Elle est exclusivement employée dans les armes de chasse parce qu'elle disperse moins les grains de plomb. Dans notre armée, elle sert au chargement des cartouches de revolvers et de pistolets.

*Poudres de mine.*

152. — Ces poudres sont lentes. Dans les mines et les carrières, elles disloquent les masses suivant les lignes de moindre résistance, mais elles ne doivent produire aucun effet de pulvérisation. Il faut donc que ces poudres spéciales aient beaucoup de force, mais elles ne la développeront qu'avec lenteur. Elles sont caractérisées dans leur composition par un surdosage du soufre, ce qui les rend plus faciles à enflammer, moins vives et moins hygroscopiques. La diminution du salpêtre cause une augmentation du volume gazeux, en même temps qu'une réduction du prix de revient.

A Wetteren, on comprime la poudre de mine en grains à la presse hydraulique, et on forme des cartouches cylindriques. L'un des bouts possède un trou pour l'introduction de la mèche, qui se replie ensuite dans un canal creusé suivant une génératrice du cylindre. L'avantage principal est de réduire la hauteur de la charge dans le trou de mine.

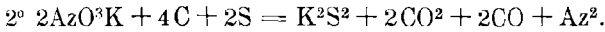
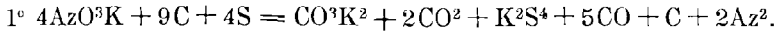
On fabrique des cartouches de 20, 25, 30 et 35 millimètres de diamètre et du poids de 45, 92, 140, 240 grammes.

**Composition de quelques poudres de mine. —**

|                      | Nitre. | Charbon. | Soufre. |
|----------------------|--------|----------|---------|
| Belgique (Wetteren). | 70,00  | 14,00    | 16,00   |
| "    (Ombret) .      | 73,50  | 12,50    | 14,00   |
| Autriche . . . . .   | 62,50  | 19,40    | 18,10   |
| France . . . . .     | 62,00  | 18,00    | 20,00   |
| Russie . . . . .     | 66,66  | 16,66    | 16,66   |
| Italie. . . . .      | 70,00  | 12,00    | 18,00   |



Formules de l'explosion :



### *Charges comprimées.*

153. — Dans le but d'éviter le grenage, les Américains, lors de la guerre de sécession, imaginèrent de mouler le mélange ternaire sous forme de cartouches par la presse hydraulique. Les résultats furent mauvais. La pratique ne sanctionna pas non plus l'agglomération par la pression des grains de poudre sous forme de cartouches; ces poudres agglomérées sont plus Brisantes que la poudre en grains, sans doute à cause de la suppression du vide de la charge dans les chambres des armes à feu.

La France employa longtemps les cartouches comprimées pour le chargement des canons Reffeye de campagne et les mitrailleuses. La gargousse du canon de 7 contenait cinq rondelles cylindriques avec trou central.

### *Poudres progressives.*

154. — Autrefois, on ne faisait usage que de deux espèces de poudres : la poudre à fusil à grains fins et la poudre à canons à grains un peu plus gros (2<sup>mm</sup>5); cette dernière poudre était employée pour les canons de tous les calibres.

Lorsqu'on introduisit dans l'armement des bouches à feu monstres, on reconnut que l'ancienne poudre était beaucoup trop vive, elle occasionna plusieurs éclatements de pièces. On songea alors à fabriquer des grains très gros et, en outre à leur donner de la progressivité. L'idéal, c'est qu'en effet la poudre émette dans le principe peu de gaz, de quoi vaincre l'inertie du projectile; puis, celui-ci étant en mouvement, il faut augmenter de plus en plus la pression qui le chasse, et par suite, sa vitesse et sa portée.

Lorsqu'on examine ce qui se passe dans la combustion d'un gros grain de poudre à *l'air libre*, on voit que la quantité de gaz émise

dans le principe est un maximum, et qu'elle diminue de plus en plus. L'inflammation du grain est instantanée, mais sa combustion se fait plus lentement; le feu progresse de la surface vers le centre avec une vitesse uniforme, seulement la quantité de poudre brûlée pendant des temps égaux est loin d'être la même, le volume des zones diminue sans cesse. Il faudrait évidemment obtenir le contraire et tâcher d'allumer le grain par son centre; de là, l'idée de fabriquer des grains prismatiques, percés de trous parallèles aux arêtes du prisme; si celui-ci est hexagonal, on peut, en réunissant ces grains, obtenir des charges compactes, munies de canaux pour la circulation instantanée de l'inflammation, qui commence ainsi par l'intérieur du grain. Dans le principe, le grain était percé de sept trous, mais on reconnut bientôt que cette poudre, lente en effet pendant les premiers moments, devenait brisante à la fin; le grain se brisait en menus morceaux à cause de la fragilité des parois des ouvertures; aujourd'hui, les grains prismatiques ne possèdent plus qu'un trou central, et ils peuvent être regardés comme suffisamment progressifs.

Ces grains s'obtiennent en comprimant la poudre grenée dans des moules au moyen de presses; chaque coup de presse permet d'obtenir un grand nombre de grains; la presse hydraulique étant un peu lente, on fait usage de presses mécaniques.

En Belgique, cette poudre prismatique est réglementaire pour les canons de 24 et de 28 centimètres. Diamètre maximum :  $39^{\text{mm}}5$  à  $40^{\text{mm}}2$ , hauteur :  $24^{\text{mm}}8$  à  $25^{\text{mm}}2$ , diamètre du canal :  $9^{\text{mm}}4$  à  $10^{\text{mm}}$ . Le canal est très légèrement tronconique. Le poids du grain varie de 42 à 42,3 grammes (voir n° 160).

Melsens proposa une poudre ronde obtenue par agglomération et formée de couches concentriques de poudre de plus en plus vive. La poudre Totten à compensation avait un noyau central en coton-poudre.

On, a du reste, reconnu qu'un grain de poudre à grande densité brûle d'une façon progressive quand il est soumis à des pressions croissantes; c'est ce qui se passe dans une bouche à feu; une charge composée de gros grains massifs émettra une quantité de gaz de plus en plus considérable, malgré la diminution de la surface enflammée.

Ainsi, une poudre dont la vitesse de combustion à l'air libre est de 10<sup>mm</sup> par seconde aurait une vitesse de combustion de 320<sup>mm</sup> dans les grosses bouches à feu.

La vitesse de combustion sous pression peut être représentée par :

$$V = V_0 \left( \frac{p}{p_0} \right)^\alpha$$

V, vitesse de combustion à la pression de p, atmosphères,

V<sub>0</sub>, " " " " atmosphérique,

p<sub>0</sub>, pression atmosphérique,

$\alpha = \frac{1}{2}$ .

On peut, du reste, par une forme spéciale des grains, faire en sorte que la surface qui brûle reste à peu près la même; il suffit de faire usage de grains parallélépipédiques plats proposés par le capitaine Castan. La surface d'inflammation se compose en effet, ici, de deux grandes bases et de facettes latérales, mais le grain étant plat, on voit que celles-ci ont peu d'influence; le grain, tout en brûlant, conserve sa forme, et la diminution de la surface d'inflammation ne porte que sur les faces latérales qui sont négligeables.

**155. Régularité des poudres.** — Outre la progressivité, il faut que tous les grains d'une charge brûlent dans les mêmes conditions; de là, la nécessité de fabrication des grains moulés de formes diverses. Les poudres prismatiques rentrent dans cette catégorie; on a fabriqué des poudres de forme sphérique dont la combustion est très régulière.

Il n'est, du reste, pas nécessaire de donner aux grains des formes géométriques parfaites et identiques; un grain cubique brûle dans le même temps que le grain sphérique inscrit; deux grains inégaux se comporteront de même, pourvu que leur dimension minimum soit la même; c'est le cas de grains provenant d'une même galette. Il faut aussi faire intervenir le nombre de grains au kilogramme, car plus ce nombre devient considérable, plus la surface d'inflammation est grande, et il est désirable que cette surface soit la même pour toutes les charges d'une bouche à feu afin d'avoir un tir régulier.

**156. Poudres à gros grains.** — Nous allons donner le signalement rapide de quelques-unes des poudres citées précédemment.

**Poudres Mammoth.** — Proposées par le général américain Rodman. Les tensions dans les canons diminuent avec l'augmentation de la grosseur du grain à vitesse initiale constante. Les grains sont cubiques : de 15<sup>mm</sup>2 à 22<sup>mm</sup>9 pour les grosses bouches à feu ; 6<sup>mm</sup>3 à 8<sup>mm</sup>9 pour les calibres moyens.

Nos poudres d'artillerie de 6 à 10<sup>mm</sup> et de 13 à 16<sup>mm</sup> rentrent dans cette catégorie.

Wetteren a fabriqué pour des essais avec notre matériel, des poudres de 10 à 13<sup>mm</sup> ; 13 à 16<sup>mm</sup> ; 16 à 20<sup>mm</sup> ; 25 à 30<sup>mm</sup>.

**Poudre pebble** (pebble = caillou). — C'est une poudre analogue à la précédente employée par Armstrong en Angleterre.

**157. Poudre plate Castan.** — Parallépipèdes de 10 × 10 × 2<sup>mm</sup> (canons de 7<sup>c</sup>5 et 8<sup>c</sup>5).

**Poudre pellet** (pellet = boule). — Forme cylindrique ; une des bases porte un évidement en forme de cône émoussé.

**158. Poudre brune dite chocolat.** — Elle est employée dans les bouches à feu de côte. Sa caractéristique est une en fait, c'est une poudre binaire : nitre et charbon, roux. Ce charbon est analogue à celui que l'on peut avoir avec le charbon ordinaire par l'acide nitrique étendu. On ajoute du soufre pour faciliter l'inflammation. Voici sa composition d'après nos analyses sur divers

|              |         |        |
|--------------|---------|--------|
| Nitre        | . . . . | 77,017 |
| Charbon roux | . . . . | 18,110 |

I

Le charbon est du charbon de bourdaine au rendement de 80

à 85 % obtenu dans les cylindres mobiles de carbonisation. On fait aussi usage de charbon de paille de seigle. Les matières premières sont triturées dans des tonnes. Pour le soufre et le charbon, on fait un binaire qu'on triture à la tonne. On ajoute au binaire le salpêtre tamisé, et on triture sous les meules. On comprime à la presse hydraulique, puis on grène et on lisse. Enfin, on moule à la presse sous forme de grains prismatiques.

Densité 1,815, humidité 2 %.

Elle donne lieu, dans les canons, à beaucoup de régularité, à une grande vitesse initiale avec des pressions faibles.

Voici des chiffres comparatifs.

|                          | Poids de la charge. | Poids du projectile. | Vitesses initiales. | Pressions en atmosphères (jauge Rodman). |
|--------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--|
| Poudre prismatique . . . | 39 <sup>k</sup>     | 140 <sup>k</sup>     | 490 <sup>m</sup>    | 2625                                     |
| Poudre chocolat . . .    | 39                  | 140                  | 481                 | 1935                                     |

Les résultats supérieurs à ceux donnés par la poudre noire ne peuvent être acquis par la poudre brune que dans les canons d'au moins 30 à 35 calibres de longueur ; c'est une conséquence de sa grande lenteur.

Contenant une grande quantité de charbon de bois à peine torréfié, cette poudre est hygroscopique ; aussi, faut-il la conserver dans des boîtes métalliques, hermétiquement closes, ce qui en augmente notablement le prix.

Lorsqu'on enflamme un grain prismatique de poudre brune par son canal central, il brûle lentement par couches concentriques ; on peut même tenir le grain entre les doigts en ayant soin de mettre le canal parallèlement à la paume de la main. Un grain prismatique de poudre noire brûle, au contraire, avec une extrême vivacité.

La poudre brune n'est pas aisée à enflammer ; le mélange nitre-charbon s'enflamme bien plus difficilement que le mélange nitre-soufre. Nous avons vu à l'étude du nitre (n° 11) que le charbon et le nitre réagissent seulement à la température de 400°, tandis que l'inflammation du sulfo-nitre se fait déjà à 250°.

Afin d'assurer l'explosion de la poudre brune dans un canon, on emploie quelques grains de poudre prismatique noire, placés dans la charge en regard de la lumière.

Le charbon roux, employé dans la poudre brune, renferme beaucoup d'hydrogène; les produits de l'explosion sont donc riches en vapeur d'eau; aussi la poudre brune répand-elle une épaisse fumée par un temps humide, tandis que la fumée est presque nulle quand le temps est sec.

On a constaté, dans ces derniers temps, que la poudre brune diminuait de force par la conservation; peut-être cela est-il dû à une absorption d'humidité.

# SECTION III.

## Propriétés générales des poudres.

---

### CHAPITRE I.

#### PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

---

##### § I. — SIGNALEMENT DES POUDRES.

159. — La poudre doit être d'une couleur bleu-ardoise, légèrement rousse pour les poudres à base de charbon de bois roux. Les grains doivent être assez durs pour ne pas s'écraser entre les doigts; ils s'écrasent sous la dent en offrant une légère résistance et ils forment sur la langue une pâte sans rugosité, ce qui est le signe d'une bonne trituration. Sous la loupe, la poudre doit présenter une couleur uniforme sans trace d'efflorescences cristallines.

Ces efflorescences proviennent des alternatives d'humidité et de sécheresse que la poudre a subies; c'est du salpêtre qui sort du grain avec l'eau pendant la dessiccation lente, la poudre est évidemment désorganisée. Les grains roulant sur le dos de la main ne doivent pas abandonner du poussier; ils brûlent sur du papier sans laisser de résidu et sans l'enflammer: c'est le signe d'une grande vivacité.

Les grains doivent avoir, autant que possible, une grosseur uniforme pour chaque espèce de poudre et leur nombre doit être compris dans certaines limites réglementaires.

La poudre s'enflamme vers 250° par l'approche d'un corps en ignition, mais la réaction entre les éléments ne s'opère qu'à 400°.

Elle s'enflamme par le choc du fer sur le fer, du fer sur le laiton, même du laiton sur le laiton; l'inflammation est très difficile par le choc du cuivre sur le cuivre ou du cuivre sur le bronze; cette propriété a fait choisir le cuivre et le bronze dans l'outillage des poudreries et des magasins à poudre; l'inflammation se fait par le choc quartz sur quartz, plomb sur plomb, jamais bois sur bois.

La poudre ne doit pas contenir une quantité d'eau trop considérable. Une poudre convenablement séchée après fabrication peut, quand elle est conservée à l'air humide, absorber de l'eau; cela dépend beaucoup de la pureté du salpêtre et du soufre; le premier contient souvent du sel marin hygroscopique et le second de l'acide sulfurique. Le charbon est une substance naturellement un peu hygroscopique et il l'est d'autant plus qu'il est plus roux.

Il est clair qu'une poudre même fabriquée avec des matières premières pures sera d'autant plus hygroscopique que l'air humide aura plus de facilité à pénétrer dans le grain; les gros grains, très denses, absorbent peu d'eau; les grains fins et le poussier beaucoup plus.

L'humidité de la poudre diminue les vitesses initiales des projectiles; ainsi, dans le fusil, pour les proportions d'humidité comprises entre 0,8 et 1,6 %, un accroissement de 0,1 % d'eau correspond à une perte de vitesse de 1 mètre environ.

En général, la poudre absorbe dans les magasins humides, 1,20 % d'eau. Placé dans un air saturé de vapeur d'eau, l'absorption doit être au maximum de 7 %.

#### POUDRES BELGES.

160. — Les poudres de guerre en usage sont dénommées comme suit:

1<sup>o</sup> *Poudre d'infanterie*, sert pour le chargement de toutes les armes portatives, à l'exception des revolvers et des pistolets.

2<sup>o</sup> *Poudre d'artillerie fins grains*, charges explosives des obus et des shrapnels de 8<sup>o</sup>7 et 7<sup>o</sup>5, chargement des étoupilles à friction, remplace la poudre de chasse pour shrapnels de 9<sup>o</sup> et 8<sup>o</sup>, charges de revolvers et pistolets.

3<sup>o</sup> *Poudres d'artillerie à grains ordin.* divisées en 4 catégories :

1<sup>re</sup> catég. : canons rayés de 8<sup>o</sup>, 9<sup>o</sup>, 12<sup>o</sup> modèle 1862; 15<sup>o</sup> fonte, mortiers rayés de 8<sup>o</sup>7 et de 21<sup>o</sup> en bronze.



2<sup>e</sup> catég. : tirs du temps de guerre et, de préférence, tirs du temps de paix.

3<sup>e</sup> catég. : chargement des projectiles pour le temps de guerre.

4<sup>e</sup> catég. : chargement des projectiles, tirs en blanc, artifices.

4<sup>e</sup> Poudres d'artillerie à gros grains. — a) Grains de 6 à 10<sup>mm</sup>, confection des charges des canons rayés de 7<sup>c</sup>5, de 8<sup>c</sup>7, de 12<sup>c</sup> (modèle 1862), de 15<sup>c</sup> fonte et des obusiers et mortiers rayés de 15<sup>c</sup>, chargement des obus de la nouvelle artillerie de forteresse.

b) Grains de 13 à 16<sup>mm</sup>, charges du canon rayé bronze de 15<sup>c</sup>.

5<sup>e</sup> Poudres d'artillerie à grains prismatiques. — a) Poudre prismatique à un canal, — charges des canons rayés de 24<sup>c</sup> et 28<sup>c</sup>, des canons longs de 24<sup>c</sup> (batterie cuirassée de Sainte-Marie).

b) Poudre prismatique à sept canaux, — amorçage des charges des canons de 12<sup>c</sup> modèle 1889, 15<sup>c</sup> modèle 1886 et 1890, 24<sup>c</sup> long et 28<sup>c</sup>.

6<sup>e</sup> Poudres brunes. — Poudre prismatique à un canal, — confection des charges des canons de 12<sup>c</sup> modèle 1889, de 15<sup>c</sup> modèle 1886 et 1890 et des canons de 24<sup>c</sup> longs.

### Poudres noires et brunes.

#### DOSAGES ET TOLÉRANCES.

| ESPÈCES DE POUDRES.                                       | DOSAGES ET TOLÉRANCES EN |                   |                   | e/o maximum<br>d'humidité<br>tolérée dans les<br>poudre | OBSERVATIONS.   |
|---|--------------------------|-------------------|-------------------|---|---|
|   | SALPÊTRE.                | SOUFR.            | CHARBON.          |   |   |
| Poudre d'Infanterie.                                      | 75<br>75.5-74.5          | 12.5<br>12.5-11.5 | 12.5<br>13.5-12.5 | 0.85  | Le salpêtre retiré<br>d'une poudre ne peut<br>contenir plus de $\frac{1}{8000}$ de<br>son poids de chlorure de<br>sodium. |
| Poudre d'Artillerie,<br>à grains fins.                    | 78<br>78.5-77.5          | 10<br>10-9        | 12<br>13-12       | »   |   |
| Poudre d'Artillerie,<br>à grains ordinaires.              | 75<br>75.5-74.5          | 12.5<br>12.5-11.5 | 12.5<br>13.5-12.5 | 0.85  |   |
| Poudre d'Artillerie,<br>grains de 6 à 10 <sup>mm</sup> .  | 74<br>74.5-73.5          | 10<br>10.5-9.5    | 16<br>16.5-15.5   | 1.10  |   |
| Poudre d'Artillerie,<br>grains de 13 à 16 <sup>mm</sup> . | 75<br>75.5-74.5          | 12.5<br>12.5-11.5 | 12.5<br>13.5-11.5 | 1.10  |   |
| Poudre prismatique noire,<br>à un canal.                  | 74<br>74.5-73.5          | 10<br>10.5-9.5    | 16<br>16.5-15.5   | 1.10  |   |
| Poudre prismatique,<br>à 7 canaux.                        | 74<br>74.5-73.5          | 10<br>10.5-9.5    | 16<br>16.5-15.5   | 1.10  |   |
| Poudre prismatique brune.                                 | 80<br>80.5-79.5          | 3<br>3.5-2.5      | 17<br>17.5-16.5   | 2.00  |   |

## Poudres noires et brunes.

### RENSEIGNEMENTS SUR LES GRAINS.

| ESPÈCES<br>DE POUDRES.                 | DIMENSIONS<br>DES GRAINS.  | NOMBRE<br>DE GRAINS<br>DANS UN,        | TOLÉRANCES<br>EN GRAINS.                         |  | OBSERVATIONS.  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  | TROP GROS.                                       | TROP FINS.   |  |
| P. d'Infanterie.                       | 1mm à 1mm5   | Gr. 750-850                            | En p. 3 0/0.                                     | En p. 5 0/0.   | Les dimensions des grains de la 3e catégorie sont en général de 0mm8 à 1mm3; celles des grains de la 2e catégorie de 1mm à 1mm4. |
| P. d'Artillerie,<br>fins grains.       | 0mm5 à 1mm   | Gr. 3300-3600                          | Id.  | Id.  |  |
| P. d'Artillerie,<br>grains ordinaires. | 1mm5 à 2mm5  | Gr. 200-250                            | Id.  | Id.  | Les dimensions des grains des poudres fabriqués avant 1876 = 1mm3 à 2mm3; de 1878 = 1mm4 à 2mm4.                                 |
| P. d'Artillerie<br>à grains 6-10.      | 6mm à 10mm   | Hect. 230-270                          | 4 grains au plus sur 100 pour la poudre à tirer. | 1 grain au plus sur 100 pour la poudre à charges explosives. | Les grains les plus fins doivent rester sur un sous-égaliseur dont les perces ont 5mm de diamètre.                               |
| P. d'Artillerie<br>à grains 13-16.     | 13mm à 16mm  | Kil. 340-360                           | Id.  | 8 grains au plus sur 100                                     | Les grains les plus fins doivent rester sur un sous-égaliseur dont les perces ont 12mm de diamètre.                              |
| P. prismatique<br>noire à 1 canal.     | $2r = 35mm \pm 0.2.$<br>$h = 24mm8 \text{ à } 25mm2.$<br>$d = 9mm4 \text{ à } 10mm.$ | Poids moyen d'un grain = 42 à 42.3 gr. |  |  | $r$ = rayon du cercle inscrit.<br>$h$ = hauteur du grain.<br>$d$ = diamètre des canaux: ils sont légèrement tronconiques.        |
| P. prismatique<br>noire à 7 canaux.    | $2r = 35mm \pm 0.2.$<br>$h = 24mm8 \text{ à } 25mm2.$<br>$d = 4mm7.$                 | Poids moyen d'un grain = 38.06 gr.     |  |  |  |
| P. prismatique<br>brune allemande.     | $2r = 34mm \pm 0.2.$<br>$h = 25.$<br>$d = 9mm \text{ à } 9mm8.$                      | Poids moyen d'un grain = 40.8 gr.      |  |  |  |
| P. prismatique<br>brune de Wetteren.   | $2r = 34mm6 \pm 0.2.$<br>$h = 25 \pm 0.3.$<br>$d = 9.4 \text{ à } 9.9$               |  |  |  |  |

## Densités.

| ESPÈCES DE POWDRES.   | DENSITÉ       |                | OBSERVATIONS.   |
|---|---------------|----------------|---|
|   | GRAVIMÉTRIQUE | AU MERCURE.    |   |
| Poudre d'Infanterie.  | 0.900-0.930   | 1.563-1.588    | La densité gravimétrique des poudres des 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> catégories était de 0.920 au plus, pour les poudres neuves, et 0.835 pour les poudres en service. |
| Poudre d'Artillerie, fins grains.                             | 0.940-0.970   | 1.770-1.795    |   |
| Poudre d'Artillerie, grains ordinaires.                       | 0.920-0.950   | 1.563-1.588    | La densité au mercure des poudres en service, destinées au tir des bouches à feu ne peut être inférieure à 1.533.   |
| Poudre d'Artillerie, 6-10 pour charges de tir.                | 0.960 0.990   | 1.653-1.678    |   |
| Poudre d'Artillerie, 6-10 pour chargement intérieur des obus. | 0 985         | 1.768          |   |
| Poudre d'Artillerie, 13-16.                                   | 1.070-1.130   | 1.730-1.755    |   |
| Poudre prismatique, à 1 canal.                                |               | 1.730-1.770    |   |
| Poudre prismatique, à 7 canaux.                               |               | 1.674          |   |
| Poudre brune.   |               | 1.760<br>1.815 | Pour les canons de 12 c. et 15 c. Id. de 24 c.  |

## Poudres noires et brunes.

### CHARGEMENT ET CARACTÈRES BALISTIQUES ET MÉCANIQUES.

| ESPÈCES DE POWDRES.                                | ARMES EMPLOYÉES.               | CHARGEMENT.                       | NOMBRE DE COUPS. | DISTANCES DES CADRES A LA BOUCHE.               | VITESSE MOYENN. ET DIFF. QUADR. PAR RAPPORT A CETTE VITESSE. | Pression max à la culasse en atmosphères. |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|------------------|---|--|---|
| P. d'Infanterie.                                   | Fusil.                         | 5.1 grammes.<br>Balle 25-25. 1 g. | 20               | 0 et 50 <sup>m</sup><br>moyenne 25.             | V25 = 425 à 435.<br>3 m.                                     |   |
| P. d'Artillerie, grains ordinaires.                | Canon 12 c. A mod. 1862, n° 1. | Charge 1 k. 450<br>Obus 14 k. 9.  | 10               | 9.5 à 59.5 <sup>m</sup> , 10.5 à 60.5, moy. 35. | V35 = 350.<br>2.50.  | 2400                                      |
| P. d'Artillerie, 6-10 pour le tir.                 | Canon 8 c. 7.                  | Charge 1 k. 5.<br>Obus 6 k. 8.    | 10               | 24.5 à 74.50<br>25.5 à 75.50<br>moyenne 50.     | V50 = 450.<br>2.50.  | 2400                                      |
| P. d'Artillerie, 6-10 pour les charges explosives. | Canon 8 c. 7.                  | Charge 1 k. 5.<br>Obus 6 k. 8.    | 5                | Moyenne 50 m.                                   | V50 = 405.5 à 414.5, aucune vitesse > 418 m.                 | 1350 à 1600                               |
| P. d'Artillerie, 13-16.                            | Canon 15 c. B. n° 1.           | Charge 5 k. 5<br>Obus 29 k. 37.   | 10               | 24.5 à 79.5, 25.5 à 80.5 moy. 55.               | V55 = 360 <sup>m</sup> .<br>3.00.                            |   |
| P. prismatique noire 1 canal.                      | Canon 24 c. A. n° 8.           | Charge 25 k.<br>Obus 119 k.       | 10               | 24.5 à 79.5, 25.5 à 80.5 moy. 55.               | V55 = 420.   | 1800                                      |
| P. prismatique brune allemande.                    | Canon 15 c. A.                 | Charge 9 k.<br>Obus 31.5 k.       | 10               | Moyenne 75.                                     | V75 ne peut être infer. à 505 m. p <sup>r</sup> aucun coup.  | 2300                                      |
| P. prismatique brune de Wetteren.                  | Canon 15 c. A.                 | Charge 9 k.<br>Obus 31.5 k.       |                  | Moyenne 75.                                     | 516-526.<br>2.50.  | 2300                                      |

RECHERCHE DE LA DENSITÉ DES POUDRES.

**161.** La densité d'un corps est le rapport du poids d'un volume quelconque du corps supposé à 0° au poids d'un égal volume d'eau distillée à 4° c.

La densité des poudres est extrêmement variable. Elle dépend surtout du procédé de fabrication; une poudre bien triturée et bien galetée voit sa densité augmenter. La nature du charbon a aussi une influence; les poudres à charbon roux sont moins denses que celles à charbon noir; l'essence de bois fait même varier la densité.

Il y a lieu de distinguer trois espèces de densités pour la poudre :

1° *La densité apparente*; c'est la densité des grains isolés en comprenant l'air contenu dans leurs pores;

2° *La densité absolue*; c'est la densité des grains isolés débarrassés de l'air des pores;

3° *La densité gravimétrique*; c'est le poids de l'unité de volume de poudre, y compris l'air renfermé entre les grains. C'est donc le poids en grammes d'un litre de poudre non tassée.

La densité apparente est donnée par la méthode du flacon, par le densimètre de Bode, par celui de Ricq.

La densité absolue est fournie d'une façon très approchée par le densimètre Mallet-Bianchi, réglementaire dans notre armée.

La densité gravimétrique est cherchée par un gravimètre.

*Méthode du flacon.*

**162.** Nous donnerons la description de cette méthode qui fournit, avec les poudres, des résultats très approximatifs, parce qu'elle est d'une manipulation très aisée, et qui peut être appliquée avec un vase quelconque de verre, bouché à l'émeri.

L'appareil des laboratoires est le flacon de densité ou picnomètre. C'est un petit flacon sphérique, à fond plat, d'une dizaine de centimètres cubes de contenance; on peut le fermer au moyen d'un bouchon à l'émeri ayant la forme d'un tube mince creux.

Le liquide employé ne pouvant avoir aucune action dissolvante sur les éléments de la poudre, on fait usage de l'*alcool absolu*.

Sur le plateau de gauche d'une balance de précision, on place le picnomètre rempli d'alcool absolu, et une petite capsule renfermant 1 gramme de poudre.

Pour remplir le picnomètre convenablement, on verse l'alcool dans le petit flacon jusqu'à ce que le ménisque liquide, qui dépasse les bords du goulot, menace de déborder; on enfonce alors le bouchon verticalement et brusquement, on est certain que le tube du bouchon se trouve entièrement rempli. Il faut éviter, le plus possible, de toucher le flacon avec les doigts nus, sinon la température de l'alcool s'élève et fausse les calculs. L'appareil est bien essuyé.

L'équilibre est établi au moyen de grenaille de plomb, versée dans une capsule placée sur le plateau de droite.

Le flacon est enlevé, ouvert, et on y introduit le gramme de poudre; cela ne peut évidemment se faire qu'avec perte d'une certaine quantité d'alcool; le volume de cet alcool est justement égal à celui de la poudre. On ferme le flacon avec le bouchon et on a soin de remplir celui-ci exactement comme précédemment; on rapporte à la balance (plateau de gauche) avec la petite capsule vidée; l'équilibre n'existe plus, la balance trébuche du côté droit. On équilibre avec des poids marqués, soit :  $P_a$  grammes; ils représentent le poids de l'alcool sorti du flacon.

Représentons par  $D_p$  la densité de la poudre,  $V_p$  son volume,  $P_p$  son poids; on a :

$$P_p = D_p \times V_p; \quad \text{d'où} \quad D_p = \frac{P_p}{V_p}.$$

$P_p$  est connu, c'est 1 gramme dans les conditions de notre expérience.  $V_p$  est connu aussi; il est égal au volume  $V_a$  de l'alcool sorti du flacon, et puisqu'on a la relation :

$$P_a = V_a \times D_a; \quad \text{d'où} \quad V_a = \frac{P_a}{D_a}; \quad \text{il vient :}$$

$$D_p = \frac{P_p \times D_a}{P_a}.$$

Si l'on tient compte de la perte de poids dans l'air, on a :

$$D_p = \frac{P_p \times D_a}{P_a} - \frac{P_p - P_a}{P_a} \times m$$

(m, poids du centimètre cube d'air dans les conditions de l'expérience). Ce second terme est souvent négligé.

Il faut également tenir compte de la densité de l'alcool à la température de l'expérience. La densité d'un liquide à  $t^\circ$  est connue, quand on connaît sa densité à  $0^\circ$  et son coefficient de dilatation :

$$d_t = \frac{d_0}{1 + kt} = \frac{0,8095}{1 + 0,0010414 t}$$

Il vient donc finalement, pour la valeur de la densité de la poudre à  $0^\circ$  c. :

$$D_p = \frac{P_p \times \frac{0,8095}{1 + 0,0010414 t}}{P_a} = \frac{0,8095 P_p}{P_a(1 + 0,0010414 t)}$$

La méthode du flacon offre quelques inconvénients, parmi lesquels nous signalerons :

1° Le changement de densité de l'alcool absolu pendant l'opération : on sait que l'alcool absolu est extrêmement avide d'eau, sa densité augmente dans une proportion inconnue; 2° Des bulles d'air se dégagent de la poudre pendant la recherche; la densité obtenue ne tient pas compte des vides remplis d'air. On peut, pour éviter cet inconvénient, mettre le picnomètre chargé de sa poudre et de son alcool sous la cloche d'une machine pneumatique.

**163. Densimètre Mallet-Bianchi** (densité au mercure). — Ces inconvénients n'existent pas dans l'appareil de M. Mallet, construit par M. Bianchi. Le liquide employé est le mercure, dont la densité ne varie pas à l'air à température constante; de plus on fait usage du vide.

L'appareil se compose d'un vase ovoïde en fer ou en verre, ouvert aux deux extrémités du grand axe et muni, en ces endroits, de deux tubulures garnies de viroles en fonte; on visse sur celles-ci, des chapeaux en fonte munis de robinets. Le vase ovoïde (le grand axe

placé verticalement) possède, à la jonction de la virole inférieure et du chapeau, une peau de chamois qui sert à la filtration du mercure lors de sa montée dans le vase sous l'influence du vide; à la jonction de la virole supérieure et du chapeau se trouve une toile métallique, destinée à retenir les grains de poudre qui viennent se loger à la surface supérieure du mercure. Au chapeau supérieur est adapté un tube barométrique, ouvert au-dessus et communiquant avec une machine pneumatique; le chapeau inférieur est muni d'un tube en fer à bec effilé, qui plonge dans une cuvette remplie de mercure. Sur le trajet du tuyau en caoutchouc relié à la pompe pneumatique, se trouve un flacon pour recueillir le mercure qui pourrait s'échapper de l'appareil et pénétrer dans le piston.

Pour exécuter une opération, on ferme le robinet inférieur et on fait le vide; on ouvre alors le robinet inférieur, et le mercure monte lentement jusque dans le tube barométrique; quand il cesse de monter, on donne quelques coups de pompe pour parfaire le vide. On ferme le robinet inférieur; on laisse rentrer l'air au-dessus du mercure, on lit la graduation et on prend la température du mercure. On ferme le robinet supérieur, on dévisse le tube barométrique et le tube à bec effilé; le vase ovoïde rempli de mercure est pesé à une balance à bascule sensible. Soit  $P$  le poids trouvé (la poudre ici est pesée à part).

Le vase ovoïde est vidé de son mercure, et on y introduit un kilogramme de poudre, préalablement séchée à  $60^{\circ}$  c. et bien refroidie; on revise les ajustages et on fait revenir le mercure dans l'appareil comme précédemment.

Le robinet inférieur étant fermé, on laisse revenir la pression atmosphérique par le dessus du mercure, ce qui provoque, à l'intérieur du vase ovoïde et sur la poudre, une pression équivalente à environ deux atmosphères : celle de l'air et celle de la colonne mercurielle. On constate que le mercure descend, prouve que celui-ci pénètre dans les pores de la poudre; on refait le vide, on redonne la pression de deux atmosphères et on agit ainsi, autant de fois qu'il faut, pour que le niveau du mercure atteigne la graduation qui a été lue précédemment. On reprend la température du mercure.

On pèse le vase rempli de mercure et de poudre : soit  $P'$  kilogr.

Le calcul de la densité de la poudre est maintenant très simple :  $P - P'$  représente le poids du mercure dont le volume est égal à celui de la poudre introduite dans le vase.

Soient  $P_p$ ,  $D_p$ ,  $V_p$  le poids, la densité et le volume de la poudre ;  
 $P_m$ ,  $D_m$ ,  $V_m$ , les mêmes données pour le mercure.

Il vient : 
$$D_p = \frac{P_p}{V_p}.$$

Or, le volume  $V_p = V_m$ , et comme  $V_m = \frac{P_m}{D_m} = V_p$ ;

On a : 
$$D_p = \frac{P_p \times D_m}{P_m};$$

tout est connu, sauf  $P_m$  ; or, le poids  $P_m$  est celui du mercure sorti du vase ovoïde ; il vaut évidemment :  $P - P' + P_p$ .

Donc :

$$D_p = \frac{P_p \times D_m}{P - P' + P_p}.$$

Il faut faire la correction de la température et rechercher la valeur  $D_m$ , correspondant à la température actuelle.

On a la relation générale :

$$D_0 = D_t (1 + Kt) = D_t \left( 1 + \frac{t}{5550} \right); \text{ d'où } D_t = \frac{D_0}{1 + 0,00018 t}.$$

Pour le mercure, la densité à  $t^\circ$  sera :  $D_m = \frac{13,596}{1 + 0,00018 t}.$

Il vient finalement :

$$D_p = \frac{P_p \times 13,596}{(P - P' + P_p) (1 + 0,00018 t)}.$$

La forme du vase est modifiée quand il s'agit de rechercher la densité des poudres à gros grains, des poudres prismatiques et même des galettes. Le vase est aplati et il se ferme au moyen d'un couvercle très large et à joints bien hermétiques ; c'est au couvercle qu'on adapte le tube barométrique.



**164. Densimètre du lieutenant-colonel Bode.** — Il sert surtout à la recherche de la densité des poudres à gros grains et des galettes.

Il se compose d'un vase en verre contenant du mercure et d'un plateau de balance portant sur son pourtour trois tiges verticales; ces tiges sont, à une certaine hauteur, repliées à angle droit et les extrémités se rejoignent en un point central, où elles sont soudées. Les trois branches horizontales des tiges portent trois aiguilles qui se dirigent vers le plateau; elles sont exactement de même longueur; au point de soudure se trouve une aiguille plus courte que les autres de 2 millimètres.

On pèse un grain de poudre, soit  $P_p$ ; puis on le place sur le mercure; on appuie dessus les trois aiguilles de la balance, et on charge le plateau de poids marqués, jusqu'à ce que l'aiguille centrale affleure le mercure, le grain de poudre est alors entièrement noyé.

Soient  $D_m$ , la densité du mercure;

$V_m$ , le volume du mercure déplacé;

$P_m$ , le poids du mercure déplacé;

$P_p$ , le poids du grain de poudre;

$V_p$ , le volume du grain;

$D_p$ , la densité du grain de poudre;

$P$ , le poids du plateau;

$p$ , les poids marqués.

On a :

$$D_p = \frac{P_p}{V_p}.$$

Or :

$$V_p = V_m \quad \text{et} \quad V_m = \frac{P_m}{D_m}.$$

Or, le poids  $P_m$  du mercure déplacé représente évidemment, dans le vase, la poussée de bas en haut. Elle fait équilibre à la poussée de haut en bas, qui est représentée par  $P_p + P + p$ ; il vient donc :

$$V_m = \frac{P_p + P + p}{D_m}, \text{ et enfin,}$$

$$D_p = \frac{P_p \times D_m}{P_p + P + p} = \frac{P_p \times 13,596}{(P_p + P + p)(1 + 0,00018 t)}.$$

**165. Densimètre de Ricq.** — Dans la formule  $D_p = \frac{P_p}{V_p}$ , le volume  $V_p$  est inconnu. Avec l'appareil de Ricq, ce volume est évalué, par sa différence avec un volume type convenablement choisi et fixe. Ce volume type est représenté par des billes de verre.

L'appareil consiste essentiellement en un vase de fonte, composé de deux cylindres superposés. Le cylindre supérieur est large et peu élevé, l'autre est long et étroit. Dans ce dernier se meut un piston, muni d'un obturateur système de Bange; le cylindre large reçoit la poudre et les billes. Il peut être fermé, par le dessus, au moyen d'un couvercle bien assujetti et percé, en son centre, d'un écrou dans lequel on visse un bouchon, muni d'un tube gradué en dixièmes de centimètre cube. Un tampon en bois, muni d'une rondelle de caoutchouc, peut descendre dans le tube gradué, de manière à permettre de faire le vide dans l'appareil.

Pour faire une opération, on retire le piston jusqu'à l'arrêt; on verse, dans le grand cylindre, du mercure en quantité suffisante et on introduit les billes par un trou spécial; on pousse le piston à fond, le mercure monte dans le tube gradué jusqu'à une division 50; pour arriver juste à ce point, on ajoute ou on enlève un peu de mercure au moyen d'une pipette. On fait descendre le tampon de bois jusqu'au niveau du mercure, et on le serre dans cette position; on tire le piston, le vide se fait et le mercure se débarrasse de l'air qu'il contient; on repousse le piston à fond, et au lieu d'obtenir la graduation 50 comme tantôt on atteint une division moins élevée; on recommence à plusieurs reprises jusqu'à ce que le niveau reste le même et arrive à la n<sup>e</sup> division. On enlève les billes, on les remplace par de la poudre et on opère pour chasser les bulles d'air comme plus haut; le mercure s'arrête finalement à une division n'; par conséquent, la différence entre le volume des billes et celui de la poudre est :

$$D = n' - n.$$

Si donc  $V_b$  est le volume type de billes, on a :

$$D_p = \frac{P_p}{V_b + D}.$$

Le volume  $V_b$  est trouvé par une méthode quelconque, on peut par exemple, d'appliquer la formule :  $P_b = V_b \times D_b$ ; d'où  $V_b = \frac{P_b}{D_b}$  valeur dans laquelle on connaît le poids  $P_b$ ; il suffit de rechercher par une méthode physique la densité  $D_b$  du verre employé.

### *Densité gravimétrique.*

166. C'est le poids d'un litre de poudre. L'appareil s'appelle le gravimètre.

C'est un récipient en cuivre, mesurant exactement un litre pour les poudres d'infanterie et les poudres d'artillerie à grains fins et à grains ordinaires; 2 litres pour la poudre d'artillerie à grains de 6 à 10<sup>mm</sup> et 10 litres pour la poudre d'artillerie à grains de 13 à 16<sup>mm</sup>.

Sur ce récipient s'adapte, au moyen d'un support, un entonnoir dont la capacité est un peu plus grande et fermé en dessous par un obturateur.

### *Dimensions des gravimètres.*

| Espèces de gravimètres. | Hauteur intérieure. | Diamètre intérieur. | Diamètre de l'orifice d'écoulement. | Distance de l'orifice de l'écoulement à la tranche supérieure du gravimètre. |
|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------|--|
| De 1 litre.             | 198 <sup>mm</sup> 9 | 80 <sup>mm</sup>    | 15 <sup>mm</sup> 5                  | 28 <sup>mm</sup>   |
| De 2 litres.            | 210 <sup>mm</sup> 5 | 110 <sup>mm</sup>   | 50 <sup>mm</sup>                    | 50 <sup>mm</sup>   |
| De 10 litres.           | 240 <sup>mm</sup> 7 | 230 <sup>mm</sup>   | 110 <sup>mm</sup>                   | 90 <sup>mm</sup>   |

On remplit l'entonnoir de poudre et on déplace l'obturateur; le gravimètre étant rempli, on arase la poudre avec une raclette de cuivre à hauteur du bord supérieur. On pèse la poudre.

Il n'existe pas de relation entre la densité gravimétrique d'une poudre et sa densité absolue. La première augmente nécessairement avec la seconde, toutes choses égales d'ailleurs; elle varie avec la grosseur et la forme des grains, elle augmente avec la perfection du lissage, avec la proportion de grains fins et du poussier. Le renseignement le plus important qu'elle donne, c'est le poids de poudre

que l'on peut introduire dans des chambres d'un volume donné. Elle influe principalement sur la vitesse d'inflammation.

## § 2. — ÉPREUVES DE RÉCEPTION DES POUDRES.

### A. Épreuves concernant les caractères physiques.

**167. Aspect extérieur.** — La couleur doit être uniforme, le grain exempt de poussier et de toute autre impureté, assez dur pour ne pas s'écraser entre les doigts; la forme des grains, leur régularité, leur degré de lissage, leur couleur seront conformes à ceux d'une poudre type réglementaire.

**168. Grosseur des grains.** — On fait usage d'un système de cribles et de tamis. En Belgique, pour la réception des poudres de guerre (la poudre prismatique exceptée), on se sert d'un instrument composé d'un tambour et de deux tamis superposés; ces deux tamis, sur-égalisoir et sous-égalisoir en laiton, ont des perces circulaires d'un diamètre respectivement égal à chacune des dimensions limites des grains.

Pour la poudre d'infanterie, pour les poudres d'artillerie à grains fins et à grains ordinaires, on verse 100 grammes de poudre sur le sur-égalisoir et on tamise; on pèse la poudre qui est restée sur le sur-égalisoir, ce qui donne le pour cent des grains trop gros; puis on pèse les grains qui ont traversé le sous-égalisoir, pour obtenir le pour cent des grains trop fins.

Pour les poudres à grains de 6 à 10<sup>mm</sup> et de 13 à 16<sup>mm</sup> on fait l'opération sur 100 grains pris au hasard. Après le tamisage, on essaie de faire passer les grains restés sur le sur-égalisoir, en les présentant un à un aux perces, suivant leur plus faible dimension; ceux qui ne passent pas, donnent le pour cent des grains trop gros. On tamise les autres au sous-égalisoir pour obtenir le pour cent des grains trop fins.

Ces opérations se répètent plusieurs fois et l'on prend la moyenne des résultats.

**169. Densité gravimétrique.** — Elle se recherche au moyen des gravimètres, comme nous l'avons indiqué plus haut (n° 166).

**170. Densité absolue.** — On fait usage du densimètre Mallet-Bianchi (n° 163).

**171. Essai d'hygroscopicité.** — On met un poids donné de poudre sèche dans un air saturé d'humidité, tel que celui obtenu en mettant sous une cloche une capsule remplie d'eau. On pèse de temps en temps jusqu'à ce que le poids n'augmente plus. L'augmentation maximum ne peut dépasser 7 ‰. Généralement, on admet une absorption de 2 ‰ en 24 heures.

**172. Combustion et inflammation.** — On fait brûler une quantité déterminée de poudre sur une assiette, elle ne doit pas laisser trop de résidu; on la compare sous ce rapport à une poudre type.

## CHAPITRE II.

### B. ANALYSE DE LA POUDRE DE GUERRE.

**173. Procédé réglementaire Chadelon.** — L'appareil se compose d'un tube en verre de 15<sup>mm</sup> de diamètre, dont l'un des bouts est effilé; un tampon d'asbeste est serré contre la partie étroite. Le tube avec le tampon étant pesé, on y introduit la poudre, et on pèse le tout. La différence des deux pesées donne le poids de la poudre, qui, une fois dans le tube, n'en doit plus sortir. On en retire successivement les éléments dont les poids réunis devront reproduire le poids de l'échantillon analysé.

**174. Dosage de l'humidité.** — Le tube contenant la poudre est fixé entre deux séries de tubes recourbés contenant du chlorure calcique. Un aspirateur fait circuler dans l'appareil un courant d'air atmosphérique; celui-ci traverse d'abord un tube à boules de Liebig contenant de l'acide sulfurique concentré, qui lui enlève la plus grande partie de son humidité, ensuite trois tubes en U remplis de chlorure de calcium où il achève de se dessécher. Deux de ces tubes sont plongés dans un vase rempli d'eau, maintenue à une température d'environ 60° c. L'air sec et chaud passe ensuite sur la poudre, dont il enlève l'humidité, puis traverse trois tubes en U remplis de chlorure calcique qui absorbe l'eau enlevée à l'explosif. L'humidité de la poudre est entièrement retenue par les deux premiers tubes; le troisième, placé contre l'aspirateur, sert à empêcher que l'humidité de celui-ci ne remonte dans l'appareil.

Quand l'opération a marché une heure ou deux, on l'arrête; on

pèse le tube contenant la poudre et on le remplace de nouveau à l'appareil, que l'on fait encore fonctionner pendant un quart d'heure, puis on repèse le tube. Si les deux pesées ont donné le même résultat, c'est que la poudre est entièrement desséchée.

La différence entre le poids du tube avant et après l'opération, donne le poids de l'humidité de la poudre; on contrôle le résultat en prenant les poids des deux premiers tubes en U placés contre le tube renfermant la poudre du côté de l'aspirateur, avant et après l'opération. Les deux résultats doivent être les mêmes.

La bonne poudre renferme en moyenne 0,5 % d'eau; dans les magasins humides elle atteint facilement 1,2 %. Quoiqu'il en soit, dans des épreuves de réception elle ne doit pas dépasser 0,5 %.

**175. Dosage du salpêtre.** — Le tube contenant la poudre est suspendu verticalement au-dessus d'une capsule à évaporation préalablement pesée; on verse dans le tube de l'eau distillée froide, puis de plus en plus chaude, par portions égales, par exemple 5 cc., et on attend avant d'ajouter une nouvelle quantité d'eau que la précédente se soit écoulée. Ce lavage systématique, hâte la disparition du salpêtre. Celui-ci étant beaucoup plus soluble à chaud qu'à froid, si l'on se servait d'eau chaude en premier lieu, la dissolution en se refroidissant dans la partie effilée du tube, abandonnerait du salpêtre, qui engorgeant le canal, arrêterait l'opération.

Lorsqu'une goutte d'eau, recueillie à l'extrémité du tube sur un verre de montre, n'abandonne pas à l'évaporation plus de résidu qu'une goutte de l'eau distillée dont on fait usage, on est assuré que tout le salpêtre est entraîné, et on évapore la dissolution à siccité; puis on dessèche à 110° à l'étuve jusqu'à cessation de perte de poids. En déduisant la tare de la capsule, on obtient le poids du salpêtre.

Afin de déterminer la quantité de chlorure que le salpêtre renferme, on le redissout et l'on dose les chlorures par une dissolution titrée de nitrate d'argent (voir n° 56).

Le tube débarrassé du salpêtre est remis à l'appareil à dessécher jusqu'à siccité complète, on enlève les tubes en U du côté de l'aspirateur et on relie directement celui-ci au tube contenant la poudre.

Ce tube est pesé, sa perte de poids doit être égale au poids du nitre trouvé dans la capsule.

**176. Dosage du soufre.** — Le tube bien séché est disposé de la même façon que pour le dosage du salpêtre, il est rempli aux trois quarts de sulfure de carbone. on le bouche par-dessus pour empêcher la volatilisation du liquide. La tension des vapeurs qui se forment accélère la filtration.

On s'assure que tout le soufre est dissous en laissant évaporer spontanément une goutte du liquide filtré sur une lame de verre; on ne doit observer aucune trace de soufre.

La capsule à évaporation est alors placée sur un bain d'eau tiède, le sulfure de carbone s'évapore, le soufre reste; pour le débarrasser des dernières traces de sulfure, on le fait fondre rapidement en chauffant la capsule au-dessus d'une lampe, et on pèse. L'augmentation du poids de la capsule donne le soufre contenu dans la poudre.

Le tube ne contenant plus que le charbon mouillé de sulfure de carbone est soumis à un courant d'air sec jusqu'au départ complet du liquide. La perte de poids du tube doit être égale au poids de soufre obtenu dans la capsule.

REMARQUE. — Avant de faire usage du sulfure de carbone, on doit s'assurer s'il ne contient pas de soufre en dissolution; on fera pour cela évaporer un peu de ce liquide sur une lame de verre, il ne doit laisser aucun résidu. Cet essai se fera avant chaque analyse, car le sulfure de carbone se décompose à la lumière et met du soufre en liberté.

Pour en donner la preuve, nous avons enfermé dans deux tubes du sulfure de carbone chimiquement pur; fait bouillir, puis scellé à la lampe. Un des tubes a été enveloppé dans un étui de papier noir, l'autre est resté nu. Les deux tubes ont été abandonnés à la lumière; au bout de quelque temps, le liquide du tube nu est devenu brunâtre à cause de la mise en liberté du carbone; évaporé, il abandonne du soufre. L'autre tube, abrité contre les rayons lumineux, reste inaltéré. Nous avons conservé deux tubes dans ces conditions pendant près de six années, l'un est devenu noirâtre, l'autre reste absolument limpide.

Pour purifier le sulfure de carbone, on le mêle de tournures de cuivre bien brillant; avec le temps, ce métal s'empare du soufre; on



peut aussi agiter avec du mercure. Avant chaque analyse, on distille un peu de sulfure en plaçant le flacon dans de l'eau chaude et en interposant entre le col et le serpentín une allonge verticale contenant de la tournure de cuivre neuve.

Le liquide, ainsi distillé, est parfaitement pur et blanc comme de l'eau distillée.

**177. Analyse du charbon.** — Elle se fait exactement comme celle du charbon de bois décrite au n° 92. Une spirale de cuivre, recouverte d'une pellicule d'oxyde, est introduite dans le tube, qu'on place ensuite sur une grille à analyse. On chauffe d'abord au rouge sombre la partie du tube renfermant la spirale de cuivre oxydée, puis on applique peu à peu la chaleur jusqu'à la partie qui contient le résidu charbonneux. L'oxygène fourni par un gazomètre traverse des tubes dessiccateurs. L'acide carbonique et l'eau, qui sont les produits de la combustion du charbon de bois, sont recueillis dans des tubes à lessive de potasse et à chlorure de calcium.

**178. Méthode simplifiée d'analyse de la poudre.** — Quand on veut travailler rapidement, on se borne à faire l'analyse de la façon suivante :

On dose l'humidité que renferme un échantillon de poudre en le desséchant à l'étuve à 60° c. et en constatant sa perte de poids; puis on opère à la fois sur deux échantillons de même poids, que l'on traite l'un par l'eau, l'autre par le sulfure du carbone, de manière à déterminer directement le poids de chacun des éléments. Le charbon de bois se dose par différence.

**179. REMARQUES.** — La méthode Chandelon n'offre pas à notre avis toutes les garanties d'exactitude désirables. La dessiccation de la poudre se faisant dans un courant d'air chaud, provoque la volatilisation d'un peu de soufre. La lévigation à l'eau froide, puis à l'eau chaude, entraîne toujours des matières brunes provenant du charbon de bois et cette quantité n'est pas négligable. Si le charbon de bois n'est pas bien dépouillé des sels de la sève, comme c'est le cas ordinaire, ceux-ci en se dissolvant, augmentent indûment le poids du salpêtre. La lévigation au moyen du sulfure de carbone n'enlève pas tout le soufre. On peut remédier à une partie de ces inconvénients en faisant usage des procédés suivants.

**180. Dosage de l'eau.** — On dessèche un poids donné de poudre dans le vide sec. On fait usage de deux verres de montre, rodés sur les bords et qui, s'appliquant exactement l'un sur l'autre, forment une sorte de grosse lentille biconvexe creuse. Ils sont maintenus en contact au moyen d'une pince en cuivre ou d'un simple anneau de caoutchouc. On pèse d'abord l'appareil monté vide, puis chargé de poudre; la différence de poids donne celui de la matière en expérience. On expose alors au vide sec, en plaçant le verre de montre qui sert de couvercle, ainsi que la pince sous une cloche, à l'abri des poussières.

On peut aussi faire usage de légers gobelets en verre mince fermés à l'émeri; ces vases servent dans les laboratoires à peser les filtres secs.

Au bout de vingt-quatre heures, on porte l'appareil remonté à la balance, et on établit l'équilibre avec des poids. On remet encore six heures au vide sec et on repèse de nouveau. La dessiccation est complète lorsque deux pesées consécutives, faites à un intervalle de trois heures, sont identiques. La perte de poids correspond à l'humidité de la poudre. L'opération est lente.

Il va sans dire que cet appareil peut servir à la dessiccation à toute température. Pour activer la dessiccation, on peut introduire dans la cloche un bain de sable chauffé à 60° c. sur lequel on place le verre de montre, mais cela entraîne la perte d'un peu de soufre.

**181. Dosage du salpêtre.** — Afin de ne pas employer trop d'eau de lavage, nous faisons usage d'un appareil à déplacement et de préférence celui de Soxhlet. Le lavage se fait automatiquement, très rapidement et avec une petite quantité d'eau. Cet appareil se compose d'un tube cylindrique assez large, fermé à sa partie inférieure; on soude sur le fond un tube plus étroit. Les deux tubes sont réunis par l'extérieur au moyen d'un tuyau recourbé à angles droits et qui sert à amener dans la partie supérieure du cylindre large les vapeurs du liquide laveur distillé par le tube étroit. Ces vapeurs se liquéfient dans un petit réfrigérant Liebig vertical, et le liquide condensé tombe goutte à goutte sur la matière à lévigner, placée dans le tube large. Un second tuyau constitue un siphon qui évacue le

liquide condensé; lorsque son niveau atteint la courbure supérieure du tuyau, le siphon s'amorce aussitôt; la matière est ainsi lavée systématiquement. Les liquides de lavage sont reçus dans une petite fiole tronconique tarée; elle est fermée par un bouchon au travers duquel passe le tube étroit de l'appareil à déplacement

L'appareil étant monté, on introduit un poids connu de poudre, 5 grammes, dans un filtre sans plis, bien lavé à l'eau bouillante; on le ferme, puis on le coiffe d'un autre filtre rond que l'on tord par en dessous. De cette façon, rien de pulvérulent ne peut s'échapper du petit paquet qui est glissé dans le tube large de l'appareil.

Pour commencer une opération, on verse au moyen d'un entonnoir, dans le tube du réfrigérant, une certaine quantité d'eau de façon à vider deux ou trois fois l'appareil Soxhlet par le jeu du siphon. On porte ensuite l'eau de la fiole à l'ébullition. Le lavage est terminé lorsqu'une goutte d'eau qui tombe dans la fiole et recueillie sur une lame de platine ne laisse pas de résidu par l'évaporation. On évapore ensuite le liquide de la fiole par une douce ébullition de façon à éviter toute projection. On porte à l'étuve à 110° et on sèche. L'augmentation du poids de la fiole donne la proportion du salpêtre de la poudre.

**182. Dosage du salpêtre par le procédé Schloesing.** — On traite 10 grammes de poudre par un peu d'eau distillée bouillante, on filtre, on lave à l'eau chaude jusqu'à ce qu'une goutte de l'eau qui passe, évaporée sur une lame de platine, ne laisse plus de résidu; on laisse refroidir et on complète le volume à 100 cc. On introduit 5 cc. dans cette solution de salpêtre dans l'appareil de Schloesing et on agit exactement comme nous l'avons indiqué au n° 52. On fait, par ce moyen, un grand nombre d'analyses en fort peu de temps.

**183. Dosage du soufre.** — On peut aussi employer l'appareil Soxhlet pour déplacer le soufre par le sulfure de carbone. L'opération est très rapide parce que le sulfure de carbone est chaud. Il ne faut pas faire bouillir le sulfure de carbone à feu nu, la fiole sera plongée dans de l'eau chaude.

**184. Dosage du soufre sous forme de sulfate de baryum.** — On transforme le soufre en acide sulfurique ou en sulfate soluble par oxydation.

1° *Voie humide* — On traite 3 grammes de poudre par de l'acide azotique fumant, auquel on ajoute de temps en temps, avec précaution, quelques pincées de chlorate de potassium pur; on chauffe à une douce chaleur. Le tout finit par se dissoudre et on obtient un liquide clair un peu jaunâtre. On évapore à sec au bain-marie en ajoutant de l'acide chlorhydrique jusqu'à ce que tout l'acide azotique ait disparu. On reprend le liquide par de l'eau et on précipite à chaud l'acide sulfurique par le chlorure de baryum. On laisse déposer à une douce chaleur pendant douze heures, on décante sur filtre; le précipité resté dans le vase est bouilli un instant avec un peu d'acide chlorhydrique, puis jeté sur le filtre. Par ce traitement, le précipité se contracte et ne passe pas au travers du papier.

Le précipité blanc est bien lavé, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne rougissent plus le papier de tournesol.

L'entonnoir et le filtre sont portés à l'étuve à 50° c., jusqu'à dessiccation complète. Le filtre est alors ouvert, on enlève le mieux possible le précipité qu'on met dans une capsule de platine, préalablement pesée; le filtre est refermé, et on enroule par-dessus un fil de platine; il est ensuite comburé au-dessus de la capsule de platine, renfermant le sulfate de baryte, et on y laisse tomber les cendres. Sur celles-ci, bien blanches, on laisse tomber une goutte d'acide nitrique, afin de régénérer le sulfate réduit par le charbon du filtre; on évapore et on calcine légèrement. L'augmentation du poids de la capsule donne celui du sulfate de baryum. Ce poids, multiplié par le facteur 0,14734, donne le poids du soufre.

On peut encore, pour oxyder le soufre, employer le brome en présence de l'eau.

2° *Voie sèche*. — On fait un mélange intime de : 1 partie de la poudre à analyser; 1 partie de carbonate de potassium, pur et sec; 1 partie de salpêtre; 4 parties de sel marin; le tout bien sec. On projette, petit à petit, ce mélange dans un creuset de platine chauffé au rouge. La masse blanche est reprise par de l'acide chlorhydrique dilué; on filtre si c'est nécessaire, et on précipite le sulfate de potassium formé, par le chlorure de baryum, et on termine comme précédemment.

## CHAPITRE III.

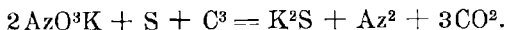
### THÉORIE CHIMIQUE DE LA COMBUSTION DE LA POUDRE.

185. — Lorsqu'on applique à la poudre une température suffisante, le soufre commence à s'enflammer à l'air, la température augmente rapidement et la réaction entre les trois éléments a lieu. Théoriquement, la température de l'inflammation devrait être celle du soufre à l'air, soit 250°; mais l'expérience prouve qu'elle est un peu plus élevée. Violette a trouvé les chiffres suivants :

| Espèces de poudres.         | Températures d'inflammation. |                    |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
|                             | Poudre en grains anguleux.   | Poudre pulvérisée. |
| Mine . . . . .              | 270°                         | 265°               |
| Guerre. . . . .             | 276°                         | 266°               |
| Chasse fine . . . . .       | 280°                         | 268°               |
| Chasse extra-fine . . . . . | 320°                         | 270°               |

Cette différence provient probablement de ce que le salpêtre, pendant la trituration, enveloppe les grains de soufre d'une espèce de vernis et les garantit ainsi contre l'approche directe du feu. On remarque, en effet, que la température d'inflammation s'abaisse avec une mauvaise trituration et se rapproche de 250°.

186. — Chevreul admettait que la combustion de la poudre répondait à la formule suivante :



Cette formule correspond au dosage :

|                  |       |
|------------------|-------|
| Salpêtre . . . . | 74,83 |
| Soufre . . . .   | 11,86 |
| Charbon. . . .   | 13,31 |

Ce dosage se rapproche beaucoup de celui adopté par la pratique :

|                  |       |
|------------------|-------|
| Salpêtre . . . . | 75,00 |
| Soufre . . . .   | 12,50 |
| Charbon. . . .   | 12,50 |

La poudre donnerait naissance, d'après la formule de Chevreul, à :

|                           |        |   |
|---------------------------|--------|---|
| Sulfure de potassium. . . | 40,80  | Résidu solide théorique.                  |
| Azote. . . . .            | 10,39  | ou 82,52 cm <sup>3</sup> (pour 1 gramme). |
| Acide carbonique . . . .  | 48,81  | 248,40                                    |
|                           | <hr/>  | <hr/>                                     |
|                           | 100,00 | 330,92 cm <sup>3</sup> .                  |

L'expérience prouve que la poudre se décompose d'une toute autre façon.

**187. Travaux de Bunsen et Schischkoff.** — Ces savants expérimentèrent une poudre de chasse dont la composition était :

|                  |       |
|------------------|-------|
| Salpêtre . . . . | 78,99 |
| Soufre . . . .   | 9,84  |
| Charbon. . . .   | 11,17 |

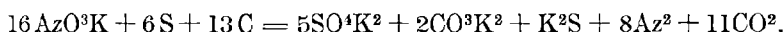
Elle fut brûlée à la pression atmosphérique; les résidus et les gaz furent recueillis; on trouva, pour 100 grammes de poudre :

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Résidu solide . . . .   | 68,06 |
| Produits gazeux . . . . | 31,38 |
|                         | <hr/> |
|                         | 99,44 |

Schema, d'après les expériences de Bunsen et Schischkoff :

|                     |         |           |       |                                  |                       |                                   |   |                                    |  |
|---------------------|---------|-----------|-------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|--|
| Un gramme de poudre | Charbon | Salpêtre  | 0,789 | ↑<br>donne<br>en<br>brûlant<br>↓ | Sulfate de potassium. | (SO <sup>4</sup> K <sup>2</sup> ) | 0,422   | Grammes.                           |  |
|                     |         | Soufre    | 0,098 |                                  | Residu                | Carbonate id.                     | (CO <sup>3</sup> K <sup>2</sup> )                   | 0,126                              |  |
|                     |         | Carbone   | 0,076 |                                  | 0,680                 | Hyposulfite id.                   | (S <sup>2</sup> O <sup>3</sup> K <sup>2</sup> )     | 0,033                              |  |
|                     |         | Hydrogène | 0,004 |                                  |                       | Sulfure id.                       | (K <sup>2</sup> S)                                  | 0,021                              |  |
|                     |         | Oxygène   | 0,030 |                                  |                       | Sulfocyanure id.                  | (CAzKS)   | 0,003                              |  |
|                     |         |           |       |                                  |                       | Salpêtre                          | (AzO <sup>3</sup> K)                                | 0,037                              |  |
|                     |         |           |       |                                  |                       | Carbone                           | (C)   | 0,007                              |  |
|                     |         |           |       |                                  |                       | Soufre                            | (S)   | 0,001                              |  |
|                     |         |           |       |                                  |                       | Carbonate d'ammonium              | (CO <sup>3</sup> (AzH <sup>4</sup> ) <sup>2</sup> ) | 0,029                              |  |
|                     |         |           |       |                                  |                       |                                   |   |                                    |  |
|                     |         |           | Gaz   |                                  |                       |                                   | Grammes.  | Cm <sup>3</sup> à 0 <sup>o</sup> . |  |
|                     |         |           | 0,314 | Azote                            | Az                    | 0,099                             |   | 79,40                              |  |
|                     |         |           |       | Acide carbonique                 | CO <sup>2</sup>       | 0,201                             |   | 101,71                             |  |
|                     |         |           |       | Oxyde de carbone                 | CO                    | 0,009                             |   | 7,49                               |  |
|                     |         |           |       | Hydrogène                        | H                     | 0,0002                            |   | 2,34                               |  |
|                     |         |           |       | Hydrogène sulfuré                | H <sup>2</sup> S      | 0,0018                            |   | 1,16                               |  |
|                     |         |           | 0,994 | Oxygène                          | O                     | 0,0014                            |   | 1,00                               |  |
|                     |         |           |       |                                  |                       |                                   |   |                                    |  |
|                     |         |           |       |                                  |                       |                                   | 0,3124  | 193,10                             |  |

Ces analyses peuvent être représentées, en négligeant les produits accessoires, par la formule :



Ainsi, dans la combustion sous faible pression, les résidus solides sont surtout composés de sulfate de potassium et de carbonate de potassium, et non de sulfure, d'après la formule de Chevreul.

188. — Les analyses précédentes portent sur les produits de la poudre qui déflagre à basse pression. Les matières obtenues dans les armes à feu, c'est-à-dire, sous pression, sont notablement différentes. Voici quels sont les résultats des analyses de Linck et de Kayroli, la poudre faisant explosion dans des bombes :

*Composition des poudres.*

|                | Linck,             | Kayroli,        |                    |
|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|                | Poudre à mousquet. | Poudre à canon. | Poudre à mousquet. |
| Salpêtre . . . | 74,70              | 73,77           | 77,15              |
| Soufre . . .   | 12,45              | 12,81           | 8,63               |
| Carbone . . .  | 9,05               | 10,88           | 11,78              |
| Hydrogène . .  | 0,41               | 0,38            | 0,42               |
| Oxygène . . .  | 2,78               | 1,82            | 1,74               |
| Cendres . . .  | "                  | 0,31            | 0,28               |
| Eau . . . . .  | 0,60               | "               | "                  |
|                | <hr/> 99,99        | <hr/> 99,97     | <hr/> 100,05       |

Combustion de 1 gramme de poudre :

|                                |              |             |             |
|--------------------------------|--------------|-------------|-------------|
| Résidu . . . .                 | 0,6415       | 0,692       | 0,651       |
| Gaz . . . . .                  | 0,3551       | 0,307       | 0,348       |
|                                | <hr/> 0,9966 | <hr/> 0,999 | <hr/> 0,999 |
| Vol. gaz. en cm <sup>3</sup> : | 218,3        | 206,9       | 226,6       |

*Composition du résidu solide.*

|                          | Linck.    | Kayroli.  | Kayroli.  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Sulfate de potassium . . | 45,08     | 53,39     | 55,53     |
| Carbonate id. . . . .    | 23,96     | 28,01     | 31,90     |
| Sulfure id. . . . .      | 14,94     | 0,16      | "         |
| Hyposulfite id. . . . .  | 5,83      | 4,08      | 2,72      |
| Sulfocyanure id. . . . . | 1,81      | "         | "         |
| { Salpêtre . . . . .     | 1,87      | "         | "         |
| { Carbone . . . . .      | 3,18      | 3,69      | 3,99      |
| { Soufre . . . . .       | 2,85      | 0,79      | 1,78      |
| Carbonate d'ammonium .   | 3,18      | 3,88      | 4,08      |
|                          | <hr/> 100 | <hr/> 100 | <hr/> 100 |



*Composition du mélange gazeux.*

|                           |               |               |               |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Azote. . . . .            | 34,68         | 37,58         | 35,33         |
| Acide carbonique . . . .  | 52,13         | 42,74         | 48,90         |
| Oxyde de carbone. . . .   | 4,33          | 10,19         | 5,18          |
| Hydrogène . . . . .       | 1,63          | 5,93          | 6,90          |
| Hydrogène sulfuré . . . . | 7,18          | 0,86          | 0,67          |
| Oxygène . . . . .         | 0,04          | "             | "             |
| Gaz des marais. . . . .   | "             | 2,70          | 3,02          |
|                           | <u>100,00</u> | <u>100,00</u> | <u>100,00</u> |

**189. Recherches de Féderow.** — Féderow donne les résultats de ses analyses de tirs dans des pistolets et des canons.

100 grammes de poudre donnent :

|                     |   |
|---------------------|---|
| Résidu sec. . . . . | 49 <sup>gr</sup> 61                                 |
| Gaz . . . . .       | 50 <sup>gr</sup> 39, soit : 25870 cm <sup>3</sup> . |

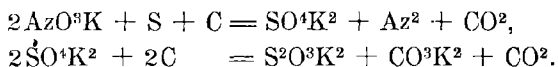
*Composition du résidu.*

|                                  | Combustion<br>ralentie. | Charge<br>0gr75. | Charge<br>1gr5. | Charge<br>3 livres. |
|----------------------------------|-------------------------|------------------|-----------------|---------------------|
| Sulfate de potassium . . . .     | 31,57                   | 48,25            | 40,83           | 15,00               |
| Carbonate id. . . . .            | 39,06                   | 23,44            | 30,96           | 37,00               |
| Sulfure id. . . . .              | 1,01                    | 0,97             | 2,49            | 38,18               |
| Hyposulfite id. . . . .          | 22,25                   | 16,53            | 19,32           | 8,28                |
| Sulfocyanure id. . . . .         | 0,74                    | 0,54             | 0,56            | 0,33                |
| Salpêtre . . . . .               | "                       | 5,81             | 2,79            | "                   |
| Carbone . . . . .                | 4,02                    | 4,08             | } 3,05          |                     |
| Soufre . . . . .                 | 0,32                    | 0,38             |                 |                     |
| Sable et oxyde de cuivre . . . . | "                       | "                | "               | 0,82                |

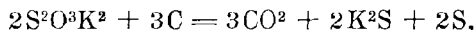
Composition des gaz pour un gramme :

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Eau . . . . .                         | 0,039 grammes.           |
| Azote . . . . .                       | 82.6 centimètres cubes.  |
| Acide carbonique. . . . .             | 162.1 "                  |
| Anhydride sulfureux et oxygène. . . . | <u>14.0</u> "            |
|                                       | 258.7 centimètres cubes. |

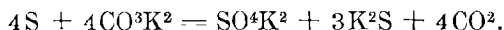
**Conclusions de Féderow.** — L'augmentation de la charge correspond à une combustion plus complète; on trouve moins de poudre indécomposée, plus de sulfure et de carbone et moins de sulfate. L'hyposulfite diminue avec la pression. La combustion ralentie, en imprégnant les grains de poudre d'une couche de stéarine, augmente l'hyposulfite et le carbonate. Dans la combustion de la poudre, Féderow pense que le soufre prend d'abord feu à 250°, puis donne du sulfate de potassium par réaction sur le salpêtre. L'excès de l'oxygène du salpêtre brûle le carbone et donne l'acide carbonique. Le reste du carbone réagit alors sur le sulfate de potassium pour donner du carbonate et de l'hyposulfite de potassium, ainsi que de l'acide carbonique ou de l'oxyde de carbone :



La poudre brûlant dans un tube ouvert présente les deux réactions précédentes, mais lorsque la pression s'exerce, l'action réductrice du carbone décompose l'hyposulfite :



et le soufre agit sur le carbonate de potassium en même temps que l'hyposulfite et le décompose :



**190. Recherches de Noble et Abel** <sup>1</sup>. — Ces chimistes ont fait des recherches très complètes sur la combustion de la poudre. Ils expérimentèrent plusieurs poudres anglaises.

La poudre faisait explosion dans une bombe qui résistait aux pressions qu'on développait dans son sein; on pouvait recueillir les produits gazeux et les produits solides et en faire l'analyse. Ils firent varier la densité de chargement, c'est-à-dire, le rapport du poids de la charge en grammes au volume de la bombe en centimètres cubes, depuis 0,1 à 1, cette dernière densité correspondant au cas où la poudre remplissait complètement la bombe.

<sup>1</sup> *Recherches sur les substances explosibles*, par NOBLE et ABEL.

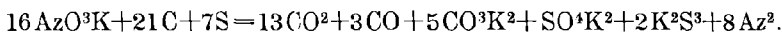
Voici quels sont les résultats des analyses :

**Poudre Pebble.**

|                                 | DENSITÉ DE CHARGEMENT |       |       |       |       |       |       |       | MOYENNE.  | P. R. L. G. | P. F. G. | P. R. F. G.<br>( $\Delta = 0,7$ ) | P.<br>( $\Delta = 0,7$ ) |
|---------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------------|----------|-----------------------------------|--------------------------|
|                                 | $\Delta$              |       |       |       |       |       |       |       |           |             |          |                                   |                          |
|                                 | 0,1                   | 0,3   | 0,5   | 0,7   | 0,9   | 0,1   | 0,3   | 0,5   |           |             |          |                                   |                          |
| H <sub>2</sub> S                | 1,34                  | 1,25  | 0,84  | 1,29  | 0,86  | 0,77  | 0,76  | 0,63  | 0,97      |             |          |                                   |                          |
| O                               | "                     | "     | "     | "     | "     | "     | "     | "     | 0,07      |             |          |                                   |                          |
| CO                              | 5,19                  | 5,50  | 4,73  | 4,19  | 3,62  | 4,48  | 2,89  | 2,87  | 1,34      |             |          |                                   |                          |
| CO <sub>2</sub>                 | 25,77                 | 26,20 | 27,70 | 26,30 | 27,10 | 26,51 | 27,00 | 26,73 | 24,40     |             |          |                                   |                          |
| CH <sub>4</sub>                 | "                     | "     | 0,12  | 0,07  | 0,13  | 0,12  | 0,05  | 0,02  | "         |             |          |                                   |                          |
| H                               | 0,07                  | 0,07  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,04  | 0,05  | 0,06  | 0,03      |             |          |                                   |                          |
| Az                              | 11,15                 | 11,24 | 11,39 | 10,75 | 10,90 | 10,63 | 11,12 | 11,20 | 11,00     |             |          |                                   |                          |
| Volumes gazeux                  | 281                   | 283   | 282   | 269   | 266   | 268   | 259   | 259   | 232 . . . |             |          |                                   |                          |
| CO <sub>2</sub> K <sup>2</sup>  | 31,15                 | 33,12 | 30,98 | 28,79 | 36,80 | 36,81 | 27,53 | 34,47 | 21,75     |             |          |                                   |                          |
| SO <sub>3</sub> K <sup>2</sup>  | 11,63                 | 2,41  | 3,38  | 18,45 | 7,61  | 5,28  | 16,03 | 4,77  | 4,73      |             |          |                                   |                          |
| SO <sub>4</sub> K <sup>2</sup>  | 8,43                  | 7,03  | 6,58  | 7,33  | 5,23  | 5,57  | 12,02 | 12,79 | 29,62     |             |          |                                   |                          |
| K <sup>2</sup> S                | 4,16                  | 9,20  | 10,55 | 1,28  | 2,20  | 4,31  | 0,82  | 2,47  | 1,97      |             |          |                                   |                          |
| SCAzK                           | 0,05                  | 0,12  | 0,13  | 0,22  | 0,33  | 0,20  | 0,11  | 0,02  | 0,03      |             |          |                                   |                          |
| AzO <sup>3</sup> K              | 0,27                  | 0,02  | 0,11  | 0,14  | 0,25  | 0,12  | 0,11  | 0,04  | 0,58      |             |          |                                   |                          |
| CO <sup>3</sup> Am <sup>2</sup> | 0,09                  | 0,07  | 0,04  | 0,03  | 0,07  | 0,07  | 0,03  | 0,05  | 0,02      |             |          |                                   |                          |
| C                               | "                     | "     | "     | "     | "     | "     | "     | "     | "         |             |          |                                   |                          |
| S                               | 0,34                  | 3,75  | 3,40  | 1,11  | 4,84  | 5,09  | 0,96  | 3,89  | 3,50      |             |          |                                   |                          |
| Produit total : Solide.         | 56,12                 | 55,74 | 56,17 | 57,35 | 57,33 | 57,45 | 58,13 | 58,48 | 62,19     |             |          |                                   |                          |

|   |                |            |    |
|---|----------------|------------|----|
| P. R. L. G. = poudre rifle, large grain | } Composition. | Salpêtre . | 75 |
| P. F. G. = " fine grain                 |                | Soufre .   | 10 |
| P. R. F. G. = " rifle, fine grain       |                | Charbon .  | 15 |
| P. = " espagnole (75; 12,5; 12,5).      |                |            |    |

La moyenne des analyses ne s'écarte pas beaucoup de la formule suivante :



Le calcul donne pour cette formule un dégagement de :

|                 |       |               |          |   |
|-----------------|-------|---------------|----------|---|
| CO <sup>2</sup> | . . . | 572 grammes : | 1,9774 = | 289 litres.   |
| CO              | . . . | 84 " :        | 1,254 =  | 66 "  |
| Az              | . . . | 224 " :       | 1,254 =  | 179 "   |
|                 |       |               |          | <hr style="width: 100px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/> 534 litres, |

pour un poids de 2093.6 de poudre, soit pour 1 kilogramme : 255 litres à 0° sous 0<sup>m</sup>76.

### *Conclusions principales.*

a) Quand on met le feu à la poudre à canon dans un espace complètement clos (les calculs sont faits pour 1 gramme de poudre occupant un volume de 1 cc.) :

1° Après l'explosion, les produits de la combustion se composent de 57 % environ en poids de résidu qui, en dernier lieu, affecte la forme solide, et de 43 % en poids de gaz permanents.

2° Au moment de l'explosion les produits liquides de la combustion, sans doute dans un état de division extrême, occupent un volume de 0,6 centimètre cube environ.

3° Les gaz permanents engendrés par l'explosion de 1 gramme de poudre sont tels, qu'à 0° c. et sous la pression barométrique de 0<sup>m</sup>76, ils occupent un volume de 280 centimètres cubes environ et, par conséquent, 280 fois le volume primitif de la poudre.

4° Au moment de l'explosion, les gaz permanents occupent un volume de 0,4 centimètre cube, en sorte que les matières liquides et les matières gazeuses ont à peu de chose près la même densité.

5° Les corps chimiques qui constituent les produits solides et les gaz permanents sont ceux indiqués dans le tableau.

6° Lorsque la poudre remplit entièrement l'espace dans lequel on la met en feu, la tension des produits de la combustion est de 6400 atmosphères environ (pression de 6615 kilog. par centim. car.).

7° La tension varie avec la densité moyenne des produits de la combustion suivant la loi donnée par l'équation :

$$p = p_0 \frac{1 - \alpha \delta_0}{\delta_0} \times \frac{\delta}{1 - \alpha \delta};$$

$p$  = pression.

$\delta$  = densité de chargement  $\left( \frac{\text{Poids de la poudre en grammes}}{\text{Volume de l'enceinte en centim. cub.}} \right)$ .

$\alpha = 0,65$ .

$p_0 = 2268$  kilog.

$\delta_0 = 0,6$ .

8° La décomposition de 1 gramme de poudre expérimentée développe 750 grammes unités de chaleur (petites calories).

*b)* Quand on met le feu à la poudre dans l'âme du canon, on trouve :

1° Les produits de l'explosion sont les mêmes que dans le cas de la poudre mise en feu en vase clos, du moins en ce qui regarde les proportions des produits solides ou gazeux.

2° Le travail sur le projectile est effectué par la force élastique due aux gaz permanents.

3° La réduction de température due à l'expansion des gaz permanents est compensée en grande partie par la chaleur emmagasinée dans le résidu liquide.

4° La loi qui relie la tension des produits de l'explosion au volume qu'ils occupent est formulée par l'équation :

$$\frac{p}{p_0} = \frac{\left\{ V_0 (1 - \alpha) \right\} \left\{ \frac{C_p + \beta \lambda}{C_v + \beta \lambda} \right\}}{V - \alpha V_0}$$

$p$  = pression des gaz permanents correspondant au volume  $V$ .

$C_p$  = chaleur spécifique des gaz permanents à pression constante.

$C_v$  = " " " " " " volume constant.

$\alpha$  = le rapport entre le volume des produits non gazeux de l'explosion et le volume de la poudre avant l'explosion.

$\beta$  = le rapport entre les poids de la partie gazeuse et de la partie non gazeuse des produits de l'explosion.

$\lambda$  = la chaleur spécifique des produits non gazeux.

*Valeur des constantes.*

$p_0$  = 43 tonnes par pouce carré = 6554 atmosphères.

$\alpha$  = 0,57.

$\beta$  = 1,2957.

$C_p$  = 0,2324.

$C_v$  = 0,1762.

$\lambda$  = 0,45.

5° Le travail que la poudre à canon est capable d'accomplir, en effectuant sa détente dans un vase imperméable à la chaleur, est donné par l'équation :

$$T = \frac{p_0 V_0 (1 - \alpha) (C_v + \beta\lambda)}{C_p - C_v} \left\{ 1 - \left( \frac{V_0 (1 + \alpha)}{V_0 - \alpha V_0} \right)^{\frac{C_p - C_v}{C_v + \beta\lambda}} \right\}$$

La température est donnée par :

$$t = t_0 \left\{ \frac{V_0 (1 - \alpha)}{V - \alpha V_0} \right\}^{\frac{C_p - C_v}{C_v + \beta\lambda}}$$

6° Le travail théorique de la poudre à canon, si sa détente était indéfinie, serait de 33,200 grammes-mètres environ ( $W = Q \times E$ ).

Les expériences de MM. Noble et Abel prouvent, que les proportions des produits de l'explosion de la poudre subissent, surtout dans les produits solides de notables variations, dues à des densités de chargement différentes et à des compositions de poudres diverses. C'est surtout la pression qui fait varier, non pas la nature des corps produits, mais leurs proportions relatives. Il n'est donc pas possible d'après cela, de traduire la réaction chimique qui se passe dans l'explosion d'une poudre, par une équation chimique.

**191. Théorie de M. Berthelot.** — Les résultats en apparence contradictoires des expériences de MM. Noble et Abel, ont conduit M. Berthelot à établir une théorie complète de la combustion de la poudre dont nous indiquerons les points principaux <sup>1</sup>. Les composés qui résultent de la combustion de la poudre peuvent, d'après cette théorie, se ranger en quatre 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 instables, 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 potassium résultant de l'oxydation ultérieure du sulfure de potassium au contact de l'air atmosphérique.

**Principaux produits stables.** — Les produits de l'explosion sous volume constant de la poudre au dosage anglais (75, 10, 15), lequel correspond sensiblement à la formule :  $2\text{AzO}^3\text{K} + \text{S} + 3\text{C}$ , peuvent se réduire à six : le sulfure de potassium, le sulfate et le carbonate solides, l'acide carbonique, l'oxyde de carbone et l'azote gazeux.

M. Berthelot remarque d'abord que la proportion moyenne de sulfure de potassium (y compris le sulfure transformé en hyposulfite), restant sensiblement constante, d'après les expériences mêmes de MM. Noble et Abel, les variations du sulfate et du carbonate de potassium sont nécessairement corrélatives.

Il établit ensuite le système des cinq équations suivantes, pour chacune desquelles nous indiquerons la chaleur de combustion  $Q_k$  et le volume  $V_k$  des gaz permanents, rapportés à 1 kilogramme de matière.

<sup>1</sup> Sur la force des matières explosives, d'après la *Thermochimie*, par M. BERTHELOT.

| Nos. | Melange identique. | Produits de la décomposition.  | Qk calories. | Vk.      |
|------|--------------------|--|--------------|----------|
| 1.   |                    | $2\text{AzO}^3\text{K} + \text{S} + 3\text{C} = \text{K}^2\text{S} + 3\text{CO}^2 + \text{Az}^2$ | 738          | 331 lit. |
| 2.   | "                  | $= \text{CO}^3\text{K}^2 + \text{CO}^2 + \text{CO} + \text{Az}^2 + \text{S}$                     | 784          | 249 "    |
| 3.   | "                  | $= \text{CO}^3\text{K}^2 + 1,5\text{CO}^2 + \text{Az}^2 + \text{S} + \frac{1}{2}\text{C}$        | 860          | 208 "    |
| 4.   | "                  | $= \text{SO}^4\text{K}^2 + 2\text{CO} + \text{Az}^2 + \text{C}$                                  | 788          | 249 "    |
| 5.   | "                  | $= \text{SO}^4\text{K}^2 + \text{CO}^2 + \text{Az}^2 + \text{C}^2$                               | 940          | 165 "    |

Dans le cas du maximum de carbonate, l'ensemble des réactions pourra être représenté par le système des équations 1, 2, 3, se développant sur des quantités de matière première, proportionnelles à  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{6}$ . Dans le cas du maximum de sulfate, on appliquera les équations 1, 3, 4, 5, à des quantités proportionnelles à  $\frac{1}{3}$ , un peu moins de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{6}$ ,  $\frac{1}{12}$ . Ces cinq 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 potassium et l'acide carbonique. ainsi que la quantité de chaleur: un excès de carbone 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 Qk et du volume gazeux Vk, avec celles que Noble et Abel ont déduites de leurs expériences.

| Éléments à comparer. | Valeurs calculées.                          |   |                |
|----------------------|---|---|----------------|
|                      | Cas du maximum de $\text{CO}^3\text{K}^2$ . | Cas du maximum de $\text{SO}^4\text{K}^2$ . | Noble et Abel. |
| Vk                   | 270 litres                                  | 267 litres                                  | 267            |
| Qk                   | 781 calories                                | 776 calories                                | 702,34         |

**Produits accessoires instables.** — Les produits accessoires : gaz des marais ( $\text{CH}^4$ ), cyanate de potassium ( $\text{CAzOK}$ ), oxyde de potassium ( $\text{K}^2\text{O}$ ), sulfocyanure de potassium ( $\text{CAzSK}$ ), résultent de réactions isolées.

Le gaz des marais se forme par la décomposition du charbon de bois et de la vapeur d'eau. Le sulfocyanure et le cyanate proviennent de l'action du carbone et du soufre sur le salpêtre.



**Produits accessoires successifs.** — Ces produits, formés pendant le refroidissement, sont le sesqui-carbonate d'ammonium et de l'hydrogène sulfuré, qui prennent naissance par l'action de la vapeur d'eau, provenant de l'eau hygroscopique de la poudre, ou de l'hydrogène du charbon sur le cyanate de potassium ou le sulfate de potassium. Si l'hyposulfite de potassium préexiste, il se forme à très petites doses pendant le refroidissement, par l'action de l'anhydride sulfureux et le sulfure de potassium.

**Hyposulfite de sodium.** — Féderow avait cherché à expliquer sa présence, à l'aide de l'action directe du carbone ou du soufre, sur le sulfate ou le carbonate de potassium 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 réaction que le sulfate et le carbonate 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 d'oxygène de l'air au cours des manipulations. Féderow 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 M. Berthelot, à tous les corps stables dans les conditions de l'expérience, dans des proportions relatives qui varient avec les conditions 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 indiquées.

**192. Chaleur dégagée par la combustion de la poudre (Noble et Abel) et volume des gaz.**

|                           | Chaleur dégagée par<br>la combustion de 1 gr. | Volume des gaz (à 0°<br>sous 0,76). |
|---------------------------|---|-------------------------------------|
| Poudre Pebble . . . . .   | 714 <sup>cc</sup> 5                           | 275 <sup>cc</sup> 7                 |
| "  R. L. G. . . . .       | 718 <sup>cc</sup> 1                           | 271 <sup>cc</sup> 3                 |
| "  F. G. . . . .          | 727 <sup>cc</sup> 2                           | 259 <sup>cc</sup> 2                 |
| "  Curtis et Harvey n° 6. | 755 <sup>cc</sup> 5                           | 238 <sup>cc</sup> 7                 |
| "  de mine . . . . .      | 508 <sup>cc</sup> 8                           | 354 <sup>cc</sup> 6                 |
| "  sphérique espagnole .  | 762 <sup>cc</sup> 3                           | 232 <sup>cc</sup> 7                 |

La chaleur subit donc des variations considérables, dépendant de la nature particulière (physique et chimique) de la poudre employée. Cette chaleur varie même, pour la même poudre, dans des expériences différentes.

Température de l'explosion (Noble et Abel) : elle varie de 1800° à 2200°.

## CHAPITRE IV.

### POUDRES DIVERSES A BASE DE NITRATES.

**193.** — Ces poudres sont généralement employées dans les mines ; on cherche surtout le bon marché. On remplace le nitrate de potassium par le nitrate de sodium, malgré le défaut d'hygroscopicité de celui-ci ; le charbon de bois, par de la tannée (tan épuisé), du lignite, etc. :

*Poudre de mine de Detrel* (Pyronone).

|                            |      |                       |
|----------------------------|------|-----------------------|
| Azotate de sodium. . . . . | 52,5 | 85                    |
| Soufre. . . . .            | 20,0 | 16                    |
| Tannée . . . . .           | 27,5 | 18 (charbon de bois). |

*Poudre de mine de Soulages* (carbo-azotine).

|                            |    |   |    |
|----------------------------|----|---|----|
| Azotate de sodium. . . . . | 50 | à | 60 |
| Soufre. . . . .            | 13 | à | 16 |
| Sulfate de fer . . . . .   | 4  | à | 5  |
| Tannée . . . . .           | 14 | à | 16 |
| Suie . . . . .             | 9  | à | 18 |

*Poudre de mine de Wynants* (saxifragine).

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Azotate de baryum . . . . . | 76 |
| Charbon . . . . .           | 22 |
| Salpêtre . . . . .          | 2  |

*Poudre de Schwartz.*

|                               |      |      |
|-------------------------------|------|------|
| Azotate de potassium. . . . . | 46,6 | 56,2 |
| Azotate de sodium. . . . .    | 26,5 | 18,1 |
| Soufre. . . . .               | 9,2  | 9,6  |
| Charbon . . . . .             | 14,7 | 15,0 |
| Eau . . . . .                 | 1    | 1,0  |

*Poudre de Kup.*

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Azotate de potassium . . . . . | 66 |
| Azotate de sodium . . . . .    | 8  |
| Soufre . . . . .               | 9  |
| Charbon . . . . .              | 16 |

*Poudre de mine Neumeyer et Klein.*

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Salpêtre. . . . .         | 72 |
| Soufre . . . . .          | 10 |
| Charbon de bois . . . . . | 12 |
| Lignite . . . . .         | 8  |

*Poudre Neumeyer.*

|                   |       |
|-------------------|-------|
| Salpêtre. . . . . | 75,00 |
| Soufre . . . . .  | 6,25  |
| Charbon. . . . .  | 13,75 |

*Poudre chocolat ou poudre brune.*

|                        |    |
|------------------------|----|
| Salpêtre. . . . .      | 78 |
| Soufre . . . . .       | 2  |
| Charbon roux . . . . . | 20 |

*Poudre de Büdenberg.*

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Salpêtre potassique . . . . .      | 38 à 30 |
| Salpêtre sodique . . . . .         | 40      |
| Soufre . . . . .                   | 12 à 8  |
| Charbon. . . . .                   | 8 à 7   |
| Lignite . . . . .                  | 4 à 3   |
| Tartrate de sodium et de potassium | 6 à 4   |

*Pyrolithes (Matteen).*

|                               |      |      |
|-------------------------------|------|------|
| Sciure de bois . . . . .      | 12,5 | 11   |
| Salpêtre potassique . . . . . | 67,5 | 50,5 |
| Soufre . . . . .              | 20,0 | 20,0 |
| Salpêtre sodique . . . . .    | —    | 16   |
| Houille . . . . .             | —    | 1,5  |

*Poudre de Murtineddu.*

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Salpêtre. . . . .        | 100 |
| Soufre . . . . .         | 100 |
| Sciure de bois . . . . . | 50  |

|  |       |             |
|--|-------|-------------|
| Crottin de cheval. . . . .   | 50    |             |
| Sel marin . . . . .  | 10    |             |
| Mélasse . . . . .  | 4     | (cohésion). |
| <i>Poudre Freiberg et Wetzlar.</i>   |       |             |
| Salpêtre sodique . . . . .   | 61,66 | 66,68       |
| Soufre . . . . .   | 17,25 | 11,77       |
| Tan . . . . .  | "     | 18,71       |
| Charbon . . . . .  | 17,35 | "           |
| Eau . . . . .  | "     | 2.81        |
| <i>Pyronome (Sandoy).</i>  |       |             |
| Salpêtre. . . . .  | 69    |             |
| Soufre . . . . .   | 9     |             |
| Charbon . . . . .  | 10    |             |
| Antimoine . . . . .  | 8     |             |
| Chlorate de potassium . . . . .  | 5     |             |
| Farine de seigle . . . . .   | 5     |             |
| Chromate de potassium. . . . .   |       | traces.     |
| <i>Poudre de Fehleisen (Haloxyline).</i>   |       |             |
| Charbon de bois . . . . .  | 3     | 5,2         |
| Cellulose (sciure de bois) . . . . .   | 9     | 15,5        |
| Salpêtre. . . . .  | 45    | 79,3        |
| Ferrocyanure de potassium . . . . .  | 1     | "           |
| <i>Lithofacteur dynamital (Lannoy et C<sup>ie</sup>).</i>  |       |             |
| Poudre blanche composée de salpêtre mal broyé, de soufre, de sciure de bois et de son. Ces dernières substances, qui remplacent le charbon, semblent avoir été traitées par de l'acide azotique. |       |             |
| <i>Poudre Davey.</i>   |       |             |
| On substitue, au charbon de bois de la poudre ordinaire, de la farine, de l'amidon, du son, etc. On fait une bouillie épaisse qu'on comprime et qu'on grène.                                     |       |             |
| <i>Poudre Newton (Lithofacteur).</i>   |       |             |
| Nitrate de potassium . . . . .   | 2     |             |
| Nitrate de baryum . . . . .  | 77    |             |
| Charbon de bois . . . . .  | 21    |             |



# DEUXIÈME PARTIE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SUR

LA FORCE DES MATIÈRES EXPLOSIVES.

# CHAPITRE I.

## ÉTUDES THÉORIQUES.

**194.** — Les matières explosives développent à un moment donné un grand volume gazeux porté à une haute température. L'expansion subite de ces gaz produit des effets mécaniques énormes, parmi lesquels il y a lieu d'en distinguer de deux ordres différents :

1° Des effets de rupture des vases dans lesquels l'explosion se produit;

2° Des effets de projection des débris.

Les premiers sont évidemment dus à l'effort des gaz emprisonnés ou à leur pression; les seconds représentent un travail et ils sont la conséquence de la chaleur dégagée.

### *Potentiel.*

**195.** — On appelle énergie potentielle ou simplement potentiel d'une substance explosive, le travail maximum que l'unité de poids de cette matière est susceptible de développer, dans le cas d'une gazéification totale et d'une détente adiabatique indéfinie <sup>1</sup>.

Le potentiel est égal au produit de la chaleur de combustion par l'équivalent mécanique de la chaleur.

$$W = EQ_k = 425Q_k,$$

<sup>1</sup> La détente adiabatique est celle pendant laquelle on ne fournit ni on ne soustrait de la chaleur.



$Q_k$  étant la quantité de chaleur en calories dégagée par un kilogramme de matière.

Ainsi, pour la nitro-glycérine, 1570 est le nombre de calories dégagées par un kilogramme d'explosif :

$$W = 1570 \times 425 = 667250 \text{ kilogrammètres.}$$

Cette énergie potentielle n'est en réalité disponible qu'en vase clos. Dans les armes à feu, il faut tenir compte de la déperdition de chaleur causée par l'échauffement des résidus, des parois de l'arme, du projectile, etc., etc.

L'expérience prouve que le travail réellement utilisé dans les armes à feu, pour la projection de la balle, varie du  $\frac{1}{5}$  au  $\frac{1}{6}$  du travail total emmagasiné dans un kilogramme de poudre.

### *Chaleur dégagée.*

**196.** — La chaleur dégagée par l'explosion peut être mesurée expérimentalement au moyen de calorimètres spéciaux. MM. Roux et Sarrau font usage d'une bombe cylindrique en fonte très résistante, dans laquelle ils introduisent quelques grammes de matières explosives qu'on enflamme électriquement. La bombe est plongée dans de l'eau renfermée dans un vase en cuivre rouge; on note l'élévation de température au moyen de laquelle, on calcule la quantité de calories dégagées par l'explosion, d'après la méthode ordinaire.

M. Berthelot fait usage d'un appareil analogue. La pression ne dépasse pas 200 atmosphères.

On sait que la *calorie* est la quantité de chaleur nécessaire pour porter la température de 1 gramme d'eau de 0° à 1°; on l'appelle encore la *petite calorie* (g. d. gramme-degré) <sup>1</sup>.

Mais la grandeur des quantités de chaleur dégagées dans les explosions, rend plus commode l'emploi de la *grande calorie* (k. d. kilogramme-degré), qui vaut mille petites calories.

On rapporte souvent les températures, non pas à la température

<sup>1</sup> Autant que possible nous rapporterons toutes les unités au système C. G. S.

du zéro centigrade (glace fondante), mais à la température absolue — 273°. Ce zéro absolu est la température qui correspond à l'absence complète de chaleur dans les corps, c'est-à-dire, à la cessation du mouvement vibratoire des molécules.

En effet, le coefficient de la dilatation de l'air est  $0.00366 = \frac{1}{273}$ ; supposons un volume d'air égal à l'unité et à la température du zéro centigrade; soit  $F$  sa force élastique; à  $t^\circ$  le volume sera  $1 + \alpha t$  et la force élastique  $F(1 + \alpha t)$ ; les forces élastiques croissant à *volume constant* dans le rapport de 1 à  $1 + \alpha t$ .

Si l'on admet qu'à la température du zéro absolu, l'air est encore gazeux et soumis à la loi de Mariotte, l'expression  $F(1 + \alpha t)$  représente toujours sa force élastique; or, celle-ci est nulle, puisque tout mouvement vibratoire des molécules a cessé; on a ainsi :

$$F(1 + \alpha t) = 0; \quad \text{d'où} \quad t = -\frac{1}{\alpha} = -273^\circ.$$

Supposons que  $Q_{gp}$  soit le nombre de calories dégagées à *pression constante par un gramme* de matière explosive, quand les produits de la détonation passent de leur température maximum à la température du zéro absolu; soit  $q_{gp}$  le nombre de calories dégagées à pression constante par le même poids de l'explosif quand les produits de la détonation passent de leur température maximum à la température ambiante  $t$ , c'est-à-dire, celle de l'eau du calorimètre avant l'explosion.

Enfin, admettons que  $C_{gp}$  soit la chaleur spécifique ( $g \cdot d$ ) sous pression constante des produits de la décomposition.

Il viendra alors :

$$Q_{gp} = q_{gp} + C_{gp} (t + 273).$$

**197. Chaleurs spécifiques.** — Dans l'étude des explosifs, on peut devoir faire usage des chaleurs spécifiques des gaz à volume constant ou à pression constante.

La chaleur spécifique d'un gaz à *pression constante* ( $C_{gp}$ ), c'est le nombre de calories qu'il faut dépenser pour chauffer l'unité de poids de ce gaz (1 gramme) de  $0^\circ$  à  $1^\circ$  en lui permettant de se dilater, de façon que sa pression reste constante.

La chaleur spécifique d'un gaz à *volume constant* ( $C_{gv}$ ), c'est le nombre de calories qu'il faut dépenser pour amener l'unité de poids de ce gaz de 0° à 1°, le gaz étant enfermé dans une enveloppe inextensible.

On conçoit que la dilatation des gaz étant un travail, le calorique spécifique à pression constante sera plus grand que celui à volume constant; il existe entre ces deux valeurs la relation approximative :

$$\frac{C_{gp}}{C_{gv}} = 1,41 \text{ (gaz simples ou composés sans condensation).}$$

**198. Chaleur moléculaire.** — On fait souvent usage de la chaleur spécifique moléculaire; elle vaut la chaleur spécifique par le poids moléculaire du corps.

Nous appellerons la chaleur moléculaire sous volume constant  $C_{mv}$ , et la chaleur moléculaire sous pression constante  $C_{mp}$ .

**199. Chaleurs spécifiques de quelques gaz à pression constante** ( $C_{gp}$ ).

| CORPS.                      | FORMULES.                     | POIDS<br>MOLECULAIRES.<br>m | $C_{gp}$ . | $C_{mp} = C_{gp} \times m$ . |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|------------------------------|
| Air . . . . .               | —                             | —                           | 0,2375     |                              |
| Oxygène . . . . .           | O <sup>2</sup>                | 32                          | 0,2175     | 6,9600                       |
| Azote . . . . .             | Az <sup>2</sup>               | 28                          | 0,2434     | 6,8264                       |
| Hydrogène . . . . .         | H <sup>2</sup>                | 2                           | 3,4100     | 6,8180                       |
| Acide carbonique . . . . .  | CO <sup>2</sup>               | 44                          | 0,2150     | 9,5436                       |
| Protoxyde d'azote . . . . . | Az <sup>2</sup> O             | 44                          | 0,2262     | 9,9528                       |
| Gaz oléfiant . . . . .      | C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> | 28                          | 0,5930     | 16,6040                      |
| Chlore . . . . .            | .Cl <sup>2</sup>              | 70                          | 0,1210     | 8,4770                       |
| Acide sulfureux . . . . .   | SO <sup>2</sup>               | 64                          | 0,1544     | 9,8816                       |
| " chlorhydrique . . . . .   | HCl                           | 36,5                        | 0,1845     | 6,7342                       |
| " sulfhydrique . . . . .    | H <sup>2</sup> S              | 34                          | 0,2432     | 8,2688                       |
| Bioxyde d'azote . . . . .   | AzO                           | 30                          | 0,2317     | 6,9510                       |
| Vapeur d'eau . . . . .      | H <sup>2</sup> O              | 18                          | 0,4800     | 8,6400                       |
| Gaz ammoniac . . . . .      | AzH <sup>3</sup>              | 17                          | 0,5084     | 8,6428                       |
| Oxyde de carbone . . . . .  | CO                            | 18                          | 0,2479     | 6,9412                       |
| Gaz des marais . . . . .    | CH <sup>4</sup>               | 16                          | 0,6598     | 10,5568                      |

Chaleurs spécifiques molécul. (pression constante).

200. Chaleurs spécifiques de quelques gaz à vol. const. ( $C_{gv}$ ).

| CORPS.                  | FORMULES.                     | POIDS MOLECULAIRES. | CHALEUR SPECIFIQUE A VOLUME CONSTANT. | CHALEUR MOLECULAIRE A VOLUME CONSTANT. |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|
| Hydrogène . . . . .     | H <sup>2</sup>                | 2                   | 2,411                                 | 4,822                                  |
| Azote . . . . .         | Az <sup>2</sup>               | 28                  | 0,173                                 | 4,844                                  |
| Oxygène . . . . .       | O <sup>2</sup>                | 32                  | 0,155                                 | 4,960                                  |
| Chlore. . . . .         | Cl <sup>2</sup>               | 71                  | 0,093                                 | 6,603                                  |
| Oxyde de carbone. .     | CO                            | 28                  | 0,173                                 | 4,86                                   |
| Acide carbonique. . .   | CO <sup>2</sup>               | 44                  | 0,172                                 | 7,568                                  |
| Bioxyde d'azote . . .   | AzO                           | 30                  | 0,165                                 | 4,95                                   |
| Acide chlorhydrique.    | HCl                           | 36,5                | 0,1304                                | 4,76                                   |
| Eau . . . . .           | H <sup>2</sup> O              | 18                  | 0,370                                 | 6,66                                   |
| Acide sulfhydrique . .  | H <sup>2</sup> S              | 34                  | 0,184                                 | 6,26                                   |
| Protoxyde d'azote. . .  | Az <sup>2</sup> O             | 44                  | 0,189                                 | 7,96                                   |
| Anhydride sulfureux.    | SO <sup>2</sup>               | 64                  | 0,123                                 | 7,87                                   |
| Ammoniaque . . . . .    | AzH <sup>3</sup>              | 17                  | 0,391                                 | 6,65                                   |
| Gaz des marais. . . . . | CH <sup>4</sup>               | 16                  | 0,468                                 | 7,49                                   |
| Éthylène. . . . .       | C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> | 28                  | 0,359                                 | 10,05                                  |
| Sulfure de carbone . .  | CS <sup>2</sup>               | 76                  | 0,131                                 | 9,99                                   |

201. Poids atomiques de divers corps. —

|           |       |           |       |
|-----------|-------|-----------|-------|
| Aluminium | 27    | Magnésium | 24    |
| Antimoine | 119,6 | Manganèse | 54,8  |
| Argent    | 107,7 | Mercure   | 200   |
| Arsenic   | 75    | Oxygène   | 16    |
| Azote     | 14    | Phosphore | 31    |
| Baryum    | 137   | Plomb     | 206,4 |
| Calcium   | 40    | Potassium | 39,1  |
| Carbone   | 12    | Sodium    | 23    |
| Chlore    | 35,4  | Soufre    | 32    |
| Chrome    | 52    | Strontium | 87,3  |
| Cuivre    | 63,3  | Zinc      | 65    |
| Iode      | 126,5 |           |       |

DÉTERMINATION THÉORIQUE DE LA CHALEUR DE L'EXPLOSION.

202. Elle repose sur les principes de thermo-chimie établis par M. Berthelot :

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.

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 une 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.

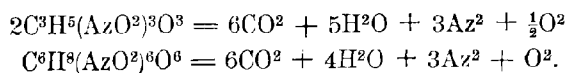
V. Tout échange chimique, accompli sans l'intervention d'une énergie étrangère, tend vers la formation du corps ou du système de corps qui dégage le maximum de chaleur (principe du maximum de chaleur).

Il faut en déduire que le temps de la réaction n'intervient pas dans la quantité de chaleur dégagée; mais, comme nous le verrons plus loin, le temps d'une réaction explosive a une influence énorme sur les effets de la dislocation obtenue.

**203.** Nous aurons surtout à appliquer le principe IV.

La détermination de la chaleur de combustion exige donc la connaissance de la réaction chimique qui s'opère entre les éléments du corps explosif; or, elle peut être établie quand on sait la composition chimique de la substance, ainsi que la composition des produits de l'explosion. La constitution de l'explosif est ordinairement connue et les produits de son explosion peuvent être prévus d'avance, quand le corps est à combustion complète, c'est-à-dire, quand il contient assez d'oxygène pour donner naissance à des composés stables au maximum d'oxydation.

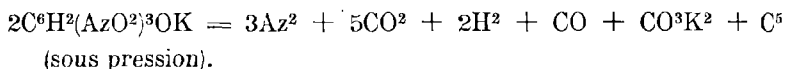
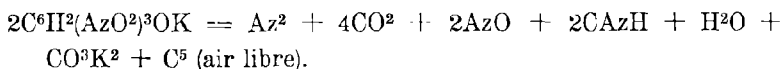
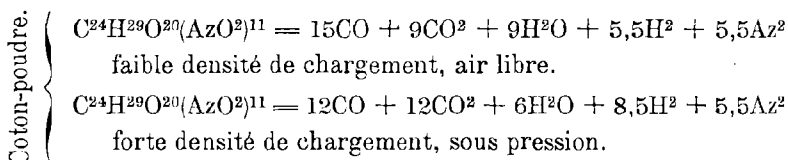
C'est le cas de la nitroglycérine, de la nitromannite :



Cette limite correspond à l'effet thermique maximum.

Quand l'oxygène n'est pas en quantité suffisante, on peut faire l'analyse des produits de l'explosion ; il faut noter que dans ce cas, les produits formés varient avec la température, la pression, la détente, les effets mécaniques, etc. On remarque notamment que les produits se modifient lorsqu'on augmente la *densité de chargement*<sup>1</sup>, c'est-à-dire, en soumettant les produits de la décomposition à des pressions variant de plusieurs milliers d'atmosphères.

Tel est le cas du coton-poudre et du picrate de potassium.



### *Exemples de calculs.*

**204.** D'après le principe IV, il suffit de connaître les chaleurs de formation des matières explosives depuis leurs éléments et celles des produits de l'explosion, et de retrancher la première quantité de chaleur de la seconde, pour obtenir la chaleur développée pendant l'explosion.

Dans la table suivante, nous donnons les chaleurs de formation de la plupart des matières qui interviennent dans l'étude des explosifs. Les chaleurs de formation sont relatives aux poids moléculaires des substances. Ainsi, comme on le voit, l'acide chlorhydrique dégage dans sa formation + 22, cela veut dire que H = 1 gramme d'hydrogène et Cl = 35.5 grammes de chlore, en se combinant, dégagent assez de chaleur pour échauffer 22 kilogrammes d'eau de 0° à 1°, soit 22 calories (k . d), en fournissant 36,5 gr. d'acide chlorhydrique.

<sup>1</sup> La densité de chargement, c'est le rapport entre le poids en grammes de l'explosif et le volume en centim. cubes de l'enceinte dans lequel il fait explosion.

205. *Chaleurs de formation des principales combinaisons chimiques, les composants et les composés étant pris dans leur état actuel à + 15° c. (grandes calories k. d.).*

**Les gaz sous la pression normale constante.**

| NOMS.                        | COMPOSÉS.                                    | POIDS<br>MOLECU-<br>LAIRES. | CHALEUR DÉGAGÉE,<br>LE PRODUIT ÉTANT |          |        |          |
|------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------------|----------|--------|----------|
|                              |  |                             | GAZEUX.                              | LIQUIDE. | SOLIDE | DISSOUS. |
| Acide chlorhydrique . . .    | HCl  | 36,5 (on gr.)               | +22                                  |          |        | +39,3    |
| » bromhydrique . . .         | HBr  | 81                          | 9,5                                  |          |        | 33,5     |
| Eau . . . . .                | H <sub>2</sub> O                             | 18                          | 58,2                                 | 69       | 70,4   |          |
| Acide sulfhydrique . . .     | H <sub>2</sub> S                             | 34                          | 4,6                                  |          |        |          |
| » azotique . . . . .         | AzO <sub>3</sub> H                           | 63                          | 34,4                                 | 41,6     | 42,2   | 48,8     |
| » hyposulfureux . . . .      | S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> H <sub>2</sub> | 114                         |                                      |          |        | 67,2     |
| » sulfureux . . . . .        | SO <sub>2</sub>                              | 64                          | 69,2                                 |          |        |          |
| » sulfurique anh. . . .      | SO <sub>3</sub>                              | 80                          | 91,8                                 |          | 103,6  | 141,0    |
| » sulfurique . . . . .       | SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>               | 98                          |                                      | 6,2      | 9      |          |
| » hypochloreux anh. . .      | Cl <sub>2</sub> O                            | 86                          | -15,2                                |          |        | - 5,8    |
| » " hydr. . . . .            | ClHO   | 52,5                        |                                      |          |        |          |
| » chloreux anh. . . . .      | Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               | 118,0                       |                                      |          |        |          |
| » " hydr. . . . .            | ClHO <sub>2</sub>                            | 68,5                        |                                      |          |        |          |
| Oxyde hypochlorique . .      | Cl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>               | 134,0                       |                                      |          |        |          |
| Acide chlorique hydr. . .    | ClHO <sub>3</sub>                            | 84,5                        |                                      |          |        |          |
| » perchlorique hydr. . .     | ClHO <sub>4</sub>                            | 100,5                       |                                      | -30,8    |        |          |
| » carbonique . . . . .       | CO <sub>2</sub>                              | 44                          | 94                                   |          |        |          |
| Oxyde de carbone . . . .     | CO   | 28                          | 25,8                                 |          |        |          |
| Protoxyde d'azote . . . .    | Az <sub>2</sub> O                            | 44                          | -20,6                                | -16,2    |        |          |
| Bioxyde d'azote . . . . .    | AzO  | 30                          | -21,6                                |          |        |          |
| Anhydride azoteux . . . .    | Az <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               | 76                          | -22,2                                |          |        |          |
| Peroxyde d'azote . . . .     | AzO <sub>2</sub>                             | 46                          | - 2,6                                | + 1,7    |        |          |
| Anhydride azotique . . . .   | Az <sub>2</sub> O <sub>5</sub>               | 108                         | - 1,2                                | + 3,6    | + 11,8 | +28,6    |
| Oxyde de potassium . . . .   | K <sub>2</sub> O                             | 94                          |                                      |          |        | 164,6    |
| » de sodium . . . . .        | Na <sub>2</sub> O                            | 62                          |                                      |          | 100,2  | 145,2    |
| » antimonieux . . . . .      | Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               | 287,2                       |                                      |          | 167,4  |          |
| » antimonique . . . . .      | Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>               | 329,2                       |                                      |          | 228,8  |          |
| Chlorure de potassium . . .  | KCl  | 74,6                        |                                      |          | 105,0  | 100,8    |
| » sodium . . . . .           | NaCl   | 58,5                        |                                      |          | 97,3   | 96,2     |
| » ammonium . . . . .         | AzH <sub>4</sub> Cl                          | 53,5                        |                                      |          | 76,7   | 72,7     |
| » baryum . . . . .           | BaCl <sub>2</sub>                            | 207,0                       |                                      |          |        |          |
| » calcium . . . . .          | CaCl <sub>2</sub>                            | 110,0                       |                                      |          | 170,2  | 187,6    |
| Sulfure de potassium . . . . | K <sub>2</sub> S                             | 110,2                       |                                      |          | 102,2  | 112,4    |
| » sodium . . . . .           | Na <sub>2</sub> S                            | 78                          |                                      |          | 88,4   | 103,2    |
| » antimoine . . . . .        | Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>               | 335,2                       |                                      |          | 34,0   |          |
| » ammonium . . . . .         | (AzH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S           | 68                          |                                      |          |        | 56,8     |
| Azotate de potassium . . . . | AzO <sub>3</sub> K                           | 101,1                       |                                      |          | 118,7  |          |
| » sodium . . . . .           | AzO <sub>3</sub> Na                          | 85                          |                                      |          | 110,6  |          |
| » ammonium . . . . .         | AzO <sub>3</sub> AzH <sub>4</sub>            | 80                          |                                      |          | 87,9   |          |
| Sulfate de potassium . . . . | SO <sub>4</sub> K <sub>2</sub>               | 174                         |                                      |          | 342,2  |          |
| » sodium . . . . .           | SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub>              | 142                         |                                      |          | 326,4  |          |
| Carbonate de potassium . . . | CO <sub>3</sub> K <sub>2</sub>               | 138                         |                                      |          | 277,8  |          |
| » sodium . . . . .           | CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub>              | 106                         |                                      |          | 270,2  |          |

| NOMS.                           | COMPOSÉS.  | POIDS<br>MOLÉCU-<br>LAIRES. | CHALEUR DÉGAGÉE, LE LIQUIDE<br>ÉTANT |          |         |          |
|---------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------------|----------|---------|----------|
|                                 |  |                             | GAZEUX.                              | LIQUIDE. | SOLIDE. | DISSOUS. |
| Chlorate de potassium . . .     | KClO <sub>3</sub>  | 122,5                       |                                      |          | 94,6    |          |
| Ammoniaque . . . . .            | AzH <sub>3</sub>   | 17                          | 12,2                                 |          |         |          |
| Sulfure d'azote . . . . .       | AzS  | 46                          |                                      |          | -31,9   |          |
| » de carbone . . . . .          | CS <sub>2</sub>  | 76                          | -10,55                               | - 7,7    |         |          |
| Cyanogène . . . . .             | CAz  | 26                          | -37,3                                |          |         | -33,9    |
| Acide cyanhydrique . . . .      | CAzH   | 27                          | -29                                  | -23,8    |         | +23,4    |
| Cyanure de potassium . . . .    | CAzK   | 65                          |                                      |          | 30,3    | 27,4     |
| Acétylène . . . . .             | C <sup>2</sup> H <sup>2</sup>                                    | 26                          | -61,1                                |          |         |          |
| Éthylène . . . . .              | C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>                                    | 28                          | -15,4                                |          |         |          |
| Méthane . . . . .               | CH <sup>4</sup>  | 16                          | 18,5                                 |          |         |          |
| Benzine . . . . .               | C <sup>6</sup> H <sup>6</sup>                                    | 78                          | -12,0                                | - 5,0    | - 2,7   |          |
| Térébenthine . . . . .          | C <sup>10</sup> H <sup>16</sup>                                  | 136                         | + 8,6                                | -17      |         |          |
| Naphtaline . . . . .            | C <sup>10</sup> H <sup>8</sup>                                   | 128                         |                                      |          | -26,7   |          |
| Anthracène . . . . .            | C <sup>14</sup> H <sup>10</sup>                                  | 178                         |                                      |          | -46,6   |          |
| Alcool méthylique . . . . .     | CH <sup>4</sup> O  | 32                          | 53,6                                 | 62       | 64      |          |
| » éthylique . . . . .           | C <sup>2</sup> H <sup>6</sup> O                                  | 46                          | 60,7                                 | 70,5     | 73      |          |
| » propylique . . . . .          | C <sup>3</sup> H <sup>8</sup> O                                  | 60                          |                                      | 67       |         |          |
| Acide phénique . . . . .        | C <sup>6</sup> H <sup>6</sup> O                                  | 94                          |                                      | 32,7     | 35      | 33       |
| Glycérine . . . . .             | C <sup>3</sup> H <sup>8</sup> O <sup>3</sup>                     | 92                          |                                      | 165,5    | 169,4   | 164      |
| Mannite . . . . .               | C <sup>6</sup> H <sup>14</sup> O <sup>6</sup>                    | 172                         |                                      |          | 318,5   | 313,5    |
| Glucoses et isomères . . . .    | C <sup>6</sup> H <sup>12</sup> O <sup>6</sup>                    | 180                         |                                      |          | 305     | 302      |
| Glycol . . . . .                | C <sup>2</sup> H <sup>6</sup> O <sup>2</sup>                     | 62                          |                                      | 111,7    |         | 113,4    |
| Cellulose (coton). . . . .      | C <sup>6</sup> H <sup>10</sup> O <sup>5</sup>                    | 162                         |                                      |          | 227,0   |          |
| Saccharose et isomères . . . .  | C <sup>12</sup> H <sup>22</sup> O <sup>11</sup>                  | 342                         |                                      |          | 532     |          |
| Aldéhyde . . . . .              | C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> O                                  | 44                          | 50,5                                 | 56,5     |         | 60,1     |
| Azotate d'éthyle . . . . .      | C <sup>2</sup> H <sup>5</sup> AzO <sup>3</sup>                   | 91                          |                                      | 49,3     |         | 50,3     |
| Nitroglycérine . . . . .        | C <sup>3</sup> H <sup>5</sup> Az <sup>3</sup> O <sup>9</sup>     | 227                         |                                      | 98       |         |          |
| Nitromannite . . . . .          | C <sup>3</sup> H <sup>5</sup> Az <sup>6</sup> O <sup>18</sup>    | 452                         |                                      |          | 149,0   |          |
| Fulminate de mercure . . . . .  | C <sup>2</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>2</sup> Hg                 | 284                         |                                      |          | -62,9   |          |
| Coton-poudre (n = 11). . . . .  | C <sup>24</sup> H <sup>29</sup> Az <sup>11</sup> O <sup>42</sup> | 1143                        |                                      |          | 624,0   |          |
| Nitro-benzine . . . . .         | C <sup>6</sup> H <sup>5</sup> AzO <sup>2</sup>                   | 123                         |                                      | 4,2      | 6,9     |          |
| Biniro-benzine . . . . .        | C <sup>6</sup> H <sup>4</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>4</sup>     | 168                         |                                      |          | 12,7    |          |
| Acide picrique . . . . .        | C <sup>6</sup> H <sup>3</sup> Az <sup>3</sup> O <sup>7</sup>     | 229                         |                                      |          | 49,1    | 41,0     |
| Picrate de potassium . . . . .  | C <sup>6</sup> H <sup>2</sup> Az <sup>3</sup> O <sup>6</sup> K   | 267                         |                                      |          | 117,5   | 107,5    |
| » ammonium . . . . .            | C <sup>6</sup> H <sup>6</sup> Az <sup>4</sup> O <sup>7</sup>     | 246                         |                                      |          | 80,1    | 71,4     |
| » sodium . . . . .              | C <sup>6</sup> H <sup>2</sup> Az <sup>3</sup> O <sup>7</sup> Na  | 251                         |                                      |          | 105,3   | 98,9     |
| Nitrate de diazobenzol. . . . . | C <sup>6</sup> H <sup>5</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>3</sup>     | 167                         |                                      |          | -47,4   |          |
| Éther ordinaire . . . . .       | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O                                 | 74                          |                                      | 72       |         |          |
| Nitrate de méthyle . . . . .    | CH <sup>3</sup> AzO <sup>3</sup>                                 | 77                          |                                      | 39,6     |         |          |
| Étherglycol diazotique . . . .  | C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>6</sup>     | 152                         |                                      | 66,9     |         |          |
| Propylglycol . . . . .          | C <sup>3</sup> H <sup>8</sup> O <sup>2</sup>                     | 76                          |                                      | 127      |         |          |
| Coton poudre octonitrique       | C <sup>24</sup> H <sup>32</sup> Az <sup>8</sup> O <sup>36</sup>  | 1008                        |                                      |          | 601,2   |          |

On sait que les changements d'état des corps sont accompagnés d'une absorption ou d'un dégagement de chaleur : ainsi, 1 kilogramme d'eau à 0°, pour passer de l'état liquide à l'état solide, dégage 79,25



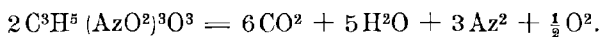
calories et par contre pour passer de l'état solide à l'état liquide il absorbe 79,25 calories; c'est cette quantité de chaleur qu'on appelle la chaleur latente de fusion de la glace. Un gramme de glace absorbe donc 0,07925 calorie pour fondre et 18 grammes de glace, c'est-à-dire, la quantité exprimée par H<sup>2</sup>O en absorberont :  $18 \times 0,07925 = 1,4265$ , ce qu'on peut encore exprimer en disant qu'ils dégageront — 1,42 calories.

De même 1 kilogramme d'eau liquide à 100° absorbe 537 calories pour se transformer en vapeur ou eau gazeuse à 100°; le produit  $18 \times 0,537 = 9,666$  et H<sup>2</sup>O, soit la molécule d'eau pesant 18 grammes prise à l'état liquide à 100°, absorbera 9,66 calories (ou dégagera — 9,66 calories) pour passer à l'état de gaz ou de vapeur à 100°.

*Recherche de la chaleur de combustion.*

206. — 1° Cas de la nitroglycérine détonant sous pression constante (à l'air libre).

L'équation de la réaction est la suivante :



Chaleur de formation de 2 molécules de nitroglycérine =  $2 \times 98 = 196$

„ „ 6 „ d'acide carboniq. =  $6 \times 94 = 564$

„ „ 5 „ d'eau (gazeuse) =  $5 \times 58,2 = 291$

L'azote et l'oxygène étant des corps simples ne donnent rien.

Il vient donc, d'après le principe IV de la thermo-chimie :

$(564 + 291) - 196 = 659$  cal. pour 2 moléc. de nitrogl. ( $2 \times 227$ ).

Donc  $Q_{mp} = \frac{659}{2} = 329,5$  calories (k. d) et pour 1 kilogramme :

$Q_{kp} = \frac{329,5 \times 1000}{227} = 1451,53$  calories à press. const. (eau gazeuse).

Si l'on considère la chaleur de formation de l'eau liquide au lieu de celle de l'eau gazeuse, il faut prendre le chiffre 69,2 au lieu de 58,2; on aurait alors, tout calcul fait :

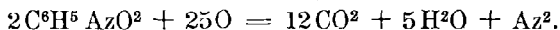
$Q_{mp} = 356,5$  et  $Q_{kp} = 1570$  calories (k. d) (eau liquide).

Cela revient à ajouter à la chaleur émise, celle dégagée par la condensation de la vapeur d'eau.

Dans tous les calculs qui suivront, nous considérerons toujours l'eau comme gazeuse.

207. — 2° Lorsque le corps explosif ne contient pas assez d'oxygène pour donner une combustion complète, on peut le faire détoner dans une atmosphère d'oxygène pur.

Soit la nitrobenzine :



Chaleur de format. de 2 moléc. de nitrobenzine  $2 \times 4,2 = 8,4$   
 " " 12 " d'acide carboniq.  $12 \times 94 = 1128,0$   
 " " 5 " eau (gazeuse)  $5 \times 58,2 = 291$  ;  
 d'où  $(1128 + 291) - 8,4 = 1410,6$  pour 2 molécules ( $2 \times 123$  gr.) ;

d'où  $Q_{mp} = 705,3$  calories.  
 $Q_{kp} = 5734,2$  calories.

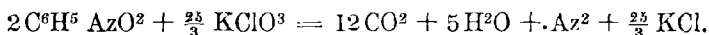
Si l'on considère la nitrobenzine mêlée d'oxygène comme formant un ensemble explosible, au lieu de n'avoir égard qu'à la nitrobenzine seule, le poids moléculaire est alors :  $m = 2 \times 123 + 25 \times 16 = 646$ .

Dans ce cas, on a :

$$Q_{mp} = 1410,6 \text{ calories,}$$

$$Q_{kp} = 2183,6 \text{ calories.}$$

3° En pratique, l'oxygène provient d'un oxydant; alors il faut tenir compte de la chaleur de formation propre de cet oxydant. Supposons qu'on mêle la nitrobenzine avec du chlorate de potassium, dans des proportions telles que la combustion soit complète :



|  |                            |                                     |
|--|----------------------------|-------------------------------------|
| Chaleur de format. de 2 moléc. de nitrobenzine | $2 \times 4,2$             | 8,4                                 |
| " " $\frac{25}{3}$ " chlorate                  | $\frac{25}{3} \times 94,6$ | 788,3                               |
| " " du mélange explosif                        |                            | <hr style="width: 100%;"/> 796,7    |
| " " 12 molécules CO <sup>2</sup>               | $12 \times 94$             | = 1128                              |
| " " 5 " H <sup>2</sup> O                       | $5 \times 58,2$            | = 291                               |
| " " $\frac{25}{3}$ " KCl                       | $\frac{25}{3} \times 105$  | = 875                               |
|  |                            | <hr style="width: 100%;"/> 2294,0   |
|  |                            | — 796,7                             |
|  |                            | <hr style="width: 100%;"/> + 1497,3 |

Soit pour 1 molécule de nitrobenzine 748,6.

Si l'on tient compte de la présence du chlorate de potassium, le poids moléculaire du premier membre vaut :

$$m = 123 \times 2 + \frac{25}{8} \times 122,5 = 1266,8 \text{ grammes.}$$

Alors  $Q_{mp} = 1497,3$  calories.

$Q_{xp} = 1182$  calories.

La quantité de chaleur dégagée est donc beaucoup moindre qu'avec l'oxygène pur.

Réciproquement, quand on connaît la chaleur dégagée par la décomposition d'une matière explosive en vase clos, et la nature exacte des produits de l'explosion, on peut facilement tirer de là la chaleur de formation du corps depuis ses éléments.

**208. Chaleur dégagée sous volume constant.** — Si la décomposition a lieu sous volume constant, par exemple, en vase clos, la chaleur développée est un peu plus grande qu'à l'air libre à pression constante. Les gaz développés à l'air libre exécutent un travail de refoulement de l'air, ce qui absorbe de la chaleur.

Il existe une relation entre ces deux quantités de chaleur, qu'on peut évaluer comme suit :

Soient  $Q_{mp}$ , la chaleur dégagée par la réaction à pression constante jusqu'à la température  $t$  ambiante, pour 1 molécule.

$Q_{mv}$ , la chaleur dégagée par la réaction à volume constant jusqu'à la température  $t$  ambiante, pour 1 molécule.

Il est certain qu'on a :

$$Q_{mp} < Q_{mv}.$$

Or, la chaleur absorbée est la conséquence d'un travail effectué; les gaz occupant un volume constant, se dilatent et refoulent l'air ambiant.

Soit  $M$  le travail ainsi produit; la quantité de chaleur absorbée sera :

$\frac{M}{E}$ ;  $E$  étant l'équivalent mécanique de la chaleur :

Il vient alors :

$$Q_{mp} + \frac{M}{E} = Q_{mv}.$$

Le travail M, dû à la détente des gaz, vaut :

$$M = \int_{v_0}^{v_1} p \, dv = p \int_{v_0}^{v_1} dv,$$

p, étant la pression constante atmosphérique = 10335 gr.,

v, étant le volume des gaz;

d'où :

$$M = p (v_1 - v_0);$$

$v_0$ , étant le volume des gaz sous volume constant,

$v_1$ , étant le volume des gaz sous pression constante,

$v_1 - v_0$  représente donc la dilatation.

Or,  $v_1 = n' \times 22,32 (1 + \alpha t)$  (voir n° 210);

$$v_0 = n \times 22,32 (1 + \alpha t).$$

$n'$ , étant le nombre d'unité de volume après dilatation (ou le nombre de molécules gazeuses).

$n$ , étant le nombre d'unité de volume avant dilatation.

L'unité de volume adoptée est le volume moléculaire 22'32 (n° 210).

On a donc finalement :

$$\frac{M}{E} = \frac{10335 \times 22,32}{425 \times 1000} (n' - n) (1 + \alpha t);$$

$$\frac{M}{E} = 0,5424 (n' - n) (1 + \alpha t).$$

Or :

$$\alpha = \frac{1}{273} \quad \text{et} \quad 0,5424 = 2 \times 0,273 \text{ environ.}$$

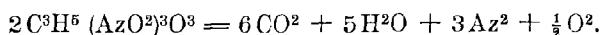
Alors :

$$\frac{M}{E} = 0,5424 (n' - n) + 0,002 (n' - n) t.$$

Enfin :

$$Q_{\text{up}} + 0,5424 (n' - n) + 0,002 (n' - n) t = Q_{\text{uv}}.$$

Prenons pour exemple d'application la nitroglycérine :



La chaleur dégagée à pression constante est :

$$Q_{mp} = 329,5.$$

On peut poser sensiblement  $n = 0$  ; le volume de la nitroglycérine qui représente les gaz avant leur dilatation étant négligeable en présence du volume des gaz après dilatation (ou explosion).

Pour  $n'$ , puisque chaque molécule des gaz du deuxième membre représente un volume de 22'32, on a :

$$n' = \frac{1}{2} [6(\text{CO}^2) + 5(\text{H}^2\text{O}) + 3(\text{Az}^2) + \frac{1}{2}(\text{O}^2)] = 7,25,$$

donc :

$$Q_{mv} = Q_{mp} + 0,5424 \left( \frac{6 + 5 + 3 + 0,5}{2} \right) + 0,002 \left( \frac{6 + 5 + 3 + 0,5}{2} \right) 15$$

$$Q_{mv} = 329,5 + 3,9324 + 0,145 = 333,6.$$

On aurait pour 1 kilogramme :

$$Q_{kv} = 1469,82 \text{ calories grandes (eau gazeuse).}$$

Nous rappelons qu'à pression constante, on avait :

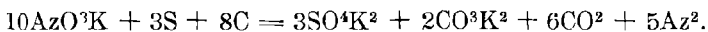
$$Q_{kp} = 1451,53 \text{ calories grandes (eau gazeuse).}$$

### *Volume des gaz.*

**209.** Ce volume peut être mesuré expérimentalement, en recueillant les gaz dans une cloche graduée après leur formation dans la bombe calorimétrique.

On peut aussi l'évaluer théoriquement pour toute réaction bien connue.

Soit l'explosion d'une poudre ternaire à combustion complète :



Cette formule nous apprend que : 1010 gr. de salpêtre + 96 gr. de soufre + 96 gr. de carbone donnent 264 gr. d'acide carbonique + 140 gr. d'azote.

Un litre d'acide carb. pèse 1 gr. 97 à 0° et 0,760 (voir table n° 211).

” d'azote ” 1 gr. 25 ” ” ”

L'explosion a donc produit :

$$\frac{264}{1,97} = 134 \text{ litres de CO}^2 \text{ à 0° et 0,760.}$$

$$\frac{140}{1,25} = 112 \text{ litres de Az à 0° et 0,760.}$$

Total : 246 litres de gaz =  $V_m$ .

Le poids du mélange explosif est  $1010 + 96 + 96 = 1202$  gr., par conséquent, 1 kilogr. de ce mélange explosif dégage :  $V_k = \frac{246 \times 1000}{1202} = 204,6$  litres de gaz à 0° et 0,760.

**210. Recherche du volume des gaz basée sur les volumes moléculaires.** — On peut calculer le volume des gaz produits par une réaction d'une façon beaucoup plus rapide, et sans avoir recours aux poids spécifiques individuels des gaz.

On sait que les volumes moléculaires sont les volumes qu'occupent les poids moléculaires des gaz à 0° et 0,760 de pression. Ces volumes sont les quotients des poids moléculaires par les densités ou les poids de l'unité de volume :

$$V_m = \frac{P_m}{D}$$

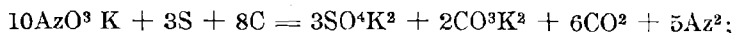
On sait, par exemple, que la molécule  $H^2$ , pesant 2 gr., occupe un volume de 22,32 litres à 0° et à 0,760.

Les volumes moléculaires sont les mêmes pour tous les gaz.

Exemples :

|                     |        |   |                     |   |       |         |
|---------------------|--------|---|---------------------|---|-------|---------|
| Hydrogène           | $H^2$  | : | $\frac{2}{0,08968}$ | = | 22,32 | litres. |
| Azote               | $Az^2$ | : | $\frac{28}{1,254}$  | = | 22,32 | ”       |
| Acide sulfhydrique  | $H^2S$ | : | $\frac{34}{1,523}$  | = | 22,32 | ”       |
| Anhydride sulfureux | $SO^2$ | : | $\frac{64}{2,868}$  | = | 22,32 | ”       |
| Acide carbonique    | $CO^2$ | : | $\frac{44}{1,971}$  | = | 22,32 | ”       |

Si nous reprenons la formule d'explosion :



il vient :

$$6\text{CO}^2 = 6 \times 22,32 = 133,92$$

$$5\text{Az}^2 = 5 \times 22,32 = 111,60$$

Total : 245,52 litres à 0° et 0,760.

Donc  $V_m = 245,52$ .

**211. Poids du litre des gaz à 0° et à 0,760.**

| GAZ                           | FORMULES                       | POIDS<br>MOLECUL. | POIDS<br>DU LITRE | VOLUME<br>MOLECUL.                        |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|---|
| Oxygène . . . . .             | O <sup>2</sup>                 | 32                | 1.433             | 22,32 litres à 0° sous 0,760 de pression. |
| Hydrogène . . . . .           | H <sup>2</sup>                 | 2                 | 0.089,58          |   |
| Azote . . . . .               | Az <sup>2</sup>                | 28                | 1.254             |   |
| Chlore . . . . .              | Cl <sup>2</sup>                | 78                | 3.18              |   |
| Brome . . . . .               | Br <sup>2</sup>                | 160               | 7.16              |   |
| Iode . . . . .                | I <sup>2</sup>                 | 254               | 11.18             |   |
| Soufre . . . . .              | S <sup>2</sup>                 | 64                | 2.87              |   |
| Phosphore . . . . .           | Ph <sup>2</sup>                | 62                | 2.78              |   |
| Mercure . . . . .             | Hg                             | 200               | 8.96              |   |
| Acide chlorhydrique . . . . . | HCl                            | 36,5              | 1.635             |   |
| » bromhydrique . . . . .      | HBr                            | 81                | 3.63              |   |
| » iodhydrique . . . . .       | HI                             | 128               | 5.73              |   |
| » fluorhydrique . . . . .     | HF                             | 20                | 0.896             |   |
| Vapeur d'eau . . . . .        | H <sup>2</sup> O               | 18                | 0.806             |   |
| Acide sulfurique . . . . .    | H <sup>2</sup> S               | 34                | 1.523             |   |
| Ammoniaque . . . . .          | AzH <sup>3</sup>               | 17                | 0.761             |   |
| Protoxyde d'azote . . . . .   | Az <sup>2</sup> O              | 44                | 1.971             |   |
| Bioxyde . . . . .             | AzO                            | 30                | 1.343             |   |
| Anhydride azoteux . . . . .   | Az <sup>2</sup> O <sup>3</sup> | 76                | 3.40              |   |
| Peroxyde d'azote . . . . .    | AzO <sup>2</sup>               | 46                | 2.06              |   |
| Acide sulfureux . . . . .     | SO <sup>2</sup>                | 64                | 2.87              |   |
| Oxyde de carbone . . . . .    | CO                             | 28                | 1.254             |   |
| Acide carbonique . . . . .    | CO <sup>2</sup>                | 44                | 1.971             |   |
| Anhydride chloreux . . . . .  | Cl <sup>2</sup> O <sup>3</sup> | 119               | 5.33              |   |
| » hypochloreux . . . . .      | Cl <sup>2</sup> O              | 87                | 3.90              |   |
| Oxyde hypochlorique . . . . . | Cl <sup>2</sup> O <sup>4</sup> | 135               | 3.024             |   |
| Gaz des marais . . . . .      | CH <sup>4</sup>                | 16                | 0.716             |   |
| Hydrogène phosphoré . . . . . | PhH <sup>3</sup>               | 34                | 1.52              |   |
| » arsénié . . . . .           | AzH <sup>3</sup>               | 78                | 3.49              |   |
| Ethane . . . . .              | C <sup>2</sup> H <sup>6</sup>  | 30                | 1.343             |   |
| Ethylène . . . . .            | C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>  | 28                | 1.254             |   |
| Acétylène . . . . .           | C <sup>2</sup> H <sup>2</sup>  | 26                | 1.165             |   |
| Cyanogène . . . . .           | C <sup>2</sup> Az <sup>2</sup> | 52                | 2.330             |   |
| Acide cyanhydrique . . . . .  | CAzH                           | 27                | 1.210             |   |

*Température de l'explosion.*

212. MM. Mallard et Le Chatelier ont proposé le calcul suivant pour rechercher la température théorique de l'explosion en vase clos (volume constant).

Si  $C_{mv}$  est la chaleur spécifique moléculaire à volume constant moyenne entre 0° et t°, des produits gazeux de l'explosion d'un certain poids d'un explosif (soit une molécule  $m$ ) ; si  $Q_{mv}$  est la chaleur de décomposition correspondant à ce poids et au mode de décomposition réalisé dans l'explosion ; la température  $t$  est donnée par la formule :

$$(1) C_{mv} \times t = Q_{mv}.$$

On sait que la chaleur spécifique n'est pas constante avec la température ; si l'on admet que la valeur de  $C_{mv}$  à toute température est représentée par une expression linéaire :

$$C_{mv} = a + bt;$$

l'équation (1) devient :

$$at + bt^2 = Q_{mv};$$

d'où :

$$t = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4b Q_{mv}}}{2b}.$$

Pour connaître  $t$ , il faut connaître  $a$ ,  $b$  et  $Q_{mv}$ , ce qui suppose connue la loi de décomposition. Cette hypothèse étant réalisée, les recherches de MM. Berthelot, Sarrau et Vieille font connaître  $Q_{mv}$ .

Quant à  $a$  et  $b$  la décomposition donnant en général naissance à des gaz condensés tels que  $CO_2$  et  $H_2O$  et à des gaz non condensés, dits gaz parfaits, tels que  $CO$ ,  $HCl$  et les gaz simples, on peut les déduire des expériences faites par MM. Mallard et Le Chatelier (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. 92, 1882), pour les chaleurs moléculaires de ces gaz à volumes constants et moyennes entre 0 et t°. Ces données sont en petites calories (g-d).

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Pour $CO_2$ . . . . .      | $C_{mv} = 6,26 + 0,0037 t.$ |
| Pour $H_2O$ . . . . .      | $C_{mv} = 5,61 + 0,0033 t.$ |
| Pour les gaz parfaits. . . | $C_{mv} = 4,80 + 0,0006 t.$ |



Les nombres 6,26; 5,61; 4,80 étant les chaleurs moléculaires en petites calories, à la température ordinaire; 0,0037; 0,0033; 0,0006 les accroissements que subissent ces chaleurs moléculaires pour une élévation de température de 1°.

Supposons qu'un explosif se décompose de la façon suivante :

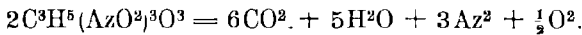


P représentant une molécule de gaz parfait; les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  seront respectivement :

$$a = 6,26\alpha + 5,61\beta + 4,8\lambda;$$

$$b = 0,0037\alpha + 0,0033\beta + 0,0006\lambda.$$

Appliquons ces formules au cas de la nitroglycérine :



$$2a = 6,26 \times 6 + 5,61 \times 5 + 4,8 \times 3 + 4,8 \times \frac{1}{2} = 82,41,$$

$$\text{d'où :} \quad a = 41,205;$$

$$2b = 0,0037 \times 6 + 0,0033 \times 5 + 0,0006 \times 3 + 0,0006 \times \frac{1}{2} = 0,0408,$$

$$\text{d'où :} \quad b = 0,0204.$$

$$t = \frac{-41,205 + \sqrt{41,205^2 + 4 \times 0,0204 \times 333600}}{2 \times 0,0204} = 3153°.$$

#### *Calcul de la pression.*

**214. Définition de la force d'une substance explosive.** — On peut définir la force explosive d'une substance de la façon suivante :

C'est la pression exercée sur l'unité de surface, par les gaz engendrés par l'unité de poids d'un explosif, détonant dans l'unité de volume.

**215.** La loi de Mariotte permet de donner une expression correspondant à la définition de la force explosive, soient :

f la pression développée dans l'unité de volume par l'unité de poids (1 gramme) de l'explosif sur l'unité de surface (1 cc.).

$\omega$  le poids de l'explosif ou le poids des gaz en grammes (soit 1 molécule), l'explosif se transforme entièrement en gaz.

$P_a$  la pression atmosphérique en grammes.

$V_m$  le volume des gaz en centimètres cubes réduit à 0° et à 0,760 pour  $\omega$  grammes d'explosif (soit 1 molécule).

$t$  la température de l'explosion au-dessus du zéro centigrade.

$v$  le volume de l'enceinte dans laquelle la détonation se fait.

Il vient :

$$\frac{\omega f}{P_a} = \frac{V_m(1 + \alpha t)}{v},$$

d'où :

$$f = \frac{V_m P_a(1 + \alpha t)}{\omega v}.$$

Si l'on fait  $P_a = 1$  atmosphère = 1.033 grammes.

$v = 1$  centimètre cube.

On a :

$$f = \frac{1033 V_m(1 + \alpha t)}{\omega} = \frac{1033 V_m(273 + t)}{273\omega};$$

et, en comptant à partir de la température normale de 15° :

$$f = \frac{1033 \times V_m(273 + t + 15)}{273\omega};$$

telle est l'expression de la force explosive.

**216. Calcul de la pression pour une densité de chargement donnée.** — La formule de Mariotte n'étant applicable que dans certaines conditions de températures et de pressions, Clausius a donné la relation suivante qui lie la pression  $P$ , le volume  $v$ , la température  $T$  absolue d'un gaz, qui occupe un volume  $V_m$  sous la pression  $P_a$  :

$$\frac{P}{P_a} + \left( \frac{C}{T \left( \frac{v}{V_m} + \beta \right)^2} \right) \left( \frac{v}{V_m} - u \right) = \frac{T}{273}.$$

$C$ ,  $\beta$ ,  $u$ , sont des coefficients propres à chaque gaz. La valeur  $u$  est à peu près la même pour tous les gaz et égale à :

$$u = 0,001,$$

Dans les explosions, la valeur de T est fort grande, et si  $\frac{v}{V_m}$  n'est pas trop petit, on peut négliger le terme

$$\frac{C}{T \left( \frac{v}{V_m} + \beta \right)^2} \text{ et écrire :}$$

$$\frac{P}{P_a} \left( \frac{v}{V_m} - u \right) = \frac{T}{273};$$

d'où :

$$P = \frac{TP_a V_m}{(v - u V_m) 273}.$$

Introduisons, dans cette valeur, la notion de la densité de chargement. Rappelons que celle-ci est le rapport entre le poids de l'explosif en grammes et le volume en centimètres cubes de l'enceinte dans laquelle il fait explosion.

Soit :

$$\Delta = \frac{\omega}{v} \quad \text{ou} \quad v = \frac{\omega}{\Delta};$$

alors :

$$P = \frac{TP_a V_m}{\left( \frac{\omega}{\Delta} - u V_m \right) 273} = \frac{TP_a V_m \Delta}{273 \omega} \cdot \frac{1}{1 - \frac{u \Delta V_m}{\omega}}.$$

Si nous comptons les températures à partir du zéro absolu, on a :

$$T = t + 273.$$

$$p = \frac{\frac{(t + 273) P_a V_m \Delta}{273}}{1 - \frac{u V_m \Delta}{\omega}} = \frac{1033 V_m (t + 273) \Delta}{273 \cdot \omega} \cdot \frac{1}{1 - \frac{u V_m \Delta}{\omega}}$$

or, nous avons trouvé :

$$f = \frac{1033 V_m (t + 273)}{273 \omega};$$

faisons en outre :

$$\alpha = \frac{u V_m}{\omega} = \frac{V_m}{1000 \omega}.$$

$V_m$  en centimètres cubes,

$\omega$  en grammes.

Il vient alors :

$$P = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}.$$

Les coefficients  $f$  et  $\alpha$  sont caractéristiques pour chaque explosif :  $f$  est la force explosive et l'on a donné à  $\alpha$  le nom de *covolume*; c'est le  $\frac{1}{1000}$  du volume gazeux donné pour l'unité de poids (1 gramme) de l'explosif dans l'hypothèse où celui-ci se transforme entièrement en gaz.

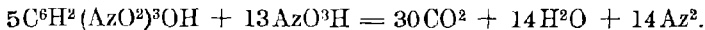
L'expression de  $P$  répond avec une approximation assez grande aux résultats fournis par la pratique. Elle permet de calculer, avec une précision suffisante, la pression développée par l'explosion d'un corps de composition connue, à condition de connaître exactement la réaction.

*Exemple de calcul complet.*

**217.** — Nous allons établir ci-après le tableau complet des calculs des éléments de la force d'un explosif.

Supposons un mélange d'acide picrique et d'acide nitrique, connu sous le nom d'explosif acide de Sprengel.

La formule de réaction à combustion complète sera :



$$\omega = 1964 \text{ grammes.}$$

$$Q_{mp} = (30 \times 94 + 14 \times 58,2) - (5 \times 49,1 + 13 \times 41,6) = 2848,5 \text{ cal. grandes.}$$

$$Q_{mv} = 2848,5 + 0,5424(30 + 14 + 14) + 0,002(30 + 14 + 14) 15 = 2881,699 \text{ cal. (k. d.).}$$

$$Q_{kp} = 2848,5 \times \frac{1000}{1964} = 1450,3 \text{ calories grandes.}$$

$$Q_{kv} = 2881,699 \times \frac{1000}{1964} = 1467,2 \text{ calories grandes.}$$

Potentiel :

$$W = Q_{kv} \times 425 = 1467,2 \times 425 = 623650 \text{ kilogrammètres.}$$

$$V_m = (30 + 14 + 14)22,32 = 1294 \text{ litres } 56 \text{ ou } 1294560 \text{ centim. cubes.}$$

$$V_k = 1294,56 \times \frac{1000}{1964} = 659 \text{ litres } 14 \text{ ou } 659140 \text{ c}^3.$$

$$t = \frac{a + \sqrt{a^2 + 4bQ_{mv}}}{2b} \quad (Q_{mv} \text{ en petites calories (2881699 c.)})$$

$$\begin{aligned}
 a &= 30 \times 6,26 + 14 \times 5,61 + 14 \times 4,8 = 333,54. \\
 b &= 30 \times 0,0037 + 14 \times 0,0033 + 14 \times 0,0006 = 0,1656. \\
 Q_{mv} &= 2881699 \text{ calories petites.} \\
 t &= 3284^\circ. \\
 f &= \frac{1033 \times 1294560(273 + 3284^\circ + 15^\circ)}{273 \times 1964} = 8909017 \text{ grammes.} \\
 \alpha &= \frac{1294560}{1000 \times 1964} = 0,65914. \\
 P &= \frac{8909017 \times \Delta}{1 - 0,65914 \Delta}. \\
 \text{Pour } \Delta &= 0,8 \text{ (800 grammes d'explosif dans 1000 cc.).} \\
 P &= 15077669 \text{ grammes par centimètre carré.}
 \end{aligned}$$

218. — Les calculs précédents ont été faits dans l'hypothèse où le corps explosif se réduit entièrement en gaz. Si, au contraire, il abandonne des résidus dont le volume est  $v'$  pour 1 molécule de poids  $\omega$ , la densité de chargement sera alors :

$$\Delta' = \frac{\omega}{v - v'}.$$

La valeur de  $f$  restera dans ce cas :

$$f = \frac{1033 V^m(273 + t)}{273 \omega};$$

avec la condition que  $v - v' = 1$  centimètre cube.

La valeur de  $P$  sera :

$$P = \frac{f \Delta'}{1 - \alpha \Delta'}.$$

Le volume  $v'$  est facile à calculer, car la formule chimique de la décomposition fournit le poids des résidus, qu'il suffit de diviser par la densité pour obtenir leur volume.

$$v' = \frac{P}{D}.$$

**219. Chaleurs spécifiques de quelques substances. —**

| NOMS.                          | FORMULES.                                       | POIDS<br>MOLECULAIRES. | CHALEURS SPECIFIQUES RAPPORTÉES |                          |
|--------------------------------|---|------------------------|---------------------------------|--------------------------|
|                                |   |                        | A 1 GRAMME.                     | AU POIDS<br>MOLECULAIRE. |
| Soufre fondu . . . . .         | S.  |                        | 0,203                           | 12,8                     |
| Phosphore . . . . .            | Ph.   | 62                     | 0,190                           | 11,8                     |
| Arsenic . . . . .              | As  | 150                    | 0,081                           | 12,1                     |
| Antimoine . . . . .            | Sb.   | 244                    | 0,051                           | 12,4                     |
| Carbone . . . . .              | C.  | 24                     | 0,202                           | 4,8                      |
| Mercure . . . . .              | Hg.   | 400                    | 0,033                           | 13,2                     |
| Plomb . . . . .                | Pb.   | 414                    | 0,031                           | 13,2                     |
| Argent . . . . .               | Ag.   | 216                    | 0,057                           | 12,4                     |
| Magnésie . . . . .             | MgO.  | 40                     | 0,244                           | 9,76                     |
| Oxyde de chrome. . . . .       | Cr <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .                | 152,8                  | 0,190                           | 29,00                    |
| Alumine . . . . .              | Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .                | 103                    | 0,217                           | 22,40                    |
| Chlorure d'ammonium . . . . .  | ClAzH <sup>4</sup> .                            | 53                     | 0,373                           | 20,00                    |
| » potassium . . . . .          | KCl.  | 110                    | 0,173                           | 12,89                    |
| » sodium . . . . .             | NaCl.   | 58,5                   | 0,214                           | 12,50                    |
| » baryum. . . . .              | BaCl <sup>2</sup> .                             | 207                    | 0,090                           | 18,00                    |
| » calcium. . . . .             | CaCl <sup>2</sup> .                             | 111                    | 0,104                           | 18,40                    |
| » argent . . . . .             | AgCl.   | 143                    | 0,091                           | 13,1                     |
| Sulfure potassium . . . . .    | K <sup>2</sup> S.                               | 110                    | »                               | 19,00                    |
| » sodium . . . . .             | Na <sup>2</sup> S.                              | 78                     | »                               | 19,00                    |
| » fer . . . . .                | FeS.  | 88                     | 0,135                           | 11,84                    |
| Ferrocyanure K . . . . .       | (CAz) <sup>6</sup> FeK <sup>4</sup> .           | 430                    | 0,280                           | 118,00                   |
| Nitrate potassium . . . . .    | AzO <sup>3</sup> K.                             | 101,1                  | 0,239                           | 24,20                    |
| » sodium . . . . .             | AzO <sup>3</sup> Na.                            | 85                     | 0,278                           | 23,70                    |
| » baryum. . . . .              | (AzO <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> Ba.            | 261                    | 0,150                           | 38,00                    |
| » strontium . . . . .          | (AzO <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> Sr.            | 211                    | 0,180                           | 38,00                    |
| » plomb . . . . .              | (AzO <sup>3</sup> ) <sup>2</sup> Pb.            | 330                    | 0,110                           | 36,4                     |
| » argent . . . . .             | AzO <sup>3</sup> Ag.                            | 170                    | 0,143                           | 24,4                     |
| » ammonium. . . . .            | AzO <sup>3</sup> AzH <sup>4</sup> .             | 80                     | 0,455                           | 36,4                     |
| Sulfate potassium . . . . .    | SO <sup>4</sup> K <sup>2</sup> .                | 174                    | 0,190                           | 33,2                     |
| » sodium . . . . .             | SO <sup>4</sup> Na <sup>2</sup> .               | 142                    | 0,229                           | 32,4                     |
| » calcium. . . . .             | SO <sup>4</sup> Ca.                             | 136                    | 0,180                           | 25,4                     |
| » strontium . . . . .          | SO <sup>4</sup> Sr.                             | 183,5                  | 0,140                           | 21,8                     |
| » cuivre . . . . .             | SO <sup>4</sup> Ca.                             | 159,5                  | 0,134                           | 21,4                     |
| Bichromate potassium . . . . . | K <sup>2</sup> Cr <sup>2</sup> O <sup>7</sup> . | 294                    | 0,187                           | 36,4                     |
| Carbonate K . . . . .          | CO <sup>3</sup> K <sup>2</sup> .                | 138                    | 0,210                           | 30,0                     |
| » Na . . . . .                 | CO <sup>3</sup> Na <sup>2</sup> .               | 106                    | 0,270                           | 29,0                     |
| » Ca . . . . .                 | CO <sup>3</sup> Ca.                             | 100                    | 0,209                           | 21,0                     |
| » Ba . . . . .                 | CO <sup>3</sup> Ba.                             | 197                    | 0,110                           | 21,4                     |
| » Pb . . . . .                 | CO <sup>3</sup> Pb.                             | 266                    | 0,141                           | 30,4                     |
| Chlorate K . . . . .           | KClO <sup>3</sup> .                             | 122,5                  | 0,210                           | 25,7                     |
| Perchlorate. . . . .           | KClO <sup>4</sup> .                             | 138,5                  | 0,190                           | 26,3                     |
| Eau . . . . .                  | H <sup>2</sup> O.                               | 18                     | 1,000                           | 18,0                     |
| Acide azotique. . . . .        | AzO <sup>3</sup> H.                             | 63                     | 0,445                           | 28,0                     |
| » sulfurique . . . . .         | SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup> .                | 98                     | 0,340                           | 38,4                     |
| Benzine . . . . .              | C <sup>6</sup> H <sup>6</sup> .                 | 78                     | 0,440                           | 34,0                     |
| Alcool . . . . .               | C <sup>2</sup> H <sup>6</sup> O.                | 46                     | 0,595                           | 27,3                     |
| Glycérine . . . . .            | C <sup>3</sup> H <sup>8</sup> O <sup>3</sup> .  | 92                     | 0,591                           | 54,4                     |

**220. Densités et volumes moléculaires de quelques corps. —**

| NOMS.                    | FORMULES.  | POIDS<br>MOLECU-<br>LAIRES.<br>M | DENSITÉS.      | VOLUMES<br>MOLECUAIRES<br>EN CC.<br>$\frac{M}{D}$ |
|--------------------------|--|----------------------------------|----------------|---|
|                          |  |                                  | D              | cc.   |
| Soufre . . . . .         | S.   | 64                               | 2,04           | 31,36   |
| Carbone . . . . .        | C.   | 24                               | 2,50 diamant.  | 6,85  |
|                          |  |                                  | 2,27 graphite. | 10,66   |
|                          |  |                                  | 1,67 amorphe.  | 15,28   |
| Chlorure potassium . .   | KCl.   | 74,6                             | 1,94           | 38,70   |
| » sodium . . . . .       | NaCl.  | 58,5                             | 2,10           | 27,20   |
| » baryum . . . . .       | BaCl <sub>2</sub> .                                | 207                              | 3,70           | 56,00   |
| » strontium . . . . .    | SrCl <sub>2</sub> .                                | 158,5                            | 2,80           | 59,00   |
| » ammonium . . . . .     | AzH <sup>4</sup> Cl.                               | 53                               | 1,53           | 35,00   |
| Azotate potassium . . .  | AzO <sup>3</sup> K.                                | 101                              | 2,08           | 49,00   |
| » sodium . . . . .       | AzO <sup>3</sup> Na.                               | 85                               | 2,24           | 39,00   |
| » baryum . . . . .       | (AzO <sup>3</sup> ) <sub>2</sub> Ba.               | 261                              | 3,23           | 82,00   |
| » plomb . . . . .        | (AzO <sup>3</sup> ) <sub>2</sub> Pb.               | 330                              | 4,40           | 76,00   |
| » argent . . . . .       | AzO <sup>3</sup> Ag.                               | 170                              | 4,35           | 39,00   |
| » ammonium . . . . .     | AzO <sup>3</sup> AzH <sup>4</sup> .                | 80                               | 1,71           | 41,00   |
| » strontium . . . . .    | (AzO <sup>3</sup> ) <sub>2</sub> Sr.               | 211                              | 2,93           | 71,80   |
| Carbonate potassium . .  | CO <sup>3</sup> K <sub>2</sub> .                   | 138                              | 2,26           | 62,00   |
| » sodium . . . . .       | CO <sup>3</sup> Na <sub>2</sub> .                  | 107                              | 2,47           | 43,00   |
| » baryum . . . . .       | CO <sup>3</sup> Ba.                                | 197                              | 4,30           | 46,00   |
| » strontium . . . . .    | CO <sup>3</sup> Sr.                                | 147,5                            | 3,62           | 40,00   |
| » calcium . . . . .      | CO <sup>3</sup> Ca.                                | 100                              | 2,71           | 36,00   |
| Sulfate de potassium . . | SO <sup>4</sup> K <sub>2</sub> .                   | 174                              | 2,66           | 66,00   |
| » sodium . . . . .       | SO <sup>4</sup> Na <sub>2</sub> .                  | 142                              | 2,63           | 54,00   |
| » baryum . . . . .       | SO <sup>4</sup> Ba.                                | 233                              | 2,45           | 52,00   |
| » strontium . . . . .    | SO <sup>4</sup> Sr.                                | 183,5                            | 3,59           | 52,00   |
| » calcium . . . . .      | SO <sup>4</sup> Ca.                                | 136                              | 2,93           | 46,00   |
| Chlorate potassium . . . | KClO <sup>3</sup> .                                | 122,5                            | 2,33           | 52,60   |
| Bichromate » . . . . .   | Cr <sup>2</sup> O <sup>7</sup> K <sub>2</sub> .    | 294                              | 2,69           | 110,00  |
| Oxyde d'antimoine . . .  | Sb <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .                   | 292                              | 5,53           | 53,00   |
| Sulfure » . . . . .      | Sb <sup>2</sup> S <sub>3</sub> .                   | 334                              | 4,42           | 75,00   |
| Oxyde de calcium . . .   | CaO.   | 56                               | 3,15           | 18,00   |
| Sulfate ammonium . . .   | (SO <sup>4</sup> )(AzH <sup>4</sup> ) <sub>2</sub> | 132                              | 1,76           | 75,00   |
| Nitrate cuivre . . . . . | (AzO <sup>3</sup> ) <sub>2</sub> Cu.               | 192                              | 2,03           | 94,50   |
| Bioxyde de mercure . . . | HgO.   | 216                              | 11,14          | 19,38   |

## CHAPITRE II.

### PROCÉDÉS EMPIRIQUES POUR L'ÉVALUATION DE LA FORCE DES MATIÈRES EXPLOSIVES.

On a proposé, pour l'évaluation de la force des matières explosives, certaines méthodes expérimentales pratiques.

**221. Méthode Abel.** — On fait usage d'un bloc de plomb cylindrique de 250 millimètres de diamètre et de 280 mm. de hauteur. On creuse un trou suivant l'axe du cylindre, de 28<sup>mm</sup>5 de diamètre et de 178 mm. de profondeur. On dépose au fond 10, 20, 30 grammes de la matière explosive en cartouche de 28<sup>mm</sup>5 de diamètre, disposée au besoin, sous une couche ou enveloppe imperméable, puis on place le détonateur à l'extrémité d'une mèche. On achève de remplir le trou avec de l'eau qui sert de bourrage. On fait détoner et on mesure la capacité de la chambre formée.

Voici quelques rapports qui expriment l'accroissement de capacité produit par 1 cc. d'explosif :

|   |        |
|---|--------|
| Nitromannite . . . . .  | 43 cc. |
| Nitroglycérine . . . . .  | 35     |
| Dynamite à 75 % . . . . .   | 29     |
| Fulmi-coton sec . . . . .   | 34     |
| Fulmi-coton avec 60 % nitrate ammonium . . . . .                              | 32     |
| "          50 % " potassium . . . . .   | 21     |
| Fulminate de mercure . . . . .  | 13,5   |
| 1 volume CS <sup>2</sup> + 1 volume AzO <sup>2</sup> . . . . .                | 25     |
| 2 " CS <sup>2</sup> + 1 " AzO <sup>2</sup> . . . . .                          | 18     |
| 3 " CS <sup>2</sup> + 5 volumes AzO <sup>2</sup> (oxydation compt.) . . . . . | 28     |



|  |        |
|--|--------|
| 1 volume essence de pétrole (avec $\frac{1}{10}$ CS <sup>2</sup> ) + 1 vol. AzO <sup>2</sup> . . . . . | 28 cc. |
| 2 volumes " (avec $\frac{1}{10}$ CS <sup>2</sup> ) + 1 vol. AzO <sup>2</sup> . . . . .                 | 18     |
| 1 volume nitrotoluène + 1 vol. AzO <sup>2</sup> . . . . .  | 29     |

Il y a absence complète de projection métallique, et on se rapproche des conditions usuelles de l'emploi des explosifs dans les mines.

Ce procédé ne s'applique pas aux poudres lentes, le bourrage est chassé avant l'agrandissement de la chambre.

**222.** — On fait aussi usage de cylindres pleins en plomb : on charge la base supérieure du bloc d'un poids donné de l'explosif. La détonation de celui-ci provoque l'écrasement du plomb ; on mesure les diminutions de la hauteur. Ce sont donc des espèces de crusthers.

Le cylindre de plomb prend la forme d'un champignon.

**223.** — La commission française des substances explosives a mis en essai, la méthode qui consiste à provoquer le cintrage d'une plaque d'acier reposant, par ses extrémités, sur deux appuis et au milieu de laquelle on pose transversalement l'explosif, qui doit avoir une longueur égale à la largeur de la plaque. L'acier employé est extra-doux (acier pour chaudières de la marine).

**224.** — Adamson, en Angleterre, fait détoner à une distance déterminée d'une plaque mince de cuivre, une charge d'explosif. La plaque repose sur une enclume percée, au centre, d'un large trou cylindrique. Par l'explosion, la plaque s'emboutit et prend une forme concave régulière, dont on relève le profil ; on mesure le volume de la cavité produite.

**225. Appareil de Quinan.** — C'est un perfectionnement de la méthode du n° 222.

Un bloc de fonte est recouvert d'une plaque d'acier. Sur celle-ci est gravée une circonférence de cercle de 102<sup>mm</sup>. Aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires se trouvent 4 tiges verticales qui servent à diriger le mouvement d'un piston en acier trempé de 102<sup>mm</sup> de diamètre et de 127<sup>mm</sup> de longueur. Le piston porte à sa partie supérieure, une petite cavité dans laquelle on place l'explosif. Le piston pèse 4 kg. 56. Au-dessus du piston se trouve un bloc cylindrique en acier, de 254<sup>mm</sup> de hauteur, son poids est de 12 kg. 8. Un canal central traverse le bloc et permet de mettre le feu à l'explosif.

Entre le piston et la plaque d'acier on met un cylindre en plomb doux ; c'est par l'écrasement de ce cylindre qu'on juge de l'énergie de l'explosif.

Par l'explosion, le bloc d'acier est soulevé et le cylindre plomb est refoulé. Les divers degrés de refoulement permettent de comparer entre elles les forces des divers explosifs.

## TROISIÈME PARTIE.

Les Poudres d'amorces.

## LES POUDRES D'AMORCES.

Les poudres d'amorces sont composées de corps qui prennent feu par le choc et la friction. Elles sont destinées à mettre le feu aux charges par l'effet d'une action mécanique.

Ces poudres sont mises en œuvre au moyen d'étoupilles à friction pour la mise à feu des charges des canons; de vis-porte-feu pour l'éclatement des projectiles; de capsules pour les cartouches de fusils.

# SECTION I.

Poudres à base de chlorate de potassium.

---

## CHAPITRE I.

### MATIÈRES PREMIÈRES.

---

#### § 1. — CHLORATE DE POTASSIUM.

Ce sel fut signalé en 1786 par Berthollet; de là vient son nom de  
" sel de Berthollet. "

Composition :  $\text{KClO}_3$ .

Poids moléculaire : 122,5.

**226. Préparation.** — Dans les laboratoires on prépare le chlorate de potassium comme suit : on dissout une partie de potasse caustique dans trois parties d'eau; on y fait barboter un courant de chlore jusqu'à refus.

La première action du chlore est de transformer la potasse caustique en hypochlorite de potassium; mais la chaleur produite par

la réaction augmente de plus en plus; l'hypochlorite, peu stable à cette température, se dédouble et donne du chlorate et du chlorure de potassium.

Ces réactions sont représentées par les formules :



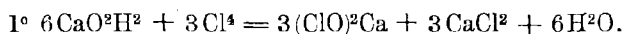
Le chlorate de potassium étant très peu soluble à froid, cristallise pendant le refroidissement en lamelles rhomboïdales. Les cristaux sont enlevés; ils ne sont naturellement pas purs, ils sont souillés de chlorure de potassium. On purifie facilement le chlorate de potassium comme suit :

On le dissout dans le moins d'eau distillée ou de pluie possible à l'ébullition; on laisse refroidir, le chlorate se précipite et les eaux-mères qu'on rejette retiennent la majeure partie du chlorure; s'il est nécessaire, on recommence l'opération.

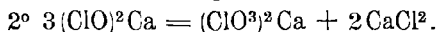
Pendant le passage du chlore, la liqueur se colore souvent en rose, cela résulte de la formation d'un peu de permanganate de potassium; le manganèse provient de l'oxyde de manganèse mêlé à l'acide chlorhydrique dans la fabrication du chlore.

**227. Préparation industrielle.** — L'emploi de la potasse caustique élève beaucoup le prix de revient du chlorate de potassium; dans l'industrie, on fait usage de la chaux caustique, qu'on transforme en hypochlorite de calcium; enfin, le chlorate de calcium est converti en chlorate de potassium par le chlorure de potassium.

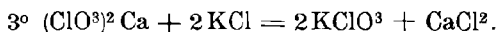
Les différentes phases de la fabrication sont représentées par les formules suivantes :



Le barbotement du chlore dans la chaux délitée donne, d'après cela, naissance à de l'hypochlorite de calcium (vulgairement appelé chlorure de chaux, qui sert comme désinfectant).

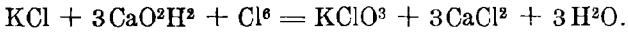


L'hypochlorite de calcium en dissolution n'est stable qu'à la température ordinaire; près du point d'ébullition, il donne du chlorate et du chlorure de calcium.



En mettant en présence du chlorate de calcium et du chlorure de potassium, les deux sels échangent leurs métaux, et il se forme du chlorate de potassium et du chlorure de calcium. Le chlorate cristallise par le refroidissement, vu son peu de solubilité à froid.

Ces trois formules peuvent être condensées comme suit :



Lunge donne la méthode de fabrication suivante, employée en Angleterre : un lait de chaux est placé dans deux cylindres de fer garnis intérieurement de plomb, ou plus simplement, dans des réservoirs en fonte munis d'un agitateur et communiquant ensemble. Le courant de chlore peut être dirigé de telle façon qu'il traverse d'abord le cylindre renfermant la chaux presque saturée ; le chlore qui n'est pas absorbé arrive dans du lait de chaux frais. Dès que le premier cylindre est saturé, on le remplit de nouveau de lait de chaux et l'on renverse le courant de chlore. Les solutions saturées sont additionnées de chlorure de potassium et le liquide est évaporé à la densité de 1,28 ; on abandonne à la cristallisation ; on décante ; les eaux-mères sont concentrées à 1,35 et donnent de nouveaux cristaux au refroidissement. Dans les eaux-mères, il reste environ 6 % de chlorate.

Les divers produits renferment des chlorures de calcium, de fer, de plomb ; on dissout le chlorate brut dans le moins d'eau possible à chaud, on ajoute du carbonate de soude en quantité juste nécessaire, pour précipiter la chaux et le fer sous forme de carbonates qui se déposent ; on décante et on évapore la solution jusqu'à cristallisation. Le chlorure de plomb est éliminé par un peu de sulfure de sodium. Les petits cristaux obtenus sont séchés, les gros sont écrasés entre des rouleaux en bois ; on peut faire cristalliser en agitant de façon à obtenir le chlorate en farine. — Les quantités de matières à mettre en présence sont, d'après la formule :

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| Chlorure de potassium. . . . . | 147 parties. |
| Chaux vive . . . . .           | 369 "        |
| Chlore . . . . .               | 467 "        |

On purifie facilement le chlorate de potassium au point de l'obtenir chimiquement pur, en le dissolvant dans le moins d'eau bouillante possible, on laisse refroidir; le chlorate se précipite, on le recueille et on le lave une ou deux fois avec de l'eau distillée. Le chlorure de calcium est très soluble même dans l'eau froide (400 parties dans 100 parties d'eau froide), tandis que le chlorate l'est très peu.

**228. Propriétés du chlorate de potassium.** — Ce sel cristallise en lamelles transparentes et brillantes du type clinorhombique (5<sup>e</sup> type — prisme oblique rhomboïdal).

Il est inaltérable à l'air; il n'est pas hygroscopique, à moins qu'il ne contienne du chlorure de calcium, qui est excessivement avide d'eau.

La densité est égale à 2,35. Le chlorate est doué d'une saveur salée désagréable.

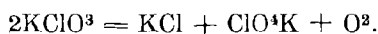
Il est soluble dans l'eau, peu à froid.

100 parties d'eau dissolvent :

| à | 0°     | 3,3   | parties de chlorate. |   |
|---|--------|-------|----------------------|---|
|   | 15°37  | 6,03  | "                    | " |
|   | 20°    | 7,20  | "                    | " |
|   | 24°43  | 8,44  | "                    | " |
|   | 35°02  | 12,05 | "                    | " |
|   | 49°06  | 18,98 | "                    | " |
|   | 50°00  | 19,00 | "                    | " |
|   | 74°39  | 35,40 | "                    | " |
|   | 100°   | 56,00 | "                    | " |
|   | 104°78 | 60,24 | "                    | " |

Il est insoluble dans l'alcool absolu.

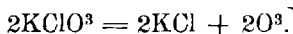
Il fond à 334° c., et décrépite souvent à cause de l'eau interposée dans les cristaux. Chauffé à une température de 352°, il se décompose en chlorure et perchlorate de potassium, et il dégage de l'oxygène :



Une chauffe plus vive décompose à son tour le perchlorate en chlorure et oxygène :  $\text{ClO}_4\text{K} = \text{KCl} + \text{O}_2$ . Par conséquent, une tem-



température suffisante décompose, en dernière analyse, le chlorate en chlorure avec dégagement de tout l'oxygène qu'il renferme :



Dans ces conditions, ce sel fournit 40 % de son poids d'oxygène. Un kilogramme de chlorate fournit 273 litres d'oxygène à 0° c., sous la pression 0,76.

La décomposition du chlorate se fait plus régulièrement et à plus basse température en le mélangeant de bioxyde de manganèse ou d'oxyde de cuivre.

Le chlorure dégage souvent du chlore dans sa décomposition pyrogénée. D'après MM. Spring et Prost, la proportion de chlore dégagé varie beaucoup avec la nature du chlorate et avec les circonstances. Cependant, il est visible qu'elle augmente lorsque le chlorate dérive d'une base relativement faible ; on peut admettre que la production de l'oxygène n'est pas un phénomène immédiat, mais indirect de la décomposition des chlorates. Ces sels se comporteraient alors, sous l'influence de la chaleur, comme le font les carbonates et les azotates, c'est-à-dire, qu'ils se diviseraient d'abord en base et en anhydride, suivant l'équation :



M = métal monovalent.

L'anhydride chlorique se décomposerait aussitôt à son tour en oxygène et en chlore, et celui-ci réagirait avec la base :



Mais la réaction reste incomplète si le chlore est entraîné par la violence de la réaction, ou bien si la base est soustraite à son action, en entrant dans la composition d'un sel sur lequel le chlore n'a plus d'action (Silicate ou phosphate). Enfin, lorsque la base est suffisamment forte ( $\text{K}_2\text{O}$ ) l'anhydride chlorique, non encore isolé, peut s'oxyder davantage et l'on obtient un perchlorate.

L'extrême facilité avec laquelle le chlorate de potassium dégage de l'oxygène, en fait un oxydant très énergique.

Nous allons en donner des preuves :

Voici du chlorate de potassium en poudre ; on le jette sur ce charbon de bois allumé une déflagration extrêmement vive a lieu.

Mélangions ce même sel avec un peu de soufre en poudre, du charbon de bois, du sucre ; frappons une parcelle de ces mélanges sur cette enclume avec un marteau, une détonation violente est le résultat du choc. Cette même expérience réussit, avec toutes les substances combustibles : le soufre, le charbon de bois, les métaux en poudre, les sulfures métalliques, la sciure de bois, les résines, le sucre, le phosphore, etc. ; toutes ces matières mélangées avec le chlorate de potassium font explosion par le choc, la friction ou l'approche d'un corps en ignition.

Voici une curieuse expérience d'explosion spontanée : on a imbibé un papier à filtrer d'une solution saturée de chlorate de potassium et on l'a fait bien sécher ; versons dessus une solution de phosphore dans du sulfure de carbone ; au bout d'une ou deux minutes, une déflagration se manifeste, le sulfure de carbone s'est volatilisé et a abandonné du phosphore dans l'état le plus divisé, son oxydation à l'air est alors très rapide, sa température s'élève, et il s'enflamme spontanément ; mêlé intimement au chlorate, il déflagre.

Le mélange des matières combustibles avec le chlorate de potassium doit se faire avec les plus minutieuses précautions. Tout choc, toute friction peut devenir la cause d'une explosion terrible.

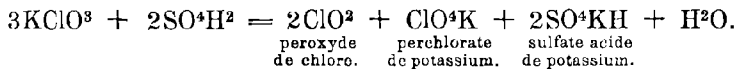
Voici un mortier en porcelaine dans lequel nous jetons un peu de chlorate de potassium en poudre et des traces de soufre ; pulvérisons la masse au moyen d'un pilon : chaque fois que nous touchons un grain de soufre, une petite explosion se fait entendre, avec projection de matière.

Berthollet faillit perdre la vie dans une explosion de poudre chloratée, produite par une fabrication imprudente dans un mortier.

Il est à noter que le chlorate de potassium pur, frappé sur une enclume bien propre, ne détone pas ; si le choc est très violent, on trouve des traces de chlorure de potassium. Mais si l'on place du chlorate de potassium dans un morceau de papier, le choc du marteau produit aussitôt une petite explosion.

L'acide sulfurique concentré, versé sur le chlorate de potassium,

le décompose; il se dégage un gaz verdâtre, du peroxyde de chlore, qui détone par la chaleur à 65° c. Il ne faut pas agir sur de grandes quantités de matière, afin d'éviter une explosion et des projections dangereuses. La décomposition se fait d'après la formule :



Si ce peroxyde de chlore se dégage en présence de matières combustibles, celles-ci s'enflamment immédiatement.

Voici des mélanges de chlorate et de soufre, de chlorate et de sucre; nous laissons tomber dessus une goutte d'acide sulfurique concentré, l'inflammation se fait aussitôt. Nous pouvons du reste montrer le dégagement abondant de peroxyde de chlore et son effet sur une matière combustible, sans danger d'explosion.

Dans ce verre à expériences, on a versé une solution chaude saturée de chlorate; le refroidissement s'est opéré, et du sel s'est déposé au fond du vase. Jetons dans ce liquide de petits fragments de phosphore et introduisons dans le verre un entonnoir à longue tige; versons avec prudence dans l'entonnoir une dizaine de gouttes d'acide sulfurique concentré qui vient bientôt se mélanger avec le sel solide; celui-ci se décompose, des bulles gazeuses s'échappent avec un bruit sourd et des jets de flammes jaillissent dans l'eau : cela est dû à la combustion du phosphore au contact du peroxyde de chlore.

La propriété que possède l'acide sulfurique d'enflammer les poudres à base de chlorate a souvent été mise à profit comme mise à feu dans des amorces. Souvent les bombes servant à des mains criminelles renferment de la poudre au chlorate au milieu de laquelle sont enfouis des tubes de verre scellés à la lampe et remplis d'acide sulfurique; la chute de ces engins sur le sol provoque la rupture d'un des tubes et l'explosion de la charge. La bombe qui tua l'empereur Alexandre I<sup>er</sup> était amorcée de cette façon.

#### *Essais du chlorate de potassium.*

**229. Recherche du chlorure de calcium.** — L'impureté principale qui souille le chlorate de potassium est le chlorure de calcium,

corps très hygroscopique. On recherche le chlorure au moyen de l'azotate d'argent et le calcium par l'oxalate d'ammonium qui donne un précipité blanc.

Le dosage du chlorure se fera par voie de précipitation ou par voie volumétrique exactement comme pour le salpêtre (nos 55 et 56).

L'analyse qualitative est du reste suffisante, la tolérance pour le chlorure de calcium est nulle.

**230. Recherche du salpêtre.** — On falsifie souvent le chlorate au moyen du salpêtre; pour déceler la présence de ce sel, on fera usage de l'oxalate de brucine. Voici comment on prépare ce réactif : on dissout dans 100 parties d'alcool à 90°, une partie de brucine et deux parties d'acide oxalique. On verse quelques gouttes de ce réactif sur un peu de sel suspect placé dans une capsule de porcelaine; on évapore au bain-marie. La moindre trace de salpêtre fait naître une coloration rouge intense.

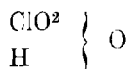
**231. Dosage du chlorate.** — On dissout 10 grammes de chlorate de potassium dans 200 parties d'eau distillée; on divise le liquide en deux parties égales. Dans la première, on dose les chlorures; dans la seconde, on verse 150 cc. d'une solution saturée d'acide sulfureux fraîchement fabriquée. On chauffe doucement, puis on porte à l'ébullition pour chasser l'excès d'acide sulfureux. Par l'action de ce gaz, le chlorate de potassium s'est réduit et transformé en chlorure. On ajoute de l'eau distillée pour faire 250 cc., dont on prélève 10 cc., dans lesquels on dose le chlore par voie volumétrique. Il faudra ensuite retrancher le chlorure qui constituait l'impureté.

On peut encore, pour le dosage, décomposer le chlorate en chlorure par la calcination.

#### *Chlorate d'ammonium.*

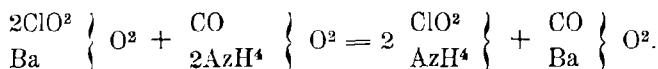
**232.** — C'est un sel blanc qui cristallise en fines aiguilles; il est très soluble dans l'eau et l'alcool, de saveur piquante. Projeté sur une plaque chaude, il fait explosion en donnant une flamme rouge. La décomposition de ce corps se fait même quelquefois spontanément avec beaucoup de violence; il se produit du chlore, de l'azote, de l'eau, de l'acide hypoazotique. La solution aqueuse se décompose pendant l'ébullition avec dégagement de chlore et d'azote.

Ce corps se prépare : 1° Directement par l'action de l'acide



sur l'ammoniaque ou le carbonate d'ammonium.

2° Par double échange :



## § 2. — SULFURE D'ANTIMOINE.

*Composition*  $\text{Sb}^2\text{S}^3$ . — *Poids moléculaire* : 340.

**233.** On trouve ce corps en filons en Angleterre, en Saxe, en Suède, dans le Harz, en Sibérie, en France (Puy-du-Dôme, Arriège, Gard, Vendée). Il est nommé *stibine* ou antimoine cru. Il se rencontre dans les terrains anciens en masses cristallines formées de prismes orthorhombiques.

La densité de ce sulfure est égale à 4,64. Lorsqu'on le chauffe au rouge, il fond en abandonnant sa gangue; c'est ainsi qu'on le purifie; il se nomme alors *antimoine cru* : celui-ci se présente sous la forme de masses aiguillées brillantes, de couleur noir-bleu, très cassantes et rudes au toucher.

Il renferme souvent du sulfure d'arsenic.

Lorsqu'on chauffe le sulfure d'antimoine en présence d'une source d'oxygène, les deux éléments qui le constituent s'oxydent. Son caractère de rugosité le fait choisir comme élément constitutif des poudres pour étoupilles : le frottement du fricteur est ainsi accentué et l'élévation de température par l'action mécanique est bien assurée.

### *Essais du sulfure d'antimoine.*

**234.** Ce corps renferme souvent du sulfure d'arsenic, dont il doit être absolument exempt pour les usages pyrotechniques.

On réduit le sulfure d'antimoine en poudre fine, on le laisse macérer 12 heures dans de l'ammoniaque; on filtre, et on additionne le

liquide limpide d'acide chlorhydrique en excès. Le sulfure d'arsenic dissout dans l'ammoniaque se précipite.

On peut aussi évaporer la solution ammoniacale de sulfure d'arsenic, il reste alors ce dernier comme résidu. Il est vrai que du sulfure d'antimoine se dissout; on reprendra le résidu par un peu d'acide chlorhydrique, qui dissout le sulfure d'antimoine et non le sulfure d'arsenic.

Voici une autre méthode qui donne de bons résultats : on mélange intimement 20 gr. de sulfure d'antimoine en poudre fine avec 40 gr. d'azotate de sodium et 20 gr. de carbonate de sodium. On jette cette masse peu à peu dans un creuset chauffé au rouge vif. On reprend par l'eau, on filtre, on additionne le liquide d'acide chlorhydrique, et on précipite par l'hydrogène sulfuré. Le sulfure d'arsenic qui se dépose est mêlé d'un peu de sulfure d'antimoine. On fera digérer, à chaud, la masse humide avec du carbonate d'ammoniaque; on filtre, on acidule le liquide filtré, et on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré. On obtient ainsi le sulfure d'arsenic que l'on pèse.

On peut évidemment essayer une petite quantité de la masse blanche retirée du creuset à l'appareil de Marsh, en observant qu'ici les taches seront mixtes.

**235. Galène.** — Ce corps, qui est le sulfure de plomb naturel, sert souvent à falsifier la stibine en poudre. On dissout celle-ci dans l'acide chlorhydrique; le résidu contient la galène. On le lave à l'eau, on le reprend par de l'acide azotique étendu qui dissout en partie la galène, sous forme de nitrate de plomb. On étend d'eau, on filtre, et on recherche le plomb par les réactifs de ce métal.

**236. Sulfure de fer.** — Il sert aussi à falsifier la stibine. Dans la solution chlorhydrique précédente filtrée qui contient le fer, on recherche celui-ci par ses réactifs spéciaux.

**237. Graphite.** — S'il reste un résidu après l'attaque par l'acide chlorhydrique et l'acide nitrique, c'est du graphite.

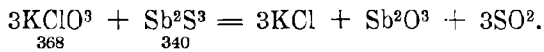
**238. Bioxyde de manganèse.** — On fond un peu de poudre métallique avec un mélange de potasse caustique et de salpêtre sur un tesson de porcelaine. Il se forme du manganate vert de potassium, facile à reconnaître à sa couleur.

## CHAPITRE II.

### FABRICATION DE LA POUDRE MURIATIQUE POUR ÉTOUPILLES ET VIS PORTE-FEU.

**239.** On fait un mélange de parties égales de chlorate de potassium et de sulfure d'antimoine.

La réaction qui a lieu entre les deux substances soit par la chaleur, soit par le choc est la suivante :



**240.** Afin de diminuer le danger de la fabrication, on mouille les matières avec de l'alcool gommé; on mélange  $\frac{1}{2}$  litre d'alcool à 90° et  $\frac{1}{2}$  litre d'eau de pluie dans laquelle on a fait préalablement dissoudre 30 gr. de gomme arabique. La gomme sert de liant et l'alcool active la dessiccation ultérieure de la poudre.

On place 10 grammes de chlorate de potassium en poudre sur une table de marbre, on humecte d'alcool gommé et on triture au moyen d'un rouleau en bois; on ajoute ensuite 10 grammes de sulfure d'antimoine avec une nouvelle portion d'alcool gommé, et on mélange intimement et avec prudence; la consistance de la pâte doit être celle du mastic de vitrier. Ordinairement, l'opérateur porte un masque en fil de fer et des gants épais.

On charge les petits tubes des étoupilles au moyen de la mixture humide; celle-ci est étendue, sous une épaisseur donnée, sur un carreau de verre ou un marbre; l'ouvrier enfonce le petit tube dans la composition, qui ne doit le remplir qu'aux deux tiers. L'étoupille achevée est desséchée pendant 18 heures.

*Poudres d'amorces pour capsules de cartouches de fusils  
(Mauser).*

241. — Ces mélanges sont faits en proportions variables :

|                                 |                  |
|---------------------------------|------------------|
| Chlorate de potassium . . . . . | 15 parties.      |
| Sulfure d'antimoine . . . . .   | 13 "             |
| Soufre . . . . .                | 1 "              |
| Pulvérin . . . . .              | 1 "              |
| Fulminate de mercure . . . . .  | $\frac{1}{10}$ " |

On triture sur une table de marbre au moyen d'un rouleau de bois, d'abord le chlorate de potassium, auquel on ajoute ensuite une dissolution de gomme adragante dans l'alcool. Après 15 minutes, on ajoute le sulfure d'antimoine qu'on triture 15 minutes; puis le soufre, on triture 15 minutes, et enfin le pulvérin, on triture encore 15 minutes. L'opération totale dure donc une heure.

On charge les capsules de cette mixture; le poids d'une pastille est de 0<sup>er</sup>055.

Cette poudre a remplacé le fulminate de mercure.

L'inflammation doit se faire ici par le choc de l'aiguille contre le fond de la capsule; la matière est écrasée contre l'enclumette ou téton de la cartouche, d'où naît une friction des éléments de la poudre entre eux.

L'addition d'un peu de soufre est utile, parce que ses cristaux assez durs augmentent la rugosité de la masse. Les ratés sont diminués.

*Composition pour capsules fulminantes des vis porte-feu  
(modification).*

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| Chlorate de potassium . . . . . | 1 partie. |
| Sulfure d'antimoine. . . . .    | 1 "       |
| Fulminate de mercure. . . . .   | 0,5 "     |



**242. Compositions fulminantes diverses. —**

|    |   |            |
|----|---|------------|
| 1° | Chlorate de potassium . . . . .                                   | 4 parties. |
|    | Sulfure d'antimoine. . . . .                                      | 2 "        |
|    | Soufre . . . . .  | 1 "        |
| 2° | Chlorate de potassium . . . . .                                   | 5 "        |
|    | Sulfure d'antimoine. . . . .                                      | 4 "        |
| 3° | Chlorate de potassium . . . . .                                   | 16 "       |
|    | Sulfure d'antimoine. . . . .                                      | 8 "        |
|    | Soufre en fleurs . . . . .  | 4 "        |
|    | Poussière de charbon humectée d'eau<br>gommée et sucrée . . . . . | 1 "        |

On ajoute au mélange 5 gouttes d'acide nitrique, on broie et on sèche.

*4° Amorces pour jouets d'enfants :*

|                                | Simple. | Double (plus sensibles). |
|--------------------------------|---------|--------------------------|
| Chlorate de potassium. . . . . | 12      | 9                        |
| Phosphore amorphe . . . . .    | 6       | 1                        |
| Oxyde de plomb. . . . .        | 12      | "                        |
| Résiné . . . . .               | 1       | "                        |
| Sulfure d'antimoine . . . . .  | "       | 1                        |
| Soufre sublimé . . . . .       | "       | 0,25                     |
| Salpêtre . . . . .             | "       | 0,25                     |

Les pastilles sont de 0<sup>m</sup>01.

*5° Amorce Armstrong.* — Mélange de chlorate de potassium et de phosphore rouge.

*6° Détonateurs Abel :*

|                                    |    |    |
|------------------------------------|----|----|
| Chlorate de potassium. . . . .     | 16 | 64 |
| Sous-sulfure de cuivre. . . . .    | 28 | 14 |
| Sous-phosphure de cuivre . . . . . | 56 | 22 |

*7° Détonateur Augendre (électrique pour tensions moyennes) :*

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Chlorate de potassium. . . . .        | 41,46 |
| Ferrocyanure de potassium . . . . .   | 25,00 |
| Sucre en poudre . . . . .             | 20,84 |
| Charbon de cornue en poudre . . . . . | 12,50 |

8° *Détonateurs pour fusils :*

|                        |    |     |     |      |     |      |
|------------------------|----|-----|-----|------|-----|------|
| Fulminate de mercure . | 70 | 100 | 100 | 100  | 109 | 100  |
| Chlorate de potassium. | 30 | "   | "   | "    | "   | "    |
| Nitrate de potassium . | "  | 50  | "   | "    | "   | "    |
| Pulvérin . . . . .     | "  | "   | 60  | "    | "   | "    |
| Nitre . . . . .        | "  | "   | "   | 62,5 | 117 | 45,5 |
| Soufre . . . . .       | "  | "   | "   | 29   | 23  | 14,5 |

9° *Détonateur anglais* (fusées Boxer et à temps) :

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Chlorate de potassium. . . . . | 6 |
| Sulfure d'antimoine . . . . .  | 4 |
| Fulminate de mercure. . . . .  | 4 |

On humecte avec une solution de gomme laque dans l'alcool.

10° *Fusée à percussion anglaise :*

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Fulminate de mercure. . . . .  | 6 |
| Chlorate de potassium. . . . . | 6 |
| Sulfure d'antimoine . . . . .  | 4 |

11° *Amorce Abel :*

Mélange de chlorate de potassium et de coton-poudre.

## CHAPITRE III.

### GÉNÉRALITÉS SUR LES POUDRES AU CHLORATE DE POTASSIUM.

**243.** — Les poudres au chlorate de potassium sont caractérisées par une inflammation plus facile que les poudres au nitrate, leur vivacité est extrêmement grande, et elles font explosion par le choc modéré et par la friction.

Le chlorate de potassium renferme 40 % en poids d'oxygène ; le nitrate de potassium, 47 % en poids de ce même gaz ; l'avantage semble donc être en faveur du dernier sel. Mais le chlorate dégage son oxygène avec bien plus de facilité que le nitrate ; la température de sa décomposition pyrogénée est relativement basse et le dégagement gazeux presque subit. Il résulte de là que la combustion des éléments oxydables de la poudre se fait avec une très grande rapidité ; toute la chaleur produite par la réaction sert presque exclusivement à chauffer les gaz et à augmenter leur volume, sans que cette chaleur puisse se perdre en quantité notable par refroidissement au contact de l'air ou des parois de l'enceinte dans laquelle la poudre est renfermée. Des poudres brûlant lentement, au contraire, perdent beaucoup de leur chaleur par contact et leurs effets brisants sont moindres.

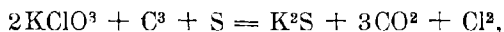
Les poudres au chlorate se distinguent donc des poudres au nitrate par une combustion très rapide de la charge, un dégagement de chaleur utile énorme et des pressions initiales, presque instantanées, très considérables.

#### **244. Poudre de Berthollet. —**

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| Chlorate de potassium . . . . . | 75,00 |
| Soufre . . . . .                | 12,50 |
| Charbon de bois. . . . .        | 12,50 |

Elle a, comme on le voit, la même composition centésimale que la poudre de guerre.

L'équation de réaction entre ses trois éléments peut être représentée par :



qui correspond théoriquement à la composition :

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| Chlorate de potassium. . . . . | 78,28  |
| Soufre . . . . .               | 11,50  |
| Carbone . . . . .              | 10,22  |
|                                | <hr/>  |
|                                | 100,00 |

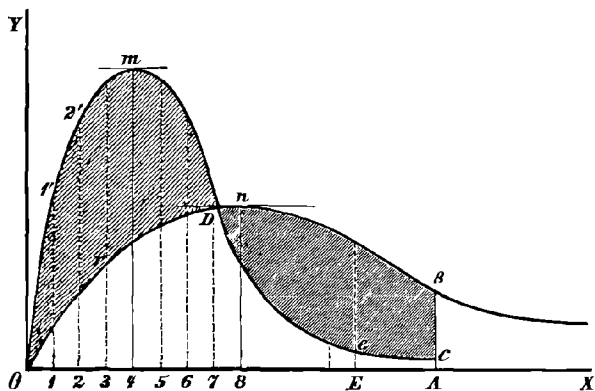
La composition des produits de l'explosion d'une poudre a une grande influence sur sa nature brisante. Il faut tenir compte des phénomènes de dissociation qui se manifestent à la suite de la haute température qui se produit. On peut admettre qu'à la température maximum de l'explosion, tous les produits sont réduits en leurs éléments. Cette dissociation ne peut se faire que par l'absorption d'une partie de la chaleur produite. Si les produits de l'explosion d'une poudre sont d'une composition complexe, comme c'est le cas pour la poudre noire ordinaire, une grande partie de la chaleur sera utilisée non à élever la température des gaz et à augmenter leur volume, mais à effectuer le travail de désagrégation des molécules complexes. Il résulte de là, dans le principe, une diminution dans les tensions en vase clos. Pendant le refroidissement, les atomes séparés se recombinent avec mise en liberté de chaleur, laquelle sert alors à empêcher une chute rapide des pressions.

Si, au contraire, les produits de l'explosion sont simples et très stables, ils éprouvent les phénomènes de dissociation à une température plus haute et d'une façon moins marquée que les combinaisons plus complexes. Presque toute la chaleur dégagée sert dans ce cas à la dilatation brusque des gaz et à l'augmentation presque instantanée des pressions, la chute de celles-ci sera également très rapide, n'étant pas ralentie par des restitutions successives de chaleur.

Il en est ainsi des poudres aux chlorates et cela explique leur caractère brisant.

Les courbes des pressions donnent une idée exacte des effets plus ou moins brisants des poudres et de leur emploi rationnel dans les armes à feu.

Prenons deux axes rectangulaires OX et OY. Sur l'axe des X portons une longueur OA égale à la longueur de l'arme à feu et



divisons-la en un certain nombre de parties égales O-1, 1-2, 2-3, etc. Élevons en ces points des ordonnées 1-1', 2-2', 4-m, etc., dont les longueurs sont proportionnelles aux pressions exercées au moment où le projectile passe aux points 1, 2, 3, ... etc. Si nous réunissons les extrémités de ces ordonnées, on obtient une courbe O1'2'mDec, applicable, par exemple, à une poudre au chlorate de potassium. La courbe Ornβ est applicable, je suppose, à une poudre au nitrate de potassium. La comparaison de ces deux courbes permet de juger de l'effet destructeur de l'explosif, sur l'arme dans laquelle elle fait explosion.

On constate que la pression maximum 4-m, pour la poudre chloratée, a une valeur très élevée à peine le projectile mis en marche et que la chute des pressions est très rapide. Dans la courbe ODnβ, au contraire, la pression maximum 8n est plus faible, la pression initiale monte graduellement et lentement jusqu'en n et descend progressivement jusqu'en β. L'expérience apprend qu'une

pression modérée qui agit pendant un temps très long a un effet nuisible moindre qu'une pression violente presque instantanée. Le premier cas représente l'effet d'une force lentement appliquée, l'autre celui du choc brusque.

Il est à remarquer que l'aire comprise entre les deux courbes et l'axe des X représente le travail total exercé par les deux explosifs dans la même arme à feu.

La surface  $O1'2'mDcA8O$  vaut  $\int_0^{OA} y dx = \int_0^{OA} p. dx = W$ .

La surface  $OrDn\beta A8O$  vaut  $\int_0^{OA} y' dx = \int_0^{OA} p' dx = W'$ .

Il peut arriver que  $W > W'$ ;  $W = W'$ ;  $W < W'$ .

On remarque que les deux aires ont une partie commune  $OrDcAO$ ; leur différence dépend donc des surfaces curvilignes  $OmD$  et  $D\beta c$  que nous avons hachurées. Il peut très bien se faire que l'effet utile des deux explosifs soit le même quoique les effets destructeurs sur l'arme soient très différents. Le choix de la poudre dépend de la longueur de l'arme. Si celle-ci est courte et se termine en E, le travail de la poudre vive sera plus considérable que celui de la poudre lente sur le projectile, et si les parois de l'arme n'ont rien à craindre de la vivacité de la poudre, l'explosif le plus brisant sera le plus avantageux.

Si l'arme est longue, comme dans les bouches à feu, l'effet utile de la poudre lente peut dépasser celui de la poudre vive avec un effet nuisible beaucoup moindre. Telle est la justification de l'emploi des poudres vives dans les armes courtes : pistolets, revolvers, fusils, et de poudres d'autant plus lentes que la longueur et le calibre des canons augmentent.

*Poudres au chlorate à combustion complète.*

**245. I. Chlorate et carbone.** — La formule suivante permet de calculer les proportions de ce mélange avec la condition de donner comme produits de l'explosion des corps à leur maximum d'oxydation :



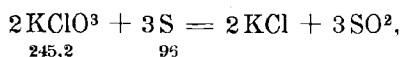
Le calcul des poids atomiques indique les proportions :

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| Chlorate de potassium . . . . . | 87,20  |
| Carbone. . . . .                | 12,80  |
|                                 | <hr/>  |
|                                 | 100,00 |

*Force du mélange :*

|          |   |         |                 |
|----------|---|---------|-----------------|
| $\omega$ | = | 281     | grammes.        |
| $Q_{mp}$ | = | 302,8   | calories.       |
| $Q_{mv}$ | = | 304,5   | id.             |
| $Q_{kp}$ | = | 1077,5  | id.             |
| $Q_{kv}$ | = | 1083,7  | id.             |
| $W$      | = | 460572  | kilogrammètres. |
| $V_m$    | = | 66,960  | litres.         |
| $V_k$    | = | 238,29  | litres.         |
| $t$      | = | 3602°,0 |                 |
| $f$      | = | 3507    | kilogrammes.    |
| $\alpha$ | = | 0,238   |                 |

**246. II. Chlorate de potassium et soufre.**



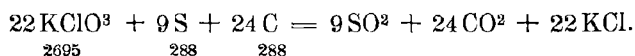
ce qui donne :

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| Chlorate de potassium . . . . . | 71,90  |
| Soufre . . . . .                | 28,10  |
|                                 | <hr/>  |
|                                 | 100,00 |

*Force du mélange :*

|          |   |               |  |          |   |                |
|----------|---|---------------|--|----------|---|----------------|
| $\omega$ | = | 341           |  | $V_k$    | = | 196,36 litres. |
| $Q_{mp}$ | = | 228,4         |  | $W$      | = | 286747         |
| $Q_{mv}$ | = | 230,1         |  | $t$      | = | 2966°          |
| $Q_{kp}$ | = | 669,8         |  | $f$      | = | 2406 kg.       |
| $Q_{kv}$ | = | 674,7         |  | $\alpha$ | = | 0,196          |
| $V_m$    | = | 66,96 litres. |  |          |   |                |

**247. III. Chlorate de potassium, soufre, carbone.**



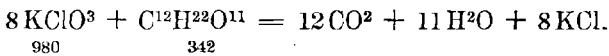
Le calcul indique :

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| Chlorate de potassium . . . . . | 82,40 |
| Soufre . . . . .                | 8,80  |
| Carbone. . . . .                | 8,80  |

*Force du mélange :*

|                   |  |                  |
|-------------------|--|------------------|
| $\omega$ = 3271   |  | $V_m$ = 736,56   |
| $Q_{mp}$ = 3107,6 |  | $V_k$ = 225,17   |
| $Q_{mv}$ = 3126,5 |  | $t$ = 3436°      |
| $Q_{kp}$ = 950    |  | $f$ = 3173,4     |
| $Q_{kv}$ = 955,8  |  | $\alpha$ = 0,225 |
| $W$ = 406223      |  |                  |

**248. IV. Chlorate et sucre.**



ce qui donne :

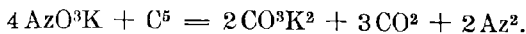
|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| Chlorate de potassium . . . . . | 74,20 |
| Sucre . . . . .                 | 25,80 |

*Force du mélange :*

|                   |  |                  |
|-------------------|--|------------------|
| $\omega$ = 1322   |  | $V_m$ = 513,36   |
| $Q_{mp}$ = 1499,4 |  | $V_k$ = 388,32   |
| $Q_{mv}$ = 1512,5 |  | $t$ = 3292°      |
| $Q_{kp}$ = 1133,4 |  | $f$ = 1436,18    |
| $Q_{kv}$ = 1144,5 |  | $\alpha$ = 0,388 |
| $W$ = 486408      |  |                  |

Si l'on compare les résultats fournis par les poudres aux nitrates avec ceux donnés par les poudres aux chlorates, on a :

**249. Poudre au nitrate et au charbon. —**



|                  |
|------------------|
| $\omega$ = 464,4 |
| $Q_{mp}$ = 362,8 |
| $Q_{mv}$ = 365,6 |

Pour la poudre au chlorate :

”  
”



|          |   |        |        |
|----------|---|--------|--------|
| $Q_{kp}$ | = | 781,2  | 1077,6 |
| $Q_{kv}$ | = | 787,3  | 1083,7 |
| $W$      | = | 334602 | 460572 |
| $V_m$    | = | 111,6  | "      |
| $V_k$    | = | 240,3  | 238,3  |
| $f$      | = | 1166,9 | 3507,3 |
| $\alpha$ | = | 0,240  | 0,238  |

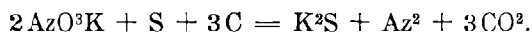
**250. Poudre au nitrate et au soufre. —**



Pour la poudre au chlorate :

|          |   |         |        |
|----------|---|---------|--------|
| $\omega$ | = | 266,2   |        |
| $Q_{mp}$ | = | 174,000 |        |
| $Q_{mv}$ | = | 175,144 |        |
| $Q_{kp}$ | = | 653,640 | 669,8  |
| $Q_{kv}$ | = | 657,94  | 674,7  |
| $W$      | = | 279623  | 286747 |
| $V_m$    | = | 44,640  | "      |
| $V_k$    | = | 167,690 | 196,36 |
| $f$      | = | 3498,2  | 2406   |
| $\alpha$ | = | 0,167   | 0,196  |

**251. Poudre au nitrate, soufre, carbone. —**



Pour la poudre au chlorate :

|          |   |        |        |
|----------|---|--------|--------|
| $\omega$ | = | 270,2  |        |
| $Q_{mp}$ | = | 146,8  |        |
| $Q_{mv}$ | = | 148,9  |        |
| $Q_{kp}$ | = | 543,3  | 950    |
| $Q_{kv}$ | = | 551,4  | 955,8  |
| $W$      | = | 234334 | 406223 |
| $V_m$    | = | 89,28  | "      |
| $V_k$    | = | 330,42 | 225,17 |
| $f$      | = | 844,44 | 3173   |
| $\alpha$ | = | 0,330  | 0,225  |

On constate en examinant ces chiffres que les poudres au chlorate

sont beaucoup plus énergiques que les poudres correspondantes aux nitrates.

*Poudres à base de chlorate et de nitrates  
(mines et ruptures).*

*252. Poudre de Berthollet.*

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Chlorate de potasse . . . . . | 75   |
| Soufre . . . . .              | 12,5 |
| Charbon de bois . . . . .     | 12,5 |

*Poudre Kellow et Short.*

|                                |    |    |    |
|--------------------------------|----|----|----|
| Salpêtre sodique . . . . .     | 30 | 36 | 10 |
| "    potassique. . . . .       | 8  | 4  | 20 |
| Chlorate de potassium. . . . . | 12 | 6  | 10 |
| Fleur de soufre . . . . .      | 10 | 10 | "  |
| Tannée . . . . .               | 46 | 50 | 46 |

*Poudres blanches.*

|                               | d'Augendre. | de Pohl. |
|-------------------------------|-------------|----------|
| Chlorate de potasse . . . . . | 2           | 3        |
| Sucre blanc . . . . .         | 2           | 1        |
| Prussiate jaune . . . . .     | 1           | 1        |

*Poudre de Knaffl.*

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Chlorate de potasse . . . . . | 46 |
| Salpêtre . . . . .            | 26 |
| Soufre . . . . .              | 15 |
| Ulmate d'ammonium . . . . .   | 10 |

*Asphaline.*

|  |    |
|--|----|
| Chlorate de potasse . . . . .            | 54 |
| Son. . . . .                             | 42 |
| Salpêtre et sulfate de potasse . . . . . | 4  |

*Poudre de Hafenegger.*

|                              |      |   |      |      |   |      |
|------------------------------|------|---|------|------|---|------|
| 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 . . . . .    | "    | 1 | 1    | "    | " | "    |
| Sucre . . . . .              | "    | 1 | 1    | 4    | 1 | "    |

*Poudre de Callou.*

Chlorate de potassium.  
Orpiment.

*Poudres de Spence.*

|                               | Artillerie. |                | Armes portatives. |                |
|-------------------------------|-------------|----------------|-------------------|----------------|
| Chlorate de potasse. . . . .  | 20          | 10             | 10                | 10             |
| Houille . . . . .             | 2           | $\frac{3}{4}$  | 1                 | $\frac{5}{4}$  |
| Bicarbonat de soude . . . . . | 3-4         | 3-4            | —                 | $\frac{3}{4}$  |
| Sciure de bois . . . . .      | 7           | $3\frac{1}{2}$ | —                 | —              |
| Charbon de bois. . . . .      | 2           | 1              | 2-3               | $\frac{1}{4}$  |
| Farine de froment . . . . .   | —           | —              | 2                 | $2\frac{1}{2}$ |
| Salpêtre potassique. . . . .  | —           | —              | —                 | $\frac{1}{4}$  |

*Poudres d'Erhardt.*

|                          | Artillerie. | Mines. | Bombes. |
|--------------------------|-------------|--------|---------|
| Chlorate potassique.     | 1           | 1      | 1       |
| Salpêtre id.             | 1           | 1      | "       |
| Charbon de bois. . . . . | "           | 4      | "       |
| Tannin ou cachou.        | 1           | 2      | 1       |

*Poudre à double effet (Turpin).*

Mélange de chlorate et de goudron; on ajoute des proportions variables d'oxydes moins énergiques que le chlorate, tels que salpêtre, nitrate de plomb, bioxyde de manganèse.

Le goudron, par sa plasticité, diminue la sensibilité au choc. Ces poudres peuvent détoner par la capsule au fulminate de mercure ou subir la décomposition normale des poudres; de là le nom de poudres à double effet.

Ces poudres réalisent un progrès sur les poudres analogues au chlorate. Les effets sous l'influence de la capsule sont moindres que pour la dynamite, mais ils sont encore importants.

*Poudre Le Maréchal.*

|                          |    |
|--------------------------|----|
| Acide stéarique. . . . . | 16 |
| Chlorate K. . . . .      | 84 |

*Poudre Vril.*

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| KClO <sup>3</sup> . . . . .  | 48     |
| AzO <sup>3</sup> K . . . . . | 24,3   |
| Ferrocyanure . . . . .       | 9,1    |
| Charbon de bois . . . . .    | 11,6   |
| Paraffine. . . . .           | 6,5    |
| Oxyde de fer . . . . .       | 0,5    |
|                              | <hr/>  |
|                              | 100,00 |

*Poudre de Hahn.*

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Chlorate de potasse . . . . . | 367,5 |
| Sulfure d'antimoine . . . . . | 168,5 |
| Charbon. . . . .              | 18,0  |
| Blanc de baleine . . . . .    | 46    |

*Poudre Horsley.*

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Chlorate de potasse . . . . .    | 9 |
| Noix de galle en poudre. . . . . | 3 |

*Poudre Scharp et Smith.*

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Chlorate . . . . .             | 2 |
| Salpêtre . . . . .             | 2 |
| Soufre. . . . .                | 2 |
| Bitartrate de potasse. . . . . | 1 |
| Ferricyanure id. . . . .       | 1 |

*Poudre de Fenton.*

|  |    |
|--|----|
| Chlorate de potassium . . . . .        | 16 |
| Sucre. . . . .                         | 4  |
| Prussiate jaune de potassium . . . . . | 4  |

*Poudre Siemens.*

- Chlorate.
- Salpêtre.
- Paraffine ou poix ou asphalte

*Papier poudre Melland* (fusils).

|                            |                |   |
|----------------------------|----------------|---|
| Chlorate . . . . .         | 9              | } Faire bouillir pendant 1 heure dans<br>79 p. d'eau; on plonge dans la liqueur<br>du papier non collé qu'on enroule en<br>forme de cartouche et qu'on sèche; on<br>revêt d'une dissolution de 1 de xyloi-<br>dine dans 3 p. acide acétique.<br>Encrasse peu les armes. |
| Salpêtre . . . . .         | 4,5            |   |
| Prussiate jaune K. . . . . | 3,25           |   |
| Charbon de bois. . . . .   | 3,25           |   |
| Amidon . . . . .           | $\frac{1}{21}$ |   |
| Chromate K. . . . .        | $\frac{1}{16}$ |   |

*Poudre de Nisser.*

|                                   |      |       |
|-----------------------------------|------|-------|
| Chlorate ou perchlorate. . . . .  | 10,5 | 15,75 |
| Prussiate jaune ou rouge. . . . . | 1,5  | 2,25  |
| Salpêtre K ou Na. . . . .         | 44,5 | 55,50 |
| Substance photogène. . . . .      | 6,5  | 10,00 |
| Houille . . . . .                 | 19,5 | 4,75  |
| Soufre . . . . .                  | 15,5 | 9,50  |

*Rackaroch* (Devine), grande puissance.

|  |   |   |                    |
|--|---|---|--------------------|
| 1° Chlorate de potasse. . . . .                          | 3 | 4 | mélanger au moment |
| Nitrobenzol . . . . .                                    |   | 1 | de s'en servir.    |
| 2° Chlorate pulvérisé fin. . . . .                       | 4 | 5 | 4,5                |
| Nitrobenzine à 20° B. . . . .                            | 1 | 0 | 1,00               |
| Soufre pulvérisé. . . . .                                |   |   | 0,08               |
| 3° Chlorate . . . . .                                    |   |   | 3,54               |
| Huile de goudron et sulfure de carbone à 21° B . . . . . |   |   | 1                  |

## CHAPITRE IV.

### ANALYSE DES MÉLANGES PYROTECHNIQUES.

**253. Essai qualitatif.** — On commence par enflammer une petite quantité de la matière. La couleur de la flamme indiquera la présence de certaines bases colorantes. Les sels de sodium donnent une couleur jaune intense; le potassium colore la flamme en violet; le baryum en vert; le strontium en rouge; le calcium en rose; le cuivre en bleu, etc. etc. Lorsque les couleurs sont mélangées, on s'aide du spectroscope ou de milieux colorés. On peut faire usage de verres de couleur, d'une dissolution d'indigo, etc.; ils éteignent la coloration produite par l'un des métaux. Un mélange de sel sodique et de sel potassique donne dans la flamme du bec Bunsen une lumière jaune qui masque la couleur violette due au potassium; mais, si l'on examine cette flamme à travers un verre de cobalt bleu foncé ou une dissolution d'indigo, la lumière jaune est éteinte et la flamme violette apparaît.

On fait ordinairement usage de 4 verres : un bleu, un violet, un rouge et un vert.

Le choc fait éclater avec violence les mixtures chloratées; celles-ci s'enflamment par le contact d'une goutte d'acide sulfurique concentré. Cependant les mélanges renfermant du fulminate de mercure jouissent des mêmes propriétés.

1° On lave à l'eau distillée froide une certaine quantité de la matière, puis on évapore à sec le liquide filtré. On chauffe une partie du résidu sur une lame de platine; s'il y a déflagration, il y a, outre l'azotate et le chlorate, des matières combustibles solubles

dans l'eau, comme la dextrine, la gomme, le sucre, le tannin, etc., qui servent de liants.

Si le résidu fond sans combustion, il n'y a que des azotates et des chlorates. On essayera une partie dissoute par le nitrate d'argent; si rien ne se passe, on calcine un peu de résidu salin et on fait un nouvel essai avec le nitrate d'argent; s'il y a précipité, le sel était du chlorate; si rien ne se présente, le sel était un nitrate. On essayera une portion de ce sel au moyen de l'oxalate de brucine (n° 61), afin de pouvoir qualifier le mélange des deux sels.

Il est à remarquer que le mélange de salpêtre et de chlorate précipite souvent par le nitrate d'argent à cause des impuretés que ces sels contiennent. On se contente parfois de toucher le sel avec une goutte d'acide sulfurique, ce qui provoque un dégagement de peroxyde de chlore dans le cas de la présence du chlorate.

Si le mélange renferme des picrates (nos 430 et suivants) la solution est jaune, d'un goût très amer; elle devient rouge par son ébullition avec une solution de cyanure de potassium. On sait encore que la solution aqueuse d'acide picrique ou de picrates a un pouvoir tinctorial très prononcé; la laine s'y teint sans mordant. On peut donc tremper dans la solution jaune un fil de laine pendant quelques minutes; la laine se teint en jaune vif qui vire au rouge dans le cyanure de potassium.

On fait beaucoup usage dans les mélanges pyrotechniques de sulfate de cuivre, de nitrate de plomb, de sel marin, etc., qui passent dans la solution aqueuse; on en fera la recherche par les méthodes générales de l'analyse qualitative.

2° Le résidu resté sur le filtre est lavé à l'eau bouillante qui enlève le fulminate de mercure que l'on recueille après le refroidissement du liquide. Le filtre est séché à l'étuve, puis le résidu est lavé à l'alcool concentré qui dissout les résines qu'on précipite ensuite avec de l'eau.

Le soufre est extrait par le sulfure de carbone, mais on le reconnaît plus facilement par l'odeur qu'il répand par sa combustion.

On examine à la loupe si la matière lévigée contient des paillettes métalliques. On pourra les dissoudre par l'acide chlorhy-

drique et en faire l'analyse qualitative. Les paillettes de fer sont faciles à séparer par l'aimant.

Le microscope peut aider à reconnaître le bois, les écorces, etc.

On voit que ces analyses sont fort souvent compliquées; pour aider le travail de recherches, on consultera utilement les ouvrages qui donnent les compositions des nombreux mélanges pyrotechniques en usage chez les artificiers. Nous citerons entr'autres la *Chimie pyrotechnique de Tessier*.

**254. Analyse quantitative.** — On dose d'abord l'eau; puis on épuise la masse par des lavages à l'eau sur double filtre, on évapore la solution et on sèche les filtres. On obtient le poids des matières solubles et des matières insolubles dans l'eau.

On dose dans un poids donné du résidu soluble l'acide azotique par la méthode de Schloësing (n° 52). On fond une partie pesée du résidu, on calcine jusqu'à décomposition complète du chlorate de potassium; on dose au moyen de l'azotate d'argent titré le chlorure de potassium qui s'est formé et l'on a ainsi l'acide chlorique.

On dose le baryum, le potassium, le sodium, etc., et on combine par le calcul les acides avec les bases.

Les autres recherches se feront d'après les indications fournies par l'analyse qualitative.

Certaines de ces analyses sont difficiles et longues; elles exigent de la part du chimiste une grande habileté; on comprend qu'il ne nous est pas possible d'entrer dans plus de détails.



## SECTION II.

### Poudres à base de fulminate de mercure et ses dérivés.



#### CHAPITRE I.

##### FULMINE DE MERCURE.

255. — En 1800, Horward découvrit que les nitrates de mercure et d'argent chauffés avec de l'alcool et de l'acide nitrique donnaient des corps hautement explosibles.

Les fulminates semblent dériver du cyanure de méthyle (acétonitrile)  $\text{CH}_3\text{CAz}$  par le remplacement d'un atome d'hydrogène du radical  $\text{CH}_3$  par le radical  $\text{AzO}^2$ , les deux autres atomes d'hydrogène étant remplacés par des radicaux métalliques.

$\text{CHHH}$ , CAz acétonitrile.

$\text{C}(\text{AzO}^2)\text{HH}$ , CAz acide fulminique.

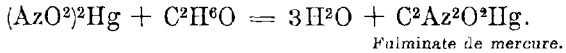
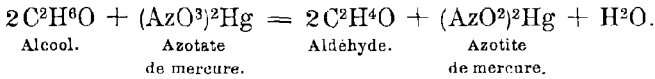
$\text{C}(\text{AzO}^2)\text{Hg}$ , CAz fulminate de mercure.

$\text{C}(\text{AzO}^2)\text{Ag}^2$ , CAz " d'argent.

$\text{C}(\text{AzO}^2)\text{AgK}$ , CAz " d'argent et de potassium.

256. **Préparation.** — On fait agir sur de l'alcool du nitrate de mercure. Les formules suivantes donnent une idée de la réaction

produite : elles n'expliquent cependant pas la génération des nombreux corps qui se forment réellement :



Voici comment on prépare le fulminate de mercure à l'école de pyrotechnie (méthode Chandelon) :

On introduit dans un ballon de 40 litres, 5 litres d'alcool à 90° (Gay-Lussac), ou un mélange de 4 litres d'alcool et 1 litre d'aldéhyde, lequel est extrait des résidus des opérations précédentes. D'autre part, on fait dissoudre à froid 0,450 kg. de mercure dans 1 kilogr. d'acide azotique à 36° B. Pendant que la dissolution se fait, on chauffe au bain de sable 3,5 kg. d'acide azotique à la température de 80° c. Tout étant prêt, on verse avec un entonnoir à longue tige, d'abord les 3,5 kg. d'acide azotique, ensuite la solution mercurielle dans le ballon qui contient l'alcool.

Au bout de quelques minutes la réaction commence, et il se dégage d'abondantes fumées blanches contenant de l'alcool, de l'aldéhyde, des gaz nitreux, des vapeurs mercurielles et étherées, de l'acide cyanhydrique, de l'acide formique, de l'acide acétique, etc. On condense avec soin ces vapeurs malsaines, en leur faisant traverser une série de bonbonnes en grès (touries), munies à leur partie inférieure d'un robinet en grès, servant à l'extraction des produits de la condensation. Elles portent à leur partie supérieure des tubulures à fermeture hydraulique, dans lesquelles viennent s'adapter des tubes en grès, recourbés à angle droit à leurs extrémités, et qui mettent ainsi en communication les diverses bonbonnes dont se compose le système. La dernière bonbonne est munie d'un tuyau en grès, à fermeture hydraulique, encastré dans la muraille de l'atelier, et il sert à conduire au dehors les produits délétères non condensés.

Après une heure et quart environ, la réaction est terminée, tout le fulminate s'est déposé au fond du ballon sous forme de petits cris-

taux blancs jaunâtres. On décante les eaux-mères et on rince à l'eau de pluie ; puis on lave le fulminate par décantation à deux ou trois reprises.

On conserve le fulminate sous une couche de 2 à 3 centimètres d'eau de pluie, dans des bocaux fermés par une vessie, maintenue avec une ligature en ficelle.

Une opération donne environ 0,670 kg. de fulminate humide, ou 0,500 kg. de fulminate sec.

Après un certain nombre d'expériences, on soutire les liqueurs condensées dans les touries, on en sature l'acide libre par la chaux éteinte, on distille au bain-marie et l'on obtient un liquide étheré riche en aldéhyde, qui peut remplacer une portion de l'alcool dans les manipulations suivantes.

Un ballon donne pour une opération, environ 3,5 kg. à la condensation ; sur 80 litres de liquide, on retire 30 litres, c'est-à-dire, jusqu'au moment où l'eau commence à distiller.

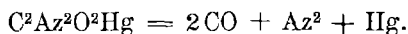
**257. Propriétés du fulminate de mercure.** — Il cristallise en fines aiguilles, formées d'un amas d'octaèdres ; il a un goût métallique douceâtre et il est vénéneux. Il est presque insoluble dans l'eau froide, peu dans l'eau bouillante : 130 parties d'eau bouillante dissolvent 1 partie de fulminate.

Le fulminate contient quelquefois du mercure libre ; on peut le manifester en mettant le corps en suspension dans de l'acide chlorhydrique, le liquide blanchit par formation de chlorure mercurieux.

Chauffé à 186°, il détone. Par une percussion ou une friction suffisante, il éclate avec violence ; aussi doit-on le manier à l'état sec avec la plus grande prudence. Les gros cristaux sont plus sensibles au choc que les petits cristaux.

Chaleur de formation depuis ses éléments — 62,9, quantité négative.

Les produits de la décomposition sont :



Cette formule a été établie par MM. Berthelot et Vieille, d'après des résultats d'expériences (*Mémorial des poudres et salpêtre*, t. II, p. 3).

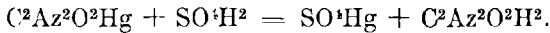
Pour déterminer l'explosion par le choc, celui-ci doit avoir lieu entre des corps assez durs. L'éclatement se fait sûrement par faible choc du fer sur le fer; le choc bois sur bois, fer sur bois, le détermine plus difficilement.

Lorsqu'il est mouillé de 5 % d'eau, il n'offre plus de dangers; frappé sur une enclume avec un marteau, le point frappé seul détone. Noyé dans l'eau, dans laquelle il se conserve, du reste, sans aucune altération, il devient absolument inerte au choc le plus violent.

Densité = 4,43, c'est le plus lourd de tous les explosifs.

Le fulminate humide se décompose lentement au contact des métaux oxydables; le zinc, le cuivre, le fer se substituent au mercure et il se forme des fulminates moins sensibles au choc, d'où il résulte plus tard, des ratés de vieilles capsules; c'est pourquoi il est indispensable de vernir les capsules intérieurement.

L'acide sulfurique décompose le fulminate avec déflagration :



Il se forme du sulfate de mercure et de l'acide fulminique très instable.

### 258. Force du fulminate de mercure. —

|          |   |        |  |          |   |        |
|----------|---|--------|--|----------|---|--------|
| $\omega$ | = | 284    |  | $V_m$    | = | 89,28  |
| $Q_{mp}$ | = | 114,5  |  | $V_k$    | = | 314,36 |
| $Q_{mv}$ | = | 116,7  |  | $t$      | = | 3453°  |
| $Q_{kp}$ | = | 403,2  |  | $f$      | = | 1214,8 |
| $Q_{kv}$ | = | 411,2  |  | $\alpha$ | = | 0,314  |
| $W$      | = | 174772 |  |          |   |        |

MM. Berthelot et Vieille ont trouvé par expérience les résultats suivants avec les manomètres à écrasement (Crushers) :

| Densité<br>du chargement. | Poids<br>du fulminate. | Écrasements<br>observés.<br>mm. | Pression en kg.<br>par cent. carré. | Observations.               |
|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 0,1                       | 2,43                   | 0,50                            | 679                                 | Piston de 1 cm.             |
| 0,2                       | 4,86                   | 2,40                            | 1183                                | id.                         |
| 0,3                       | 7,39                   | 4,60                            | 1771                                | id.                         |
| 0,4                       | 9,72                   | 3,20                            | 2794                                | Piston de $\frac{1}{3}$ cm. |

Le fulminate de mercure est l'explosif dont les effets de dislocation sont les plus grands, et cependant le volume des gaz et la chaleur dégagée sont moindres que dans la plupart des matières détonantes. Cette supériorité se manifeste surtout dans les actions de pulvérisation des corps avec lesquels le fulminate de mercure se trouve en contact. Elle dépend de plusieurs circonstances : 1° le fulminate éprouve une décomposition presque instantanée; 2° la densité du fulminate est très élevée; 3° les produits de la réaction n'éprouvent presque pas de dissociation.

On peut admettre, vu la vitesse de réaction, que l'explosif se trouve décomposé avant que les produits gazeux formés aient eu le temps de se dilater; il en résulte une expansion subite des gaz, lesquels, prenant appui sur une paroi résistante la repoussent, ou si elle résiste, la pulvérisent. Cette pression instantanée est bien plus grande que la pression moyenne, réglée par la capacité du récipient dans lequel un volume moindre de fulminate viendrait à détoner.

Les produits de l'explosion sont de l'oxyde de carbone, de l'azote et du mercure; ces corps n'éprouvent que peu ou pas d'effet de dissociation; toute la chaleur dégagée par l'explosion sert donc presque tout entière à dilater brusquement les gaz; pendant leur refroidissement, peu de chaleur est restituée par le jeu des recombinaisons, et la chute des pressions est rapide. La manière d'agir du fulminate est donc très différente de celle de la poudre noire, son action est plutôt celle exercée par un choc d'une brusquerie énorme, que celle d'un effort graduellement appliqué, et l'on sait que, au point de vue des effets de rupture, les résultats sont fort différents.

Grâce à la grande densité du fulminate, il est possible de loger dans une enceinte un poids considérable de ce corps.

**259. Fulminate de mercure et salpêtre.** — L'explosif que nous étudions ne contient pas assez d'oxygène pour amener tous les produits de sa décomposition au plus haut point d'oxydation; on peut obtenir une combustion complète par l'addition de salpêtre :

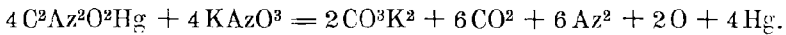


D'après cette formule, il faudrait pour la combustion complète :

|                      |        |         |     |
|----------------------|--------|---------|-----|
| Fulminate de mercure | 77,80  | Rapport | 3,5 |
| Salpêtre . . . . .   | 22,20  | "       | 1   |
|                      | 100,00 |         |     |

Dans la pratique, on prend un excès de salpêtre, afin d'assurer la combustion complète.

La pratique répond sensiblement à :



Ce qui donne :

|                      |      |         |   |
|----------------------|------|---------|---|
| Fulminate de mercure | 73,7 | Rapport | 3 |
| Salpêtre . . . . .   | 26,2 | "       | 1 |

Les éléments de la force sont :

|                   |  |                  |
|-------------------|--|------------------|
| $\omega$ = 1824,4 |  | $V_m$ = 446,4    |
| $Q_{mp}$ = 1148,3 |  | $V_k$ = 244,6    |
| $Q_{mv}$ = 1159,2 |  | $t$ = 2699°      |
| $Q_{kp}$ = 629,4  |  | $f$ = 755        |
| $Q_{kv}$ = 634,4  |  | $\alpha$ = 0,244 |
| $W$ = 269616      |  |                  |

**Effets de l'addition du nitre.** — L'addition du nitre diminue le volume gazeux, ainsi que la pression théorique. Le choc initial est tempéré par des dissociations de l'acide carbonique et du carbonate de potassium, ce qui rend ce mélange moins brusque dans ses effets que le fulminate pur; cela empêche, par exemple, la rupture des cheminées des fusils à piston dont on se servait autrefois. De plus, le nitre donne plus d'expansion à la flamme.

**260. Poudre fulminante pour capsules.** — Cette poudre était autrefois en usage pour le chargement des capsules des fusils à piston et des pistolets. Elle se composait de :

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| Fulminate de mercure humide . . . . . | 450 parties. |
| Salpêtre raffiné . . . . .            | 200 "        |

On étend en une couche mince, sur un plat de faïence, 450 grammes de fulminate humide égoutté, qu'on recouvre de 200 grammes de nitre pulvérisé et tamisé; on mélange avec une spatule en corne. La poudre est ensuite placée sur une toile cirée et on chauffe au bain-marie, on remue constamment pour empêcher la formation des grumeaux et pour favoriser le grenage; enfin on passe au tamis.

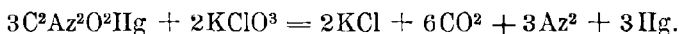
Avant de charger, les capsules, on les vernit.

**261. Poudre fulminate pour capsules à balle.** — Ces capsules servent pour les tirs de chambrée :

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Poudre noire. . . . .         | 10,00 |
| Fulminate de mercure. . . . . | 12,50 |

On fait le mélange avec un rouleau sur une table de marbre; on humecte avec de l'eau amidonnée.

**262. Fulminate de mercure mêlé de chlorate de potassium.**  
— La combustion complète se fait d'après la formule :



La composition est donc :

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| Fulminate de mercure. . . . .  | 77,66 |
| Chlorate de potassium. . . . . | 22,34 |

La pression du fulminate mêlé de chlorate se rapproche beaucoup de celle du fulminate pur. Le choc initial est atténué par le chlorate de potassium.

Cette poudre est très sensible à la friction et a été la cause de plusieurs explosions dans les fabriques; elle est très dangereuse à manier.

**263. Compositions fulminantes diverses (pour capsules) :**

|                                |     |     |      |     |      |
|--------------------------------|-----|-----|------|-----|------|
| Fulminate de mercure . . . . . | 100 | 100 | 100  | 109 | 100  |
| Salpêtre . . . . .             | 50  | "   | 62,5 | 117 | 45,5 |
| Poudre fine . . . . .          | :   | "   | 60   | "   | "    |
| Soufre. . . . .                | "   | "   | 29   | 23  | 14,5 |

Le fulminate de mercure sert presque exclusivement aujourd'hui au chargement des capsules destinées à faire détoner la dynamite, le coton-poudre et d'autres explosifs.

Ces capsules renferment plus ou moins de fulminate, ordinairement à l'état pur; elles se composent de tubes de cuivre emboutis, fermés d'un côté; on recouvre le fulminate d'une goutte de collodion, parfois aussi d'une rondelle en cuivre perforée au centre; cette rondelle a pour but d'empêcher le frottement de la mèche contre le fulminate. Le diamètre est d'environ 5 millimètres, et leur longueur varie suivant la charge; celle-ci peut atteindre 2 grammes, comme dans les capsules réglementaires militaires.

**264.** — Le commerce livre, en Belgique, des capsules comme suit, par boîtes de 100 :

| Capsules.        | Charges.                                  | Poids moyen.                    |
|------------------|---|---------------------------------|
| N <sup>o</sup> 2 | 400 grammes <sup>oo</sup> / <sub>oo</sub> | 1 gramme.                       |
| N <sup>o</sup> 3 | 540        "        "                     | 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> " |
| N <sup>o</sup> 5 | 790        "        "                     | 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " |
| N <sup>o</sup> 6 | 1000       "        "                     | 1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> " |
| N <sup>o</sup> 7 | 1500       "        "                     | 2       "                       |
| N <sup>o</sup> 8 | 2000       "        "                     | 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> " |

Les amorces militaires ont de 1 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> à 2 grammes de fulminate. On fait aussi usage de capsules électriques.

Nous allons jeter un coup d'œil sur cinq substances explosibles moins importantes que le fulminate de mercure, et qui en dérivent.



## CHAPITRE II.

### EXPLOSIFS DIVERS DE LA SÉRIE CYANIQUE.

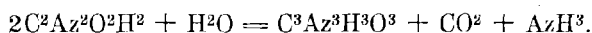
#### *Acide isocyanurique.*

265. — *Synonyme* : Acide fulminurique  $C^3Az^3O^3H^3$ .

Il prend naissance quand on fait bouillir le fulminate de mercure fraîchement préparé avec de l'eau ou mieux avec un chlorure ou un iodure alcalin.

PRÉPARATION. — On chauffe à l'ébullition 60 à 75 grammes de fulminate de mercure fraîchement préparé, délayé dans 700 à 800 cc. d'eau et 60 cc. d'une solution de sel ammoniac, saturée à froid; après quelques minutes, il se sépare une poudre cristalline; quand la précipitation cesse, on ajoute au liquide de l'ammoniaque tant qu'il se forme un précipité; on filtre et on évapore à cristallisation. On lave les cristaux jaunes à l'eau, puis à l'alcool, et on cristallise dans l'eau dans laquelle on ajoute du noir animal. Le sel ammoniacal est ensuite transformé par double décomposition en sel de plomb basique ou en sel d'argent qui, décomposé par l'hydrogène sulfuré, fournit l'acide isocyanurique.

La réaction entre le fulminate de mercure et l'eau est donnée par la formule suivante :



PROPRIÉTÉS. — C'est un corps soluble dans l'eau, l'alcool, l'éther; chauffé à 145°, il se décompose avec une légère détonation.

C'est un acide monobasique qui fournit des isocyanurates explosifs; nous citerons entr'autres l'isocyanurate d'ammonium :



*Cyanodibromopicrine.*

266. — *Synonyme* : Acétonitrile dibromonitré.

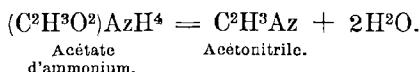
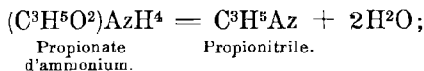
*Formule* :  $C(AzO^2)Br^2, CAz.$

On traite par le brome le fulminate de mercure délayé dans de l'eau ou l'isocyanurate de potassium en solution aqueuse; quand la couleur du brome ne disparaît plus, on distille. Il passe avec la vapeur d'eau une huile qui dépose un corps cristallisé, lequel est insoluble dans l'eau. Sa solution alcoolique ou étherée le laisse déposer en cristaux brillants bien formés. Il fond à 50° et bout en se décomposant de 130 à 135°; mais, déjà à la température ordinaire, il donne des vapeurs attaquant fortement les yeux. La vapeur détone quand on la surchauffe.

*Trinitracétonitrile.*

267. — *Formule* :  $C(AzO^2)^3CAz.$

Nous rappelons que les nitriles sont des corps qui dérivent des sels ammoniacaux par perte de deux molécules d'eau et qui peuvent, par leur hydratation complète, reproduire les sels ammoniacaux primitifs :



PRÉPARATION. — L'acide isocyanurique, traité par l'acide sulfonitrique (mélange d'acide azotique fumant et d'acide sulfurique à volumes égaux), se transforme en trinitracétonitrile.

On introduit peu à peu l'isocyanurate finement pulvérisé dans le mélange acide refroidi, contenu dans un petit ballon; il se sépare

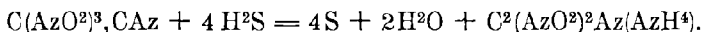
une couche d'un corps huileux plus léger que l'acide, dont une partie est entraînée par les gaz formés. Après avoir ajouté une certaine quantité d'isocyanurate, on remplit le ballon d'acide sulfurique pour faire monter la couche huileuse dans le col, et on le plonge dans l'eau chaude jusqu'à ce que le liquide acide soit devenu clair. Par refroidissement, la couche supérieure se solidifie.

C'est une substance qui, chauffée brusquement à 220°, détone avec violence, avec production de flamme bleue. Elle ne détone ni par le choc ni par la pression.

*Binitracétonitrile.*

268. —  $C(AzO^2)^2H, CAz$ .

On fait passer de l'hydrogène sulfuré dans la solution de la trinitracétonitrile :



Pour isoler la binitracétonitrile de son sel ammoniacal, on ajoute à la solution aqueuse de l'acide sulfurique et l'on agite avec de l'éther : celui-ci laisse après évaporation un sirop qui dépose peu à peu des lames incolores.

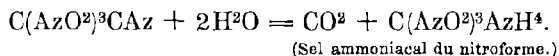
*Sel d'argent.* —  $C(AzO^2)^2Ag, CAz$ .

Ce corps détone avec violence par le choc.

*Nitroforme.*

269. — *Synonyme* : Hydrure de méthyle trinitré :  $C(AzO^2)^3H$ .

On fait bouillir la trinitracétonitrile avec de l'eau :



On évapore : il se dépose des cristaux du sel ammonium, qu'on traite par l'acide sulfurique concentré. Le nitroforme vient surnager la couche acide sous forme d'un liquide très fluide qui se solidifie sous 15° c. On purifie en faisant cristalliser plusieurs fois par refroidissement et en décantant la partie restée liquide.

C'est un corps qui cristallise en cubes fusibles à 15°, soluble dans l'eau en jaune foncé, à odeur très désagréable et à saveur amère. Il s'altère à 100°, il est très inflammable; il détone violemment par une chauffe brusque.

Les sels de nitroforme  $C(AzO^2)^3M'$  sont d'un beau jaune et incristallisables, ils détonent et se décomposent quelquefois spontanément.

Le sel de potassium s'obtient par l'action de la potasse caustique sur la trinitracétonitrile.

# QUATRIÈME PARTIE.

Les explosifs chimiques.



# SECTION I.

Corps explosifs provenant des hydrocarbures  
et de leurs dérivés  
de la série grasse par substitutions nitrées.

---

## CHAPITRE I.

### DÉRIVÉS NITRÉS DES HYDROCARBURES.

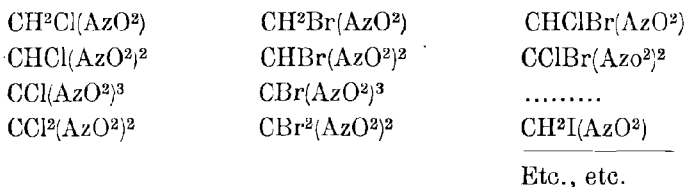
270. Ces corps sont extrêmement nombreux, et ils constituent des substances explosibles de la plus haute importance. Ils forment ce qu'on appelle vulgairement les *explosifs chimiques*, et ils sont remarquables par leur violence, leurs effets de rupture énormes et les applications militaires et industrielles dont ils sont susceptibles.

Si l'on considère le premier terme de la série des hydrocarbures saturés (dont la formule générale est  $C^nH^{2n+2}$ ), le gaz des marais ou hydrure de méthyle  $CH_4$ , on peut y remplacer tous les atomes d'hydrogène par le radical  $AzO^2$  (azotyle).

On connaît ainsi :

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Le mononitrométhane  | $CH_3(AzO^2)$   |
| Le binitrométhane    | $CH_2(AzO^2)^2$ |
| Le nitroforme        | $CH(AzO^2)^3$   |
| Le tétranitrométhane | $C(AzO^2)^4$ .  |

On peut obtenir des substitutions simultanées, nitrées, chlorées, iodées, telles que :



Toutes ces subdivisions sont plus ou moins explosives.

**271. Nitroforme** = formène trinitré —  $\text{CH}(\text{AzO}^2)^3$ .

Nous avons eu l'occasion de l'étudier.

**272. Formène bromonitré.** —  $\text{C}(\text{AzO}^2)^3\text{Br}$ , on l'obtient par l'action du brome sur le nitroforme.

**273. Formène tétranitré.** —  $\text{C}(\text{AzO}^2)^4$ , on l'obtient par l'action de l'acide azotique sur le nitroforme.

C'est un liquide plus stable que le nitroforme; il ne détone pas par la chaleur brusque; il se décompose avec dégagement de vapeurs nitreuses.

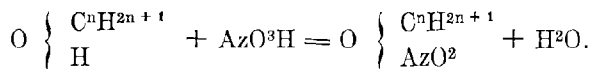


## CHAPITRE II.

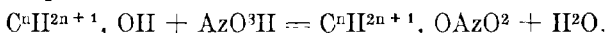
### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS MONOVALENTS.

**274.** Dans les corps explosifs provenant des dérivés des hydrocarbures, il y a lieu de distinguer deux grandes classes de produits nitrés; les uns sont de véritables éthers nitriques décomposables par les alcalis avec régénération d'alcool et d'acide azotique, les autres ne se décomposent pas d'une façon nette sous l'influence des alcalis, de manière à reproduire les corps primitifs mis en présence.

Faisons agir de l'acide azotique sur un alcool; la réaction est donnée par la formule générale :



On peut écrire :



Prenons un phénol.



Les deux équations sont pareilles, avec mise en liberté d'eau; seulement, la constitution intime des deux substances obtenues est différente; dans le premier cas, la substitution nitrée se fait dans le radical oxyhydride, et l'on a un véritable *éther nitrique*; dans le second cas, elle s'opère dans la chaîne principale; on a un *corps nitré*.

Les éthers nitriques possèdent une propriété caractéristique, c'est de reproduire l'alcool et l'acide générateurs, sous l'action prolongée de l'eau et des alcalis étendus. Il n'en est pas de même des corps nitrés.

Les éthers azotiques sont également décomposés par les corps réducteurs qui reproduisent l'alcool primitif; les corps nitrés, sous cette même influence, donnent des alcalis organiques.

La chaleur dégagée par l'introduction de la molécule  $\text{AzO}^2$  dans un alcool proprement dit est, en moyenne, de 5 à 6 calories par molé-

cule du radical introduit; elle est beaucoup plus considérable dans la réaction entre l'acide azotique et les hydrocarbures, où elle atteint 36 calories.

D'après cela, on voit que l'énergie du système formé dans le premier cas est plus grande que celle du système formé dans le deuxième cas, l'union de la matière organique avec l'acide nitrique ayant dégagé moins de chaleur; on comprend, par cela, l'instabilité plus grande des éthers nitriques.

*Éthers azotiques des alcools proprement dits.*

275. Nous rappellerons que l'on obtient un alcool chaque fois qu'on remplace, dans un hydrocarbure saturé, un ou plusieurs atomes d'hydrogène par autant de radicaux OH (oxyhydrile).

$C^nH^{2n+2}$  : hydrocarbure saturé.

$C^nH^{2n+2-\alpha} (OH)^\alpha$  : alcool ou  $O^\alpha$  }  $C^nH^{2n+2-\alpha}$   
 $H^\alpha$

Voici, par exemple, l'hydrure de propyle :

$C^3H^8$ . Hydrure de propyle qui donne :

$C^3H^7, OH$ . Alcool propylique qu'on peut écrire  $O$  }  $C^3H^7$   
 $H$

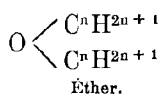
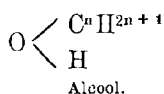
$C^3H^6(OH)^2$ . Glycol propylique " "  $O^2$  }  $C^3H^6$   
 $H^2$

$C^3H^5(OH)^3$ . Glycérine. " "  $O^3$  }  $C^3H^5$   
 $H^2$

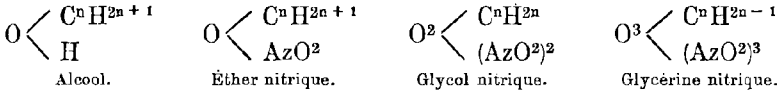
Les alcools sont mono, di, tri ... polyatomiques, selon qu'ils renferment un, deux, trois ... plusieurs radicaux OH. On connaît les alcools mono-di-tri-tétra et hexatomiques. Les alcools pentatomiques sont inconnus.

Les alcools diatomiques sont appelés *glycols*, les triatomiques sont nommés *glycérines*.

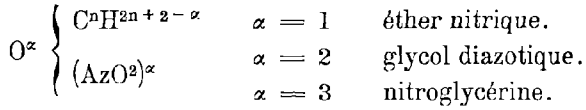
Les éthers dérivent des alcools, en remplaçant l'hydrogène du radical OH par le radical alcoolique, on obtient un éther simple, et à chaque alcool, correspond un éther.



Lorsque l'hydrogène du radical OH est remplacé par le radical  $AzO^2$  (nitrile), on obtient les éthers nitriques.

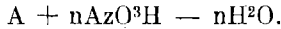


On peut écrire la formule générale des éthers nitriques comme suit :



### 276. Chaleurs de formation des éthers nitriques en général.

Supposons un éther formé par un alcool de formule A ; la formule de l'éther est :



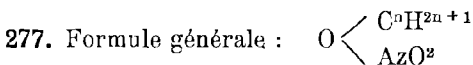
Soit C la chaleur de formation de l'alcool ; on sait que la chaleur de formation de l'acide nitrique est 41,6 ; celle de l'eau 69 ; la chaleur de nitration est 5 cal. pour 1 molécule d'acide nitrique fixé.

La chaleur de formation de l'éther sera ainsi :

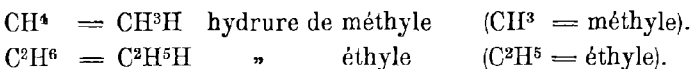
$$C = 41,6n + 5n - 69n \quad \text{ou} \quad C = 22,4n \quad (\text{eau liquide}).$$

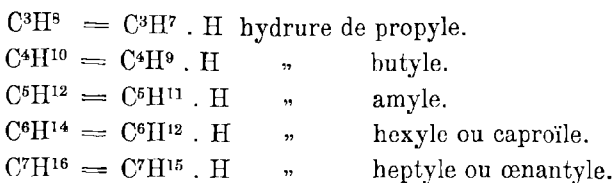
La chaleur de formation de l'éther nitrique est moindre que celle de l'alcool générateur. Pour les corps nitrés, c'est le contraire.

### *Ethers nitriques des alcools monovalents.*

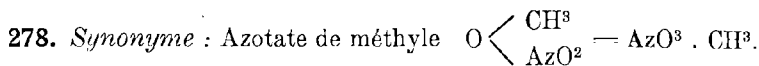


Rappelons les noms de quelques hydrocarbures saturés, contenant les radicaux dits de la série grasse.



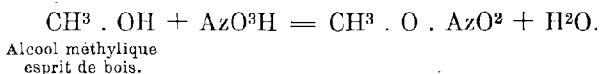


*Éther méthylazotique.*



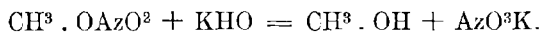
*Poids moléculaire* 77.

*Préparation.*

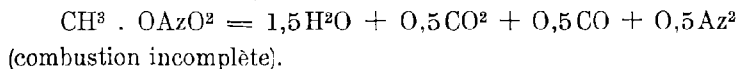


On met dans une cornue 50 grammes de salpêtre pulvérisé et on y ajoute un mélange de 100 grammes d'acide sulfurique et de 50 grammes d'esprit de bois. La réaction s'accomplit d'elle-même et il se condense dans le récipient refroidi une couche étherée, qu'on distille au bain-marie et à plusieurs reprises, sur un mélange de massicot et de chlorure de calcium en recueillant ce qui passe à 66°.

PROPRIÉTÉS. — C'est un corps liquide incolore, d'une odeur faible et étherée, d'une densité de 1,82 à 2°; il bout à 60°, sa vapeur surchauffée détone avec violence. Il brûle avec une flamme jaune. La potasse caustique le décompose facilement en azotate de potassium et en alcool méthylique :



Cet éther se décompose d'après la formule suivante :



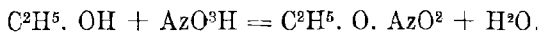
|                             |  |                      |
|-----------------------------|--|----------------------|
| $\omega = 77$               |  | $V_m = 66,97$ litres |
| $Q_{mp} = 107,600$ (k . d)  |  | $V_k = 869,61$ id.   |
| $Q_{mv} = 109,317$ (k . d)  |  | $t = 2453^\circ$     |
| $Q_{kp} = 1397,400$ (k . d) |  | $f = 9019$ kilog.    |
| $Q_{kv} = 1419,701$ (k . d) |  | $\alpha = 0,869$     |
| $W = 603372$ kilogrammètres |  |                      |

*Éther éthylnitrique.*

279. *Synonyme* : Azotate d'éthyle  $O \begin{cases} C^2H^5 \\ AzO^2 \end{cases} = (AzO^3 . C^2H^5).$

*Poids moléculaire* : 91.

PRÉPARATION :



1° On fait agir un mélange bien refroidi de 2 parties d'acide sulfurique et de 1 partie d'alcool, sur un mélange également bien refroidi de 2 parties d'acide sulfurique et de 1 partie d'acide azotique monohydraté. On verse lentement le mélange sulfo-alcoolique dans le mélange sulfo-nitrique.

2° On mélange 3 volumes d'acide sulfurique et 1 volume d'acide nitrique (D = 1,36). On refroidit bien et on y verse peu à peu  $\frac{1}{20}$  volume d'alcool en agitant constamment.

3° Voici une troisième méthode qui permet d'obtenir de grandes quantités d'éther éthylnitrique. Dans une cornue on verse 400 gr. d'acide azotique monohydraté pur, puis 15 grammes de nitrate d'urée, enfin 300 grammes d'alcool absolu additionné de 100 grammes de nitrate d'urée, on distille la moitié à la vapeur d'eau. On ajoute alors la même quantité d'acide et d'alcool et on distille à nouveau. La température de distillation ne doit pas dépasser 85° c.; on peut distiller dans le vide. Les 100 grammes de nitrate d'urée suffisent pour 6 ou 7 kilogrammes d'éther. Si l'on observait cependant des vapeurs rouges, il faudrait réajouter du nitrate d'urée. La chaleur dégagée par la réaction est 62 cal.

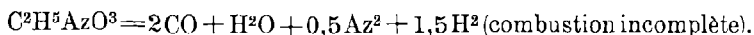
Quelle que soit la méthode employée il faut éviter avec soin toute élévation de température.

PROPRIÉTÉS. — C'est un corps liquide, incolore, d'une densité de 1,132 à 0° et 1,112 à 17°; il bout à 85°, il possède une odeur très agréable, une saveur sucrée avec arrière-goût amer; il est insoluble dans l'eau et se mélange en toutes proportions avec l'alcool et l'éther. Il brûle avec une flamme blanche. Sa vapeur surchauffée détone avec violence. L'éther nitrique peut être distillé très régulièrement.

seulement il faut éviter toute surchauffe locale. Au contact d'une flamme ou même d'une température voisine de 300°, il détone avec violence.

Chaleur de formation depuis les éléments : 49,3 pour 1 molécule.

FORCE DE LA MATIÈRE. — La décomposition se fait d'après la formule :



$$\omega = 91.$$

$$Q_{mp} = (2 \times 25,8 + 1 \times 58,2) - 49,3 = 60,5 \text{ cal.}$$

$$Q_{mv} = 60,5 + 0,5424(2 + 1 + 0,5 + 1,5) + 0,002(2 + 1 + 0,5 + 1,5)15 = 63,36 \text{ cal.}$$

$$Q_{kp} = 60,5 \times \frac{1000}{91} = 664,83 \text{ cal.}$$

$$Q_{kv} = 63,63 \times \frac{1000}{91} = 696,28 \text{ cal.}$$

$$W = 696,28 \times 425 = 295918 \text{ kgm.}$$

$$V_m = (2 + 1 + 0,5 + 1,5) 22,32 = 111,60 \text{ l.}$$

$$V_k = 111,60 \times \frac{1000}{91} = 1226,373 \text{ l.}$$

$$t = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4bQ_{mv}}}{26} = 1805^\circ.$$

$$a = 2 \times 4,8 + 5,61 + (0,5 + 1,5) 4,8 = 24,81.$$

$$b = 2 \times 0,0006 + 0,0033 + (0,5 + 1,5) 0,0006 = 0,0057.$$

$$f = \frac{1033 + 111600(273 + 1805 + 15)}{273 + 91} = 9712,470 \text{ kg.}$$

$$\alpha = \frac{111,60}{1000 + 93} = 1,226.$$

### *Éther amylnitrique.*

280. — *Synonyme* : Azotate d'amyle  $\text{O} \begin{cases} \text{C}^5\text{H}^{11} \\ \text{AzO}^2 \end{cases} = (\text{AzO}^3, \text{C}^5\text{H}^{11}).$

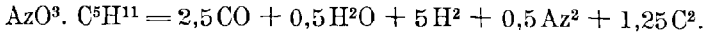
PRÉPARATION. — On agite dans une cornue spacieuse, 30 gr. d'acide sulfurique concentré, 10 gr. d'acide azotique ordinaire et 10 gr. de nitrate d'urée. On ajoute 40 gr. d'alcool amylique et l'on chauffe peu à peu. On ajoute de l'eau au produit distillé, on décante la couche supérieure et on distille. Après plusieurs distillations du produit, qui bout vers 148°, on obtient une huile incolore.

On peut encore l'obtenir par l'action d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique sur l'alcool amylique.

PROPRIÉTÉS. — Huile incolore, d'une odeur rappelant celle des punaises, saveur sucrée et brûlante, d'une densité égale à 0,994 à 10°; elle bout à 148°, mais avec décomposition partielle; sa vapeur surchauffée détone. Soluble dans l'alcool et l'éther dont elle peut être précipitée par l'eau.

La potasse alcoolique la décompose en nitrate de potassium et alcool amylique.

FORCE DE LA MATIÈRE. — La décomposition se fait d'après la formule :

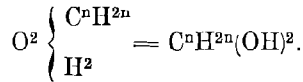


|          |   |             |  |          |   |            |
|----------|---|-------------|--|----------|---|------------|
| $\omega$ | = | 133         |  | $V_m$    | = | 189,72 l.  |
| $Q_{mp}$ | = | 44,3 cal.   |  | $V_k$    | = | 1426,47 l. |
| $Q_{mv}$ | = | 49,16 cal.  |  | $t$      | = | 924° b.    |
| $Q_{kp}$ | = | 333,09 cal. |  | $f$      | = | 6545 k.    |
| $Q_{kv}$ | = | 369,66      |  | $\alpha$ | = | 1,426      |
| $W$      | = | 157105 kg.  |  |          |   |            |

## CHAPITRE III.

### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS BIVALENTS (GLYCOLS).

281. — Les glycols ont comme formule générale :



On connaît les glycols suivants :

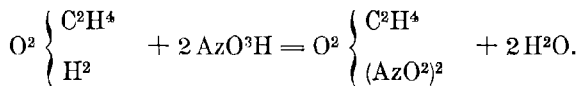
|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| L'éthylglycol   | $\text{C}^2\text{H}^6\text{O}^2.$    |
| Le propylglycol | $\text{C}^3\text{H}^8\text{O}^2.$    |
| Le butylglycol  | $\text{C}^4\text{H}^{10}\text{O}^2.$ |
| L'amylglycol    | $\text{C}^5\text{H}^{12}\text{O}^2.$ |
| L'hexylglycol   | $\text{C}^6\text{H}^{14}\text{O}^2.$ |
| Le caprylglycol | $\text{C}^8\text{H}^{18}\text{O}^2.$ |

Les glycols peuvent donner naissance à deux séries d'éthers selon qu'on remplace l'un des hydroxyles ou les deux à la fois.

#### *Éther glycol diazotique.*

282. — *Formule* :  $\text{C}^2\text{H}^4\text{O}^2(\text{AzO}^2)^2$  : Poids moléculaire 152.

PRÉPARATION :

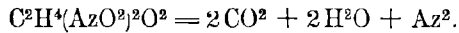


On introduit peu à peu du glycol dans un mélange refroidi d'acide nitrique monohydraté (1 partie) et d'acide sulfurique concentré (3 p.).



PROPRIÉTÉS. — Huile incolore, épaisse, d'une densité égale à 1,48; elle est insoluble dans l'eau, très soluble dans l'alcool et l'éther; elle détone par le choc. Elle s'enflamme avant d'entrer en ébullition. La saveur est douceâtre et désagréable. Ce corps est très vénéneux.

FORCE DE LA MATIÈRE. — La décomposition se fait d'après la formule :



Contrairement aux éthers précédents, celui-ci est à combustion complète.

|          |   |          |  |          |   |            |
|----------|---|----------|--|----------|---|------------|
| $\omega$ | = | 152      |  | $V_m$    | = | 111,6 l.   |
| $Q_{mp}$ | = | 237,500  |  | $V_k$    | = | 734, 21 l. |
| $Q_{mv}$ | = | 240,362  |  | $t$      | = | 3075°      |
| $Q_{sp}$ | = | 1562,500 |  | $f$      | = | 9340 kg.   |
| $Q_{kv}$ | = | 1581,328 |  | $\alpha$ | = | 0,734.     |
| $W$      | = | 672064   |  |          |   |            |

D'après cela, c'est un explosif de la plus grande énergie.

## CHAPITRE IV.

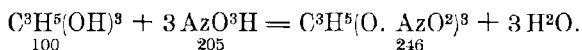
### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS TRIVALENTS (GLYCÉRINE).

#### § 1. — NITROGLYCÉRINE.

283. — La glycérine a pour formule :  $O^3 \left\{ \begin{array}{l} C^3H^5 \\ H^3 \end{array} \right.$  qui donne la  
 nitroglycérine :  $O^3 \left\{ \begin{array}{l} C^3H^5 \\ (AzO^2)^3 \end{array} \right.$

La nitroglycérine fut découverte en 1847, par le chimiste italien Sobrero, dans le laboratoire de Pelonze, à Paris; mais ce ne fut qu'en 1863 qu'un Suédois, Alfred Nobel, la fabriqua en grand sous le nom de *Nobel's Sprengol*, pour l'employer dans l'industrie comme poudre de mine.

284. PRÉPARATION. — On la prépare en versant de la glycérine dans un mélange froid d'acide sulfurique et d'acide azotique.



Sobrero préparait la nitroglycérine en faisant couler lentement de la glycérine dans un mélange refroidi et fortement agité, de 2 parties d'acide sulfurique à 66° B. et 1 partie d'acide azotique d'une densité de 1,5, jusqu'à moitié du volume des acides; puis il versait le tout immédiatement dans 15 à 20 volumes d'eau froide. La nitroglycérine précipitée au fond était lavée jusqu'à neutralité parfaite, puis séchée dans le vide.

Kopp indique le mélange :

2200 gr. d'acide sulfurique; 1100 gr. d'acide azotique; 500 gr. de glycérine.

Nous allons vous préparer une certaine quantité de nitroglycérine d'après ces données :

Dans ce vase à précipités d'un litre à parois épaisses, faisons le mélange de :

Acide sulfurique à 66° B . . . . 220 grammes.

Acide azotique à 48° B . . . . 110 id.

Ce vase est plongé dans un mélange réfrigérant (composé de sulfate de sodium et d'acide chlorhydrique). Lorsque l'acide sulfo-nitrique est arrivé à la température de + 12° c. (la température doit rester dans les limites de 12° à 30° c.), on laisse couler goutte à goutte, en agitant constamment avec un thermomètre, 50 grammes de glycérine pure. La température du mélange monte peu à peu; il faut cesser l'addition de glycérine dès que le thermomètre indique 30° c. et laisser refroidir avant de poursuivre l'opération, sinon la glycérine peut se décomposer en donnant naissance à des torrents de vapeurs rutilantes. Si des vapeurs rouges venaient à apparaître, il faudrait sans tarder jeter le tout dans une terrine remplie d'eau froide, qui doit toujours être placée à côté de l'opérateur.

Toute la glycérine ayant été employée, on verse le liquide par filet mince dans un grand vase conique renfermant 4 à 5 litres d'eau froide et en remuant sans cesse. La nitroglycérine se précipite au fond du vase sous la forme d'un liquide laiteux. L'eau, devenue claire est aussitôt décantée et remplacée par de l'eau pure; on agite encore par barbotement d'air au moyen d'une trompe; on lave ainsi à plusieurs eaux jusqu'à neutralité parfaite, ce qui demande un temps assez long.

Enfin, la nitroglycérine opalescente est versée dans un flacon où elle va s'éclaircir par le repos; on peut hâter l'éclaircissement par le vide sec. La chaleur dégagée par la réaction est de 14,7 calories ou 4,9 par molécule d'acide azotique. Ce chiffre est un peu plus faible que celui de l'éther azotique (6,2). On voit que la glycérine et l'acide

nitrique ont perdu peu de leur énergie par le fait de leur combinaison, ce qui explique la grande force de la nitroglycérine.

**285. Fabrication industrielle. — Choix des acides.** — L'acide sulfurique doit avoir une densité de 1,840 à 1,843 (66° B). L'acide azotique doit avoir une densité de 1,50 (49° B); il doit être blanc ou tout au plus jaune; l'acide rouge ne doit pas être employé : il est dangereux et doit être défendu.

La glycérine doit avoir une densité de 1,260 à 1,264; elle doit être incolore et elle ne peut contenir ni sucre, ni dextrine.

Pour la fabrication en grand, on prépare un mélange de 650 kg. d'acide nitrique et 1300 kg. d'acide sulfurique; on laisse refroidir pendant la nuit; le lendemain, l'acide sulfo-nitrique est versé dans l'appareil à nitroglycérine. Celui-ci se compose d'une cuve cylindrique en fonte entourée d'eau courante; sur la paroi interne de la cuve est placé un serpentín en plomb à spires serrées, traversé par un courant rapide d'eau la plus froide possible. Dans l'axe de la cuve se trouve un arbre vertical armé de bras ou d'une hélice; un système de poulies et d'engrenages permet de donner un mouvement de rotation à cet agitateur.

Dans le bas de la cuve se trouve un robinet de vidange en grès. La glycérine est dans un vase au-dessus de la cuve et communique avec celle-ci par un tube en verre muni d'un robinet. Un thermomètre permet de vérifier la température; celle-ci ne doit pas descendre au-dessous de 12° c. ni dépasser 30° c.

La glycérine est introduite par filet mince et le thermomètre est sans cesse consulté, afin de ne pas dépasser la température de 30° c. Pour 1950 kg. d'acide sulfo-nitrique on emploie 300 kg. de glycérine. L'opération dure une heure et demie avec de l'eau à 15° c.

Le mélange est versé dans une grande cuve en bois renfermant 50 à 60 mètres cubes d'eau froide agitée vivement par des rabots en bois. La nitroglycérine se précipite; elle est enlevée, puis elle est soumise à un lavage soigné dans une série de cuves en bois; on termine par un lavage avec une lessive faible de carbonate de soude, jusqu'à ce que le papier de tournesol ne change plus de couleur.

**286. Méthode Sundstrom.** — Elle est actuellement adoptée par

la compagnie de la *forcite*. Le principe est de faire arriver la glycérine sous forme de pluie dans l'acide sulfo-nitrique et d'effectuer le mélange par barbotement d'air comprimé, en outre celui-ci absorbe la chaleur en se dilatant dans le liquide.

L'appareil est analogue au précédent, la glycérine s'écoule dans le mélange sulfo-nitrique, refoulée par l'air comprimé. Quand l'opération est terminée (une heure et demie à 18° c.) on ouvre le robinet de l'appareil et le mélange s'en va dans une cuve en plomb ou *séparateur* d'où la nitroglycérine est enlevée avec une écumoire en plomb au fur et à mesure qu'elle monte à la surface des acides, pour être versée dans des lavoirs où elle est lavée par l'eau froide et enfin par une lessive de soude jusqu'à réaction franchement alcaline; elle est passée au filtre de coton et elle est prête pour l'usage.

Si pour une cause quelconque la température dépasse 30° c., on ouvre immédiatement le robinet disposé pour vider l'appareil dans une grande cuve, dite cuve de sûreté, remplie à moitié d'eau. L'acide devient alors si étendu que la décomposition cesse immédiatement.

On fait couler les acides restant dans les séparateurs dans une chambre de plomb pour détruire toute trace de nitroglycérine; c'est l'opération du *regagnage*.

**Regagnage.** — On fait usage de tours de condensation ou cylindres de plomb garnis intérieurement de briques réfractaires avec mortier d'argile et de goudron et remplis de morceaux de quartz. Les acides mélangés entrent par le haut; à la base, on injecte un mélange d'air et de vapeur d'eau. On condense les vapeurs nitreuses qui s'échappent par le haut et on recueille par en dessous l'acide sulfurique qu'on concentre; il rentre en fabrication. Par le fait du passage de la vapeur d'eau, il y a destruction de la nitroglycérine.

Il y a danger permanent de conserver des mélanges acides renfermant des traces de nitroglycérine. Le 15 avril 1885, une explosion de bonbonnes renfermant ce liquide dangereux causa à Matagne-la-Grande la mort d'un ingénieur et d'un ouvrier.

**287. Méthode de MM. Boutmy et Faucher.** — Elle écarte la majeure partie de la chaleur qui se dégage dans la réaction, en

engageant préalablement la glycérine dans une combinaison avec l'acide sulfurique, qu'on détruit ensuite par l'acide azotique. On fait :

|                                   |   |                         |       |
|-----------------------------------|---|-------------------------|-------|
| 1° Un mélange dit sulfoglycérique | { | Glycérine . . . . .     | 100   |
| qu'on laisse refroidir.           |   | Acide sulfur. concentré | 320   |
|                                   |   |                         | <hr/> |
|                                   |   |                         | 420   |

On verse peu à peu la glycérine dans l'acide sulfurique, en agitant. Il se forme de l'acide sulfoglycérique.

|                                 |   |                            |       |
|---------------------------------|---|----------------------------|-------|
| 2° Un mélange dit sulfonitrique | { | Acide sulfurique . . . . . | 280   |
| qu'on laisse refroidir.         |   | Acide azotique . . . . .   | 280   |
|                                 |   |                            | <hr/> |
|                                 |   |                            | 560   |

On mélange :

420 parties du mélange sulfoglycérique (verser dans)

560 " " sulfonitrique.

Ce qui correspond à :

100 parties de glycérine.

600 " d'acide sulfurique.

280 " " azotique.

Le mélange est abandonné à lui-même; la formation de la nitroglycérine dure douze heures. L'échauffement maximum ne dépasse pas 15° c. Le mélange des matières se fait le soir et on décante l'explosif le lendemain matin.

**288. Méthode Champion et Pellet.** — Le mélange acide sulfonitrique transforme presque instantanément la glycérine en nitroglycérine. On fait arriver en quantités réglées un filet acide et un filet de glycérine dans un serpentin de verre refroidi. Seulement le mélange est imparfait et le rendement faible. Cette méthode fut mise en pratique pendant le siège de Paris.

**289. Propriétés de la nitroglycérine.** — C'est un liquide huileux incolore, couleur de la glycérine blanche, inodore à la température ordinaire; à 40°, il dégage une odeur caractéristique. La densité égale 1,60; la saveur est douceâtre; c'est un corps toxique : une goutte placée sur la langue et expulsée immédiatement donne de violentes migraines; il suffit même du contact de la main. Il faut

se laver les mains après contact avec une dissolution chaude contenant 4 à 5 pour 100 de soude caustique, puis avec de l'eau pure. Le café noir fort dissipe le mal de tête et les nausées. En cas d'indisposition grave et en attendant le médecin il faut employer le repos du corps, les applications de glace, les compresses d'eau froide et le café fort. Les ouvriers qui manipulent la nitroglycérine finissent cependant par ne plus en être incommodés.

La nitroglycérine est presque complètement insoluble dans l'eau (0,003 %); elle est soluble dans l'alcool et l'éther, l'esprit de bois ou alcool méthylique. L'eau précipite la nitroglycérine des solutions alcooliques. Elle est peu volatile à la température ordinaire, elle se vaporise à 50° c. et peut supporter assez longtemps la température de 70° c. sans signe de décomposition. La chaleur atteignant graduellement 109°, elle émet des vapeurs rutilantes et finit par se décomposer lentement sans détoner. Elle détone avec violence à 217° c.

Voici une plaque mince de cuivre sur l'anneau de ce support; on y verse une ou deux gouttes de nitroglycérine et on chauffe brusquement par en dessous, au moyen d'une lampe à gaz; quelques instants après la détonation a lieu et la plaque est entièrement perforée.

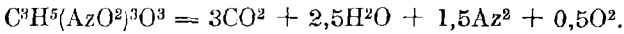
Le choc la fait détoner avec une énorme violence; il ne produit un effet complet que si l'explosif est enfermé ou maintenu dans une enveloppe. La détonation est facile si le choc se fait fer sur fer, fer sur pierre; elle est plus difficile, cuivre sur cuivre et surtout bois sur bois.

La nitroglycérine soumise à un froid peu intense mais prolongé cristallise en longues aiguilles prismatiques ( $D = 1,735$ ); il y a contraction d'environ  $\frac{1}{12}$ ; les cristaux gagnent le fond. Les cristaux ne reprennent l'état liquide que vers 8 à 10° c. La nitroglycérine gelée est plus difficile à faire détoner par le choc que la nitroglycérine liquide.

La nitroglycérine est d'autant plus sensible au choc que sa température est plus élevée. Ainsi, une charge de 65 milligrammes de l'explosif détone à 16° sous le choc d'un poids de 450 gr., tombant de 0<sup>m</sup>45; à 94° le même poids ne demande qu'une chute de 0<sup>m</sup>22 et à 182°, le moindre choc la fait détoner. C'est du reste là un fait général et qui se comprend facilement.

290. *Force de la nitroglycérine.*

La formule de décomposition est :



|          |                          |          |               |
|----------|--------------------------|----------|---------------|
| $\omega$ | = 227.                   | $V_m$    | = 161',82.    |
| $Q_{mp}$ | = 329 <sup>cal</sup> ,5  | $v_k$    | = 712',86.    |
| $Q_{mv}$ | = 333 <sup>cal</sup> ,6  | $t$      | = 3153°.      |
| $Q_{kp}$ | = 1451 <sup>cal</sup> ,5 | $f$      | = 9281, 7 kg. |
| $Q_{kv}$ | = 1469 <sup>cal</sup> ,8 | $\alpha$ | = 0,7128      |
| $W$      | = 624673 kgm.            |          |               |

On voit, d'après ces chiffres, que la différence des effets entre la nitroglycérine et la poudre noire est énorme à poids égaux. A volumes égaux, l'écart sera plus considérable encore. En pratique, on trouve qu'à poids égaux, la nitroglycérine fournit 5 à 6 fois l'effet de la poudre noire.

Les produits de la décomposition ne sont pas toujours ceux que nous avons indiqués plus haut. Quand le choc n'est pas suffisant (raté de détonation), les produits gazeux renferment de l'oxyde de carbone, du protoxyde d'azote, de l'eau, de l'azote, de l'hydrogène, de l'acide carbonique, du gaz des marais. Plusieurs de ces gaz ne sont pas seulement asphyxiants mais encore toxiques, ce qui a de graves inconvénients dans le tirage des mines.

**291. Modes de décomposition de la nitroglycérine.** — 1° Elle peut éprouver une décomposition spontanée lente sans explosion ; on trouve alors comme produits : de l'acide azotique, de l'acide glycérique, de l'acide oxalique, etc.

2° Elle se décompose spontanément avec explosion ; les causes sont mal connues, mais elles sont dans tous les cas, en relation avec l'acidité de la nitroglycérine, la température ambiante, les trépidations, etc.

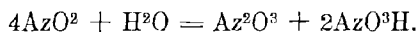
Le 24 juin 1868, un transport de 1800 kilogr. de nitroglycérine détona spontanément à Quenast, en détruisant tout à plusieurs centaines de mètres à la ronde ; le chariot, les chevaux, les conducteurs, les soldats d'artillerie qui avaient la surveillance du convoi furent pulvérisés, on n'en retrouva aucune trace. La température ce



jour-là était fort élevée, la voiture non suspendue, la nitroglycérine probablement acide, etc.

De la nitroglycérine bien lavée, exempte de toute trace d'acide et d'eau, se conserve parfaitement bien, à condition toutefois de rester à l'abri des rayons lumineux. Nous avons remarqué, depuis de longues années déjà, que de la nitroglycérine très pure conservée à la lumière un peu vive devenait acide au bout de peu de temps; celle conservée dans l'obscurité reste parfaitement neutre.

Un signe de commencement de décomposition, c'est la couleur verdâtre que prend le liquide, il faut immédiatement l'enterrer; il est du reste prudent de détruire toute substance explosive qui a éprouvé un commencement de décomposition. Cette couleur verdâtre existe surtout dans le cas d'un raté de détonation. Elle est due à la présence d'une certaine quantité d'anhydride azoteux due à la transformation du peroxyde d'azote en présence de l'eau :



L'anhydride azoteux forme un liquide bleu, le peroxyde d'azote est jaune : le mélange forme le vert.

3° Elle s'enflamme par l'approche d'un corps en ignition en donnant des vapeurs nitreuses; l'inflammation est difficile et dangereuse sur l'explosif liquide, elle est facile et sans danger quand la nitroglycérine est mélangée d'un corps inerte tel que du sable, du kieselguhr, ce qui est le cas de la dynamite. Cependant, la dynamite, allumée en grand tas, s'enflamme d'abord, puis fait explosion.

4° Chauffée brusquement, elle fait explosion avec violence.

5° Elle éclate par le choc énergique et surtout sous l'influence de la détonation d'un composé explosif voisin, tel que le fulminate de mercure; dans ce dernier cas, la nitroglycérine fournit ses effets destructeurs les plus grands.

6° Elle se décompose par les alcalis. On peut mettre cette propriété à profit dans les places où l'on manie la nitroglycérine.

Les ateliers doivent être minutieusement nettoyés au moins une fois par semaine et immédiatement, si de la nitroglycérine s'est

répandue sur le sol ou sur les tables. On lessive au moyen d'une solution chaude de soude caustique.

7° La lumière vive la décompose peu à peu; elle devient acide et par cela même dangereuse.

**292. Usages de la nitroglycérine.** — Autrefois elle servait au tirage des mines dans les carrières; mais, à la suite de plusieurs catastrophes terribles, on renonça partout à son emploi sous la forme liquide. En 1866, le navire anglais, *l'European*, déchargeait à Aspinwall des caisses renfermant de la nitroglycérine; on ne sait comment celle-ci fit explosion, mais les ravages furent terribles, soixante-six personnes disparurent, le navire fut démoli et flotta à l'état d'épave, les pertes matérielles s'élevèrent à 5 millions de francs.

En 1868, en Belgique, à Quenast eut lieu une terrible explosion qui heureusement se produisit en pleine campagne; on frémit en pensant à la catastrophe qui aurait eu lieu si les 1800 kilogrammes de nitroglycérine avaient détoné dans le village de Quenast.

On se rappelle sans doute encore de l'explosion qui eut lieu en 1875 dans le port de Bremerhafen et qu'une main criminelle avait préparée. Une caisse avait été apportée au dernier moment; à peine fut-elle mise sur le quai qu'une explosion épouvantable retentit, détruisant et tuant tout dans un rayon de 200 mètres. Soixante-dix personnes périrent. Sur l'aveu du criminel blessé et moribond, la caisse était chargée de nitroglycérine et de dynamite qu'un mouvement d'horlogerie devait faire détoner lorsque le navire serait en pleine mer, et cela dans le but de toucher des primes d'assurances.

La plupart des gouvernements proscrivirent le transport du dangereux explosif, et en Belgique on en défendit même la fabrication.

## § 2. — DYNAMITES A BASES INERTES.

**293.** — Des savants et des industriels étudièrent aussitôt les moyens de rendre inoffensive cette nitroglycérine si dangereuse à manier, mais si précieuse au point de la puissance. Ce fut Nobel, ingénieur suédois, qui résolut le problème en 1867, en inventant la dynamite (*dunamis*, force, puissance).

Il mélange la nitroglycérine liquide avec des matières poreuses finement triturées; il obtient ainsi une masse plastique douée de propriétés toutes nouvelles; la nitroglycérine est emprisonnée dans une pâte, qui peut être moulée, enveloppée de papier, emballée dans des caisses et transportée au loin avec une sécurité telle, qu'actuellement aucun chemin de fer ne s'oppose plus à sa manutention. La dynamite est un des explosifs les plus sûrs, sans faire exception à la poudre noire.

294. — Le meilleur absorbant pour la nitroglycérine est le *kieselguhr* choisi par Nobel. C'est une sorte de silice constituée par les carapaces fossilisées d'une infinité d'infusoires; pulvérisée très finement, elle constitue une matière douce au toucher; chaque grain, examiné au microscope, se présente sous la forme d'une masse spongieuse.

La nitroglycérine liquide pénètre dans les cellules de chaque grain et s'y trouve parfaitement fixée. Il n'en est pas de même quand on fait usage de sable; le grain de sable forme une masse pleine, impénétrable au liquide qui se loge dans les intervalles des grains; la dynamite à base de sable est naturellement sujette au suintage de la nitroglycérine.

Le *kieselguhr* absorbe trois fois son poids de nitroglycérine sans devenir graisseux. Il s'extrait à Oberlohe (Hanovre).

Composition de la silice d'Oberlohe :

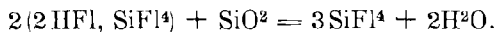
|                       | 1 <sup>er</sup> étage (supérieur). | 2 <sup>e</sup> étage (inférieur). |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Eau . . . . .         | 8,431                              | } 24,42                           |
| Matières organiques   | 2,279                              |                                   |
| Terre siliceuse . . . | 87,850                             | 74,48                             |
| Carbonate de chaux    | 0,730                              | 0,34                              |
| Oxyde de fer . . . .  | 0,731                              | 0,39                              |
| Terre argileuse . . . | 0,132                              | "                                 |
|                       | <hr/> 100,153                      | <hr/> 99,63                       |

En France on a découvert des silices naturelles possédant les mêmes qualités que le *kieselguhr*; telle est la *randanite* qu'on trouve à Randan (Auvergne).

A défaut de ces substances, on fait usage de kaolin, de tripoli, de cendres alumineuses du boghead, de poudre à tirer pulvérisée, etc.; mais ces matières absorbent moins d'huile explosive et ne la retiennent pas aussi bien que le kieselguhr ou la randanite.

**295.** M. Kessler utilise l'acide fluosilicique pour préparer en grand et très économiquement la silice pure destinée à la fabrication de la dynamite.

Quand on distille de l'acide hydrofluosilicique avec de la silice en excès, il repasse tout entier à l'état de gaz fluosilicique mélangé de vapeur d'eau en entraînant ainsi, une quantité de silice égale à la moitié de celle que pourrait former le silicium qu'il contient déjà :



La réaction est inverse de celle qui a servi à la former.

Par le refroidissement, au contraire, la dissociation a lieu, la silice entraînée se précipite en totalité et l'acide hydrofluosilicique se reforme en quantité égale à celle employée : on le retrouve par expression ou lavage et l'on s'en sert pour recommencer.

**296. Observation générale sur le choix de la matière absorbante.** — Il convient, pour que la dynamite offre un minimum de danger, que l'homogénéité et la stabilité du mélange soient parfaites. La matière absorbante doit retenir le liquide explosif dans ses pores et ne donner lieu à aucune exsudation ou mise en liberté de nitroglycérine dans les différentes circonstances de transport, de compression, de température, sinon on retombe dans les dangers du maniement de la nitroglycérine. Comme nous l'avons dit, le corps absorbant doit avoir une structure spongieuse qui s'oppose à la séparation spontanée du liquide explosif.

Le sable, la brique pilée, le coke pulvérisé, etc., etc., doivent être rejetés.

La matière absorbante ne doit en outre contenir aucune substance qui, par une action mécanique modérée, pourrait provoquer une explosion.

Il est bon de se méfier des absorbants qui contiennent des corps

pouvant réagir en présence des acides ou des matières organiques, susceptibles de se décomposer ou de fermenter sous certaines influences.

**297. Préparation industrielle de la dynamite.** — Le kieselguhr est réduit en poudre impalpable, puis calciné et tamisé; on ajoute quelques centièmes de craie, de carbonate de magnésium, etc., pour empêcher une acidification possible. L'absorbant est placé dans un vase en grès ou en porcelaine (20 à 25 parties) ou mieux dans des vases de plomb, de bois, de caoutchouc ou de gutta-percha, puis on verse dessus la nitroglycérine (80 à 75 parties); l'ouvrier brasse avec une spatule de corne, ou avec la main gantée de caoutchouc. L'opération du brassage se fait dans des baraques en planches éloignées et entourées d'épais parapets en terre.

La masse bien homogène est ensuite moulée en cartouches. L'appareil dont on fait usage est un cylindre horizontal en fer qui porte à une de ses extrémités un entonnoir, la pâte est placée dans le cylindre et l'ouvrier la refoule vers l'entonnoir au moyen d'un piston en bois; la dynamite sort de l'entonnoir sous la forme d'un saucisson compact qui est coupé à longueur.

Dans certaines usines, au lieu de faire usage d'un piston pour refouler la dynamite on emploie une hélice, ce qui a encore l'avantage de parfaire le mélange.

A Paulilles (France), l'encartouchage de la dynamite se fait à la main. Les étuis à cartouches en papier parchemin et à joint hélicoïdal collé sont fabriqués d'avance. L'ouvrier introduit l'étui dans un tube en laiton ouvert aux deux bouts (0<sup>m</sup>120 de long, 0<sup>m</sup>024 de diamètre intérieur, 0<sup>m</sup>026 de diamètre extérieur) et y bourre peu à peu la dynamite. L'étui est enlevé après remplissage, on mesure la cartouche, on rabat le papier et on emballe.

La longueur de la cartouche est ordinairement de 12 centimètres; son diamètre est de 2,2 centimètres et son poids varie de 90 à 100 gr.

La matière moulée est enveloppée d'une feuille de papier parchemin. Les cartouches sont emballées par 25 dans des boîtes en carton recouvertes de papier goudronné. Dix de ces boîtes forment la caisse ordinaire de 25 à 30 kilogrammes.

**298. Propriétés de la dynamite.** — Elle se présente sous la forme d'une substance blanche, grise, le plus souvent rougeâtre d'après la couleur du corps absorbant; elle est molle, plus ou moins onctueuse suivant la quantité de liquide, et possède les mêmes propriétés toxiques que la nitroglycérine. Sa densité varie de 1,4 à 1,6. Sa stabilité est beaucoup plus grande que celle de la nitroglycérine, elle est peu sujette aux décompositions spontanées.

Il est indispensable cependant de vérifier de temps en temps l'acidité de la dynamite en la touchant au moyen d'un papier de tournesol bleu. En France, la vérification de l'acidité se fait tous les ans. La dynamite acide doit être de suite employée ou détruite.

La dynamite kieselguhr brûle à l'air avec une flamme rosée quand elle est en petites masses en abandonnant l'absorbant. Un tas un peu volumineux de dynamite enflammé brûle d'abord et, dès que l'échappement des gaz éprouve quelque résistance, l'explosion a lieu.

Les officiers sont quelquefois appelés à détruire de la dynamite. Il faut ouvrir les cartouches en enlevant le papier; les mettre bout à bout en contact, y en eût-il une centaine; on met le feu à l'une des extrémités au moyen d'un bout de mèche *sans capsule*, puis on s'éloigne. Le tout brûle paisiblement. On peut se contenter de diviser les cartouches et jeter la dynamite en menus morceaux dans un brasier (n° 545). La dynamite enfermée en vase clos explosionne sûrement par une élévation suffisante de température (240°).

Elle résiste bien aux chocs; elle détone sous l'influence du choc du marteau sur l'enclume, seulement à l'endroit frappé, en faisant entendre le bruit d'un coup de fouet. Elle devient plus sensible à mesure que la température s'élève. Elle fait explosion sous le choc d'une balle de fusil, même à grande distance, ce qui en rend l'emploi impossible sur les champs de bataille. Elle ne peut servir au chargement des obus-torpilles, elle détone sous l'action du choc au départ; elle résiste quelquefois quand on diminue la proportion de nitroglycérine, mais alors ses effets ne dépassent plus ceux de la poudre noire.

C'est dans le but de pouvoir lancer des obus chargés de dynamite que le lieutenant américain Zalinsky a inventé son canon pneuma-

tique. Celui-ci est très long et lance des charges de 270 kilogrammes de dynamite à 6400 mètres au moyen d'air comprimé.

La dynamite emballée dans des caisses supporte sans danger les secousses du transport en chemin de fer, en voiture, etc ; le manie-ment de cette matière est, avec les précautions usuelles, moins dan-geroux que les autres préparations explosives, la poudre noire non exceptée.

Des caisses du commerce contenant sous emballage ordinaire 25 kilogram. de dynamite ont été jetées de 7 à 8 mètres de hauteur sur des pavés sans faire explosion. Il en a été de même de la chute de pièces de bois, de pierres, etc.

Nous ne parlons évidemment ici que de la dynamite kieselguhr, beaucoup de dynamites laissant à désirer au point de vue de la bonne qualité de l'absorbant. L'eau déplace peu à peu la nitroglycérine qui devient libre. Cela se présente lorsque les cartouches sont placées sous l'eau ou lorsque le corps absorbant est hygroscopique.

**299. Explosion de la dynamite.** — Elle s'obtient inévitablement et avec des effets maximum par la détonation d'une capsule chargée au moins de 6 décigrammes de fulminate de mercure. Les capsules militaires renferment de 1 à 2 grammes de fulminate afin d'assurer même la détonation de la dynamite gelée (n° 304).

L'explosion exige des amorces plus faibles lorsque la dynamite est enfermée en vase clos; autrefois les trous de mine chargés de dynamite étaient amorcés au moyen d'une cartouche de poudre noire qu'on allumait par la mèche; seulement les effets sont très atténués et de plus cette explosion incomplète dégage beaucoup de gaz nitreux et même de la nitroglycérine non décomposée dont l'inhalation incommode et empoisonne les mineurs.

**300. Amorçage d'une cartouche.** — On fait usage d'une mèche de mineur et surtout de la mèche Bickford; celle-ci comprend une âme en pulvérin enveloppée d'étoupe et d'une ficelure; elle est blanche pour les terrains secs, goudronnée pour les terrains humides et recouverte de gutta-percha pour les mines sous l'eau. Ces mèches brûlent lentement avec une grande régularité à raison de 0<sup>m</sup>70 par minute; comme cette quantité varie un peu d'une fabrique à l'autre,

il faut essayer un échantillon d'une longueur donnée (1 mètre) au moyen d'une montre à secondes.

On coupe un bout de mèche à longueur convenable; une des extrémités est coupée carrément au moyen d'un couteau ou d'une pince, l'autre est coupée obliquement en sifflet, afin de mettre une surface plus grande du canal fusant à nu. Le bout carré est introduit à fond dans la capsule (vérifier si la capsule ne renferme pas du son ou de la sciure de bois de l'emballage), puis on fixe la capsule à la mèche en sertissant le tube au moyen d'une pince, d'une tenaille ou même des dents.

Le papier de la cartouche de dynamite est ouvert à un des bouts et on enfonce la capsule dans la pâte plastique, mais sans l'y noyer complètement : c'est là un point important. Une capsule enfoncée trop profondément donne lieu à un raté ou à une explosion atténuée; on comprend que dans ce cas la dynamite prend feu par la mèche; il se forme une couche de gaz entre la capsule et la matière explosive, le contact intime n'existe plus et le choc est amorti par le matelas gazeux, d'où raté ou explosion incomplète avec dégagement de gaz malsains.

La capsule étant mise en place on rabat le papier et on le lie à la mèche afin qu'elle ne se dérange pas.

Pour le chargement d'une mine, on refoule la matière plastique dans le trou, sans même ouvrir le papier, au moyen d'un bourroir en bois; il faut bourrer chaque cartouche; le chargement fini, on place au-dessus une cartouche amorcée comme il a été dit; on achève de remplir le trou avec du sable sec ou même avec de l'eau.

Ce bourrage à l'eau est excellent; seulement il faut employer une mèche à la gutta-percha et paraffiner ou cirer le joint de la capsule. Il est naturellement dangereux de bourrer au-dessus de la capsule.

On peut amorcer au moyen d'une cartouche de poudre noire et mèche sans capsule au fulminate. Il faut alors un fort bourrage au-dessus; mais, nous l'avons dit, l'effet produit par l'explosion est moindre.

**301. Tubes et cordeaux détonants.** — On peut aussi faire usage de cordeaux pour transmettre instantanément le feu aux charges



de dynamite et autres explosifs. Ce sont des tubes de plomb ou d'étain remplis de coton-poudre pulvérulent (nitrohydrocellulose), puis réduits par un étirage à un faible diamètre (4<sup>mm</sup> de diamètre extérieur, 2<sup>mm</sup> intérieur). On peut amorcer l'extrémité de ce tube au moyen d'une capsule au fulminate de mercure, l'autre extrémité plonge dans la charge à faire détoner. La transmission se fait avec une très grande rapidité (4060<sup>m</sup> par seconde en moyenne). Les cordons peuvent avoir une très grande longueur; ils peuvent être ramifiés et former des dérivations en nombre illimité, susceptibles de faire détoner une série de charges simultanément (*Mémorial des poudres et salpêtres*, tome II, page 36).

Ces tubes sont aussi chargés de nitromannite.

Lorsqu'on met le feu à un tube par l'approche d'un corps en ignition, la combustion s'arrête bientôt.

**302. Détonation de la dynamite par influence.** — La dynamite peut détonner à distance sous l'influence de la détonation d'une cartouche voisine. Des expériences faites en France avec deux cartouches (100 gr.) attachées à des piquets prouvent que la détonation se transmet au maximum à 0<sup>m</sup>80.

Si les cartouches sont placées en grand nombre sur une ligne droite, la grande dimension des cartouches perpendiculaire au développement de la ligne des cartouches, on peut les éloigner de 1<sup>m</sup>30 et obtenir la détonation simultanée de toute la ligne par l'amorçage d'une seule cartouche.

**303. Ratés de mine.** — Ils peuvent provenir de différentes circonstances : 1° de la mauvaise qualité des mèches; 2° la mèche ne touche pas le fulminate; 3° la mèche est étranglée par une sertissure trop énergique de la capsule; 4° la capsule ne touche pas la dynamite; 5° la capsule n'est pas assez forte, 6° la dynamite est gelée.

**304. Dynamite gelée.** — La dynamite soumise pendant un temps assez long à une température inférieure à 6° gèle; elle devient dure comme la pierre et elle ne reprend sa plasticité qu'à 8°; c'est là un des inconvénients les plus graves de ce précieux explosif.

La dynamite gelée n'éclate plus sous l'influence de la capsule ordinaire, elle exige l'emploi de capsules renforcées contenant au moins

un gramme de fulminate de mercure ; certaines capsules renferment jusque 2 grammes de détonateur. Quelquefois la dynamite gelée ne détone qu'en partie. Elle fait encore explosion sous l'influence d'une cartouche de dynamite non gelée ou d'un pétard-amorce de dynamite au fulmi-coton de Trauzl (mélange de 25 parties de coton-poudre pulvé et 75 parties de nitroglycérine).

**305. Dégel de la dynamite.** — Cette opération est importante dans l'industrie, parce que la dynamite gelée ne peut plus être bourrée. Le dégel est long et délicat ; il est impossible de le pratiquer en temps de guerre ; il est dangereux.

Le 21 février 1878, pendant des exercices pratiques de sautage à la dynamite qui se faisaient à Parme, on mit à dégeler de la dynamite dans des bidons chauffés au bain-marie. Un lieutenant de cavalerie prend un bidon destiné à son détachement et le met sur le feu pour aller plus vite ; une grande quantité de curieux le regardaient faire. Soudain la dynamite fit explosion : le lieutenant fut déchiqueté et plus de 80 personnes furent tuées et blessées par les projections de sable et de pierres. Peut-être l'explosion fut-elle produite par une braise chauffant brusquement le fond du bidon. Souvent les mineurs mettent dégeler leur dynamite dans des cendres chaudes, même quelquefois sur les buses des poêles ; ce sont là de stupides imprudences.

Il ne faut pas dégeler la dynamite en la plaçant dans de l'eau chaude, cette méthode de dégel met la nitroglycérine en liberté, elle finit par former une couche huileuse au fond du vase, ce procédé doit être absolument proscrit.

On doit employer un appareil constitué comme suit : un vase métallique recouvert à l'intérieur de bois est placé dans l'intérieur d'un autre vase métallique. Les parois des deux vases sont séparées par un vide d'une épaisseur de plusieurs centimètres ; les vases sont fixés l'un à l'autre par leurs bords supérieurs au moyen d'une paroi pleine. L'intervalle entre les vases est rempli d'eau chaude maintenue à 30° c. Les cartouches sont placées debout dans le vase intérieur ; on ferme au moyen d'un couvercle ; l'opération est très lente.

Dans les arts militaires il vaut mieux ne pas dégeler la dynamite,

on fera usage de capsules renforcées et de pétards. Ceux-ci sont très utiles puisqu'il n'est plus possible de faire pénétrer la capsule dans la dynamite durcie. Le pétard consiste en un petit cylindre de fer blanc dans lequel on tasse de la dynamite ordinaire ou de la dynamite au coton-poudre. La charge est de 25 gr. Ce cylindre est fermé par deux couvercles à frottement dur portant à leur centre un petit tube en creux destiné à recevoir la capsule. Ces pétards sont mis à l'abri de la gelée ; à la rigueur, l'officier ou le sous-officier les met dans la poche du pantalon.

Dans les chantiers importants, on conserve la dynamite dans des baraques en planches à doubles parois remplies de charbon de bois ou d'un corps mauvais conducteur de la chaleur ; la température est maintenue à 22° c.

On a aussi préconisé de dégeler la dynamite en l'enfouissant dans un tas de fumier de cheval ; cette méthode est dangereuse, la température peut atteindre un degré trop élevé.

Le passage de l'état solide à l'état pâteux rend quelquefois la dynamite très sensible, à cause peut-être du travail moléculaire qui a lieu. On a des exemples de dynamites gelées éclatant spontanément à des températures relativement basses.

Il arrive aussi lorsque l'absorbant est de mauvaise qualité, que lors du dégel, la nitroglycérine se sépare, d'où résulte un suintage qui offre de sérieux dangers.

Les cartouches gelées ne doivent jamais être frottées ou comprimées contre des corps durs ; elles ne doivent pas être brisées, on s'expose à une explosion. Des ouvriers ont été tués en essayant de forer un trou pour la capsule dans des cartouches gelées.

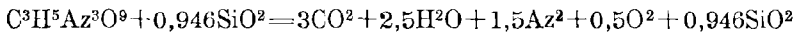
**306. Force de la dynamite.** — Comparée à la nitroglycérine, ses effets sont moins brisants. On comprend, en effet, que la chaleur dégagée se partageant entre les gaz et le kieselguhr, les pressions initiales seront diminuées, et d'autant plus, que la quantité de matière inerte sera plus considérable, cependant le potentiel restera toujours le même étant proportionnel au poids de nitroglycérine.

La dynamite sera d'autant plus brisante qu'elle est plus riche en nitroglycérine.

L'interposition du kieselguhr rend aussi la dynamite plus inerte au choc que la nitroglycérine : la force vive du choc est répartie entre la matière inerte et la nitroglycérine.

On comprend que la structure moléculaire du corps absorbant a ici une certaine importance ; sa compacité, sa porosité peuvent changer beaucoup la loi de la propagation de la décomposition explosive.

La dynamite à 25 % de kieselguhr se décompose suivant la formule :



au moyen de laquelle on peut calculer les éléments de la force.

### § 3. — DYNAMITES A BASES ACTIVES.

**307.** Nous avons vu que la nitroglycérine renferme un excès d'oxygène qui peut être utilisé pour brûler des corps combustibles ; il y a ainsi formation d'une quantité de gaz plus considérable, d'une émission de chaleur plus grande dont les effets viennent s'ajouter à ceux de la nitroglycérine. Dans le principe, on fit usage de charbon de bois, de sciure de bois, de farine, etc. Bientôt, on ajouta des substances explosives par elles-mêmes, telles que la poudre noire, le coton-poudre, la paille nitrée, etc.

On a prétendu que l'absorbant explosif agit trop tard pour produire un effet utile. Mowbray dit que c'est comme si l'on voulait accroître la vitesse du courant électrique en lui ajoutant celle d'une locomotive ; cependant la pratique a ratifié l'usage des dynamites à bases actives et les expériences aux crushers démontrent que les pressions augmentent ; c'est qu'en effet, sous l'influence de la nitroglycérine, la poudre noire qui lui sert d'absorbant éprouve une décomposition beaucoup plus brusque que dans les conditions ordinaires, et l'on peut dire que la force totale est la somme des forces individuelles des deux explosifs.

Les dynamites à bases actives sont actuellement très nombreuses.

**308.** Nous donnons ci-après un certain nombre de compositions à bases inertes et actives.

*Dynamites de Vonges.*

|                                 | N° 1.<br>à 75 o/o. | N° 2.<br>à 50 o/o. | N° 3.<br>à 30 o/o. | N° 4.<br>à 90 o/o. |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Nitroglycérine . . . . .        | 75,0               | 50,0               | 30,0               | 90                 |
| Randanite . . . . .             | 20,8               | —                  |                    | 1                  |
| Silice de Vierson. . . . .      | 3,8                | 48,0               |                    |                    |
| Sous-carbonate de magnésie . .  | 0,4                |                    |                    | 1                  |
| Craie de Meudon . . . . .       |                    | 1,5                | 10                 |                    |
| Ocre rouge . . . . .            |                    | 0,5                |                    |                    |
| Silice de Lannois . . . . .     |                    |                    | 60                 |                    |
| Laitiers de hauts fourneaux . . |                    |                    | 4                  |                    |
| Ocre jaune . . . . .            |                    |                    | 5                  | 8                  |

*Dynamites Nobel.*

|              |   |                          |       |                             |
|--------------|---|--------------------------|-------|-----------------------------|
| N° 1         | { | Nitroglycérine . . . . . | 72,00 |                             |
| (ordinaire). |   | Kieselguhr . . . . .     | 28,00 |                             |
| N° 2.        | { | Nitroglycérine . . . . . | 52,00 | } sciure de bois salpêtrée. |
|              |   | Sciure de bois . . . . . | 16,00 |                             |
|              |   | Salpêtre . . . . .       | 30,50 |                             |
|              |   | Carbonate de soude       | 1,50  |                             |
| N° 3.        | { | Nitroglycérine . . . . . | 52,00 | } sciure de bois salpêtrée. |
|              |   | Sciure de bois . . . . . | 10,00 |                             |
|              |   | Salpêtre . . . . .       | 33,50 |                             |
|              |   | Carbonate de soude       | 1,50  |                             |

Quand la sciure de bois est légèrement torrifiée (à 150°), la force de l'explosif augmente de 5 à 8 o/o.

Ces dynamites sont destinées à la rupture de rochers de dureté moyenne : tels que la houille, les matériaux de carrière dans lesquels une force explosive trop grande donnerait trop de menus.

*Extra dynamite Nobel (1879).*

|                                | N° 1. | N° 2. |
|--------------------------------|-------|-------|
| Nitroglycérine . . . . .       | 23    | 63    |
| Nitrocellulose. . . . .        | 71    | 24    |
| Nitrate d'ammoniaque . . . . . | 2     | 12    |
| Charbon de bois . . . . .      | 4     | 1     |

On peut remplacer la nitrocellulose par la nitrodextrine, le nitro-amidon et le charbon par de l'amidon, du sucre, de la dextrine, etc.

*Dynamites blanches.*

|                                  |    |    |
|----------------------------------|----|----|
| Nitroglycérine . . . . .         | 63 | 55 |
| Craie . . . . .                  | 20 | ”  |
| Carbonate de magnésium . . . . . | 5  | 30 |
| Sciure de bois . . . . .         | 10 | 15 |
| Coton-poudre . . . . .           | 2  | ”  |

*Dynamite rouge.*

|                          |    |   |    |
|--------------------------|----|---|----|
| Nitroglycérine . . . . . | 66 | à | 68 |
| Tripoli . . . . .        | 34 | à | 42 |

*Dynamite cellulose.*

|                                      |    |   |    |
|--------------------------------------|----|---|----|
| Nitroglycérine . . . . .             | 70 | à | 75 |
| Charbon de bois peu calciné et broyé | 30 | à | 25 |

Cette dynamite forme une masse plastique d'un brun chocolat, ressemblant à de la chicorée torréfiée. Elle laisse suinter la nitroglycérine par la pression des doigts. Gelée, elle détone encore par le fulminate à 1 gramme, ce qui est un avantage.

Elle est moins sensible à l'action massive de l'eau que la dynamite kieselguhr. Elle brûle presque sans résidus.

*Dynamite noire.*

|                          |    |
|--------------------------|----|
| Nitroglycérine . . . . . | 45 |
| Coke pulvérisé . . . . . | 55 |

*Pandopollite.* — Elle est fabriquée à Opladen (Prusse rhénane).

|                                |    |   |    |
|--------------------------------|----|---|----|
| Kieselguhr . . . . .           | 20 | à | 23 |
| Craie . . . . .                | 2  | à | 3  |
| Sulfate de baryum . . . . .    | 7  |   |    |
| Nitroglycérine et naphthaline. | 15 | à | 70 |

La naphthaline empêche la formation de vapeurs nitreuses, mais elle dégage beaucoup de fumée.

*Lithofracteurs.* — Ces dynamites sont beaucoup employées. Ce sont des mélanges de nitroglycérine et de poudre noire de plus ou moins bonne qualité.

|                          |    |    |
|--------------------------|----|----|
| Nitroglycérine . . . . . | 52 | 55 |
| Kieselguhr . . . . .     | 30 | 21 |

|   |                             |    |    |
|---|-----------------------------|----|----|
| } | Houille . . . . .           | 12 | 6  |
|   | Nitrate de sodium . . . . . | 4  | 15 |
|   | Soufre . . . . .            | 2  | 3  |

Ces dynamites sont noires, elles s'enflamment à 120°; à cause de la présence du nitrate de sodium, elles sont hygroscopiques, ce qui est mauvais. Dans la détonation elles dégagent de l'oxyde de carbone qui incommode les mineurs.

D'autres lithofracteurs contiennent jusque 75% de nitroglycérine.

*Dynamite grise de Paulille.*

|                          |    |   |    |
|--------------------------|----|---|----|
| Nitroglycérine . . . . . | 20 | à | 25 |
| Poudre noire . . . . .   | 80 | à | 75 |

Elle ne durcit pas par la gelée et retient bien la nitroglycérine; elle est plus inflammable, plus sensible à l'humidité que la dynamite kieselguhr; elle dégage de l'oxyde de carbone délétère. Elle agit comme poudre lente vu son peu de richesse en nitroglycérine, elle donne des débris peu considérables dans les mines.

*Dynamite Nobel à la baryte.*

|                             |    |                   |
|-----------------------------|----|-------------------|
| Nitrate de baryum . . . . . | 70 | 68                |
| Résine . . . . .            | 10 | 12 (charbon gras) |
| Nitroglycérine . . . . .    | 20 | 20                |

*Carbodynamite* (Reid et Borland).

|   |       |
|---|-------|
| Nitroglycérine . . . . .                  | 90    |
| CO <sup>3</sup> Na <sup>2</sup> . . . . . | 1,50  |
| Poudre de bois . . . . .                  | 10,00 |

*Carbonite.*

|   |     |
|---|-----|
| Nitroglycérine . . . . .                  | 25  |
| Salpêtre . . . . .                        | 34  |
| CO <sup>3</sup> Na <sup>2</sup> . . . . . | 0,5 |
| Sciure de bois fine . . . . .             | 75  |
| Sulfobenzine . . . . .                    | 0,5 |

*Colonia powder.*

|                          |    |    |
|--------------------------|----|----|
| Nitroglycérine . . . . . | 30 | 40 |
| Poudre de mine . . . . . | 70 | 60 |

*Sébastine* (Boechman de Stockholm).

|                           |    |  |
|---------------------------|----|--|
| Nitroglycérine . . . . .  | 78 | 68                                     |
| Charbon de bois . . . . . | 14 | 20 (très poreux et<br>très absorbant.) |
| Nitre . . . . .           | 8  | 12                                     |

Le charbon de bois est très poreux et peut absorber 10 fois son poids de nitroglycérine. L'inventeur estime que l'augmentation d'effet résultant de la plus grande rapidité de l'explosion de cette poudre est de 10 %.

*New-Sébastine* (Fahnejejm).

|                             |    |    |
|-----------------------------|----|----|
| Nitroglycérine . . . . .    | 45 | 75 |
| Charbon . . . . .           | 15 | 30 |
| Nitrate de sodium . . . . . | 5  | 25 |

Le nitrate de sodium est déliquescent et provoque le suintement de la nitroglycérine.

*Judson powder.*

|                             |       |                     |
|-----------------------------|-------|---------------------|
| Nitroglycérine. . . . .     | 5,00  | 20,00               |
| Nitrate de sodium . . . . . | 64,00 | 59,90               |
| Soufre . . . . .            | 16,00 | 13,50               |
| Charbon bitumineux. . . . . | 15,00 | 12,60 (Cannel Coal) |

*Explosifs de Engels Jacobs* (Deutz).

|                             |      |   |    |
|-----------------------------|------|---|----|
| Nitroglycérine. . . . .     | 70   | à | 60 |
| Pyroxyle . . . . .          | 5    | à | 10 |
| Pyropapier . . . . .        | 15,5 | à | 18 |
| Nitromannite . . . . .      | 5    | à | 1  |
| Nitrate d'ammonium. . . . . | 10   | à | 30 |
| Salpêtre . . . . .          | 8    | à | 10 |

*Ammoniac krut* (Ohlson et Newbin).

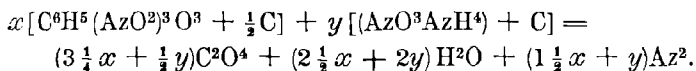
|                             |    |   |    |
|-----------------------------|----|---|----|
| Nitroglycérine. . . . .     | 10 | à | 20 |
| Nitrate d'ammonium. . . . . | 80 |   |    |
| Charbon. . . . .            | 6  |   |    |

Ce mélange est hygroscopique à cause du nitrate d'ammonium.

C'est une substance très énergique à cause du caractère explosif de la nitroglycérine et de l'azotate d'ammonium. On ajoute du charbon pour absorber le liquide explosif.



Les systèmes qui correspondent à la combustion totale sont donnés par la formule :



Si  $x = 1$ ;  $y = 6$ .

La composition immédiate serait :

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Nitroglycérine. . . . .     | 14,10  |
| Nitrate d'ammonium. . . . . | 79,60  |
| Charbon . . . . .           | 6,30   |
|                             | 100,00 |

*Dynamites de Matagne.*

|                                | A l'ammoniaque. | Grisoutites. | Mélanite. |
|--------------------------------|-----------------|--------------|-----------|
| Nitroglycérine . . . . .       | 26,25 35        | 42 à 45      | 83 à 87   |
| Azotate d'ammonium . . . . .   | 65 65           | "            | "         |
| Kieselguhr. . . . .            | 8,75            | 11 à 12      | "         |
| Sulfate de magnésium . . . . . | "               | 47 à 43      |           |
| Coton-poudre soluble . . . . . | "               | "            | 17 à 13   |

*Grisoutine M.*

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Azotate d'ammoniaque . . . . . | 80 |
| Dynamite guhr à 75 % . . . . . | 20 |

*Grisoutine B.*

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Azotate d'ammoniaque . . . . . | 88 |
| Nitrogélatine . . . . .        | 12 |
| (Coton octonitrique 2).        |    |
| (Nitroglycérine. . . . . 98).  |    |

*Fulminatine* (Fuchs d'Alt Berau, Silésie).

|   |    |
|---|----|
| Mélange de nitroglycérine et de laine tontisse. |    |
| 85  | 40 |

*Pâte explosive* (Spring paste).

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Nitroglycérine . . . . .        | 72 |
| Craie . . . . .                 | 6  |
| Carbonate de magnésie . . . . . | 20 |
| Sciure de bois . . . . .        | 2  |

*Mataziette* (de M. Biet).

Mélange de nitroglycérine, de sable, de craie et d'ocre. Le mélange ne retient pas bien la nitroglycérine qui suinte. Elle causa, en 1875, l'explosion de la fabrique de Satigny dans le canton de Genève. Le 18 janvier 1877, la douane française saisit à la frontière italienne 6 barils renfermant cette matière qu'on tentait de faire passer en contrebande; le chargement fut séquestré au fort de Joux. Soudain la mataziette fit explosion, huit ouvriers furent tués et le fort de Joux très éprouvé.

*Poudre explosive de Brain.*

|                          |  |    |    |    |    |
|--------------------------|--|----|----|----|----|
| Nitroglycérine . . . . . | 40   | 78 | 68 | 40 | 40 |
| Matière absorbante       | { Chlorate de potasse }<br>{ Nitrate id. }<br>{ Charbon de liège . }<br>{ Sciure de bois . . } | 8  | 12 | 20 | 10 |
| mélange                  |  | 60 | "  | "  | 10 |
| de                       |  | 14 | 20 | 40 | 40 |
|                          |  | "  | "  | "  | "  |

Le maniement de cette poudre doit être très dangereux.

*Séranine ou poudre de Horsley.*

Mélange de nitroglycérine, et de chlorate de potassium.

Voilà un mélange constitué contre toutes les règles de la prudence.

*Poudre Hercule.*

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Nitroglycérine . . . . .         | 77 |
| Carbonate de magnésium . . . . . | 20 |
| Cellulose . . . . .              | 2  |
| Azotate de sodium . . . . .      | 1  |

*Gélinite.*

|  |      |                   |
|--|------|-------------------|
| Nitroglycérine . . . . .                 | 56,5 | 56,20 (Arendonck) |
| Coton-poudre collodion . . . . .         | 3,5  | 1,80              |
| Bois pulvérisé (farine de bois). . . . . | 8,0  | 10,08             |
| Nitrate de potassium . . . . .           | 32,0 | "                 |
| Nitrate de sodium . . . . .              | "    | 31,29             |
| Carbonate de soude . . . . .             | 0,63 | 0,63              |

*Carbodynamite* (Boland et Reid).

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Nitroglycérine . . . . .           | 90 |
| Charbon de bois de liège . . . . . | 10 |

Le charbon de bois est fabriqué avec du liège; ce qui lui donne beaucoup de volume et une porosité remarquable; on peut ajouter ou non du carbonate de sodium ou du carbonate d'ammonium comme neutralisant.

*Méganite* (Schuckher et C<sup>ie</sup>).

|                                    | N <sup>o</sup> 1 | N <sup>o</sup> 2 | N <sup>o</sup> 3 |
|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Nitroglycérine . . . . .           | 60               | 38               | 7                |
| Nitrocellulose de bois . . . . .   | 10               | 6                | 9                |
| Nitrocellulose de corozo . . . . . | 10               | 6                | 9                |
| Poudre spéciale . . . . .          | 20               | 50               | 75               |

La poudre spéciale est :

Pour le n<sup>o</sup> 1 : du nitrate de sodium seul.

Pour les n<sup>os</sup> 2 et 3 :

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Azotate de sodium . . . . .        | 75 |
| Carbonate de sodium . . . . .      | 1  |
| Farine de bois ou de riz . . . . . | 24 |

*Oriasite*.

C'est la méganite dans laquelle on ne fait usage que de cellulose de bois nitrée.

*Poudre de Cologne-Colonia pulver* (frères Wasserfuhr, Cologne).

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Nitroglycérine . . . . . | 30 à 35 |
| Poudre de mine . . . . . | 70 à 65 |

Elle exige pour détoner une amorce très forte.

*Dualine de Dittmar*.

C'est une dynamite dans laquelle le corps absorbant est de la sciure de bois transformée en nitrocellulose.

|                                  |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Nitrosiure de bois fine. . . . . | 30 (quelquefois non nitrée) |
| Salpêtre . . . . .               | 20                          |
| Nitroglycérine . . . . .         | 50                          |

Elle est moins sujette à la gelée, même durcie elle n'exige pas une forte amorce.

*Paléine ou dynamite paille* (Langfrey).

C'est de la paille transformée par l'attaque de l'acide sulfonitrique en fulmi-paille qui est imbibée de nitroglycérine.

On additionne quelquefois d'une poudre ternaire : salpêtre, soufre,

fécule. C'est un produit stable, peu sensible au choc. On peut rendre la paléine à 40 % de NG. insensible au choc d'une balle par l'incorporation d'un hydrocarbure; elle peut ainsi servir aux usages militaires. C'est le moins sensible de tous les explosifs au choc de la balle.

La paléine résiste assez bien au froid. C'est un excellent explosif; elle demande pour la conservation un magasin sec.

Par le temps la dynamite-paille devient moins sensible à la capsule au fulminate. Elle subit sans doute une gélatinisation progressive de la nitrocellulose par la nitroglycérine. Des expériences ont prouvé que des cartouches fraîches détonaient avec la capsule de 1 gr., au bout de 18 mois de conservation il fallait des capsules de 2 grammes.

*Poudre de Vulcain* (W. Warren).

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Nitroglycérine . . . . .    | 30   |
| Nitrate de sodium . . . . . | 52,5 |
| Soufre. . . . .             | 7,0  |
| Charbon . . . . .           | 10,5 |

*Dualines américaines.*

|                            | N° 1 | N° 2 | N° 3 | N° 4 | N° 5 | N° 6 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Nitroglycérine . . . . .   | 60   | 45   | 50   | 65   | 20   | 80   |
| Coton poudre . . . . .     | "    | "    | 15   | "    | "    | "    |
| Cellulose nitrée. . . . .  | 40   | 30   | 15   | 30   | 70   | 20   |
| Salpêtre . . . . .         | "    | "    | 20   | "    | "    | "    |
| Nitrate de baryum. . . . . | "    | 25   | "    | "    | 10   | "    |
| Résine. . . . .            | "    | "    | "    | 5    | "    | "    |

*Vigorite* (Nordenfeldt).

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| Nitroline . . . . .            | 25 à 30 |
| Cellulose nitrée. . . . .      | 15 à 35 |
| Salpêtre . . . . .             | 15 à 35 |
| Chlorate de potassium. . . . . | 10 à 30 |

La nitroline est de la nitroglucose.

*Fortis.* — Mélanges variés de noir de fumée, soufre et noix de galle, qu'on imbibe de salpêtre et de sulfate de fer. Ce mélange sert d'absorbant à la nitroglycérine.

*Fulgurite.*

|  |    |    |
|--|----|----|
| Nitroglycérine . . . . .               | 60 | 90 |
| Farine de froment et magnésie. . . . . | 40 | 10 |

*Poudre ternaire du laboratoire du Comité autrichien.*

|  |   |
|--|---|
| Cellulose imprégnée de nitre . . . . . | 1 |
| Salpêtre . . . . .                     | 3 |
| Nitroglycérine . . . . .               | 3 |

Cette poudre ne détone pas par les capsules ordinaires, il faut une capsule renforcée. Elle est peu sensible aux chocs; peu influencée par le froid, moins active que la dynamite Kieselguhr. La sciure de bois ou la cellulose absorbe mal la nitroglycérine d'où peuvent naître des dangers.

*Poudre atlas (Atlas Powder).*

|                                  | A  | B  |
|----------------------------------|----|----|
| Nitroglycérine . . . . .         | 75 | 50 |
| Bois nitrifié . . . . .          | 21 | 14 |
| Azotate de sodium . . . . .      | 2  | 34 |
| Carbonate de magnésium . . . . . | 2  | 2  |

*Poudre géant.*

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Nitroglycérine . . . . .   | 36 |
| Salpêtre . . . . .         | 48 |
| Soufre . . . . .           | 8  |
| Résine ou charbon de bois. | 8  |

*Rendrock.*

|  |       |    |       |
|--|-------|----|-------|
| Nitroglycérine . . . . .                       | 20    | 40 | 60    |
| Coton-poudre . . . . .                         | "     | 13 | "     |
| Azotate de potassium ou<br>de sodium . . . . . | 61,50 | 40 | 30,80 |
| Soufre . . . . .                               | 7,40  | "  | 3,70  |
| Paraffine . . . . .                            | 11,10 | 7  | 5,50  |

*Poudre mica.*

|                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| Nitroglycérine . . . . . | 52                            |
| Mica. . . . .            | 48 Ce doit être bien mauvais. |

*Glyoxiline (Abel).*

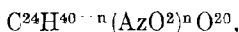
|   |      |
|---|------|
| Nitroglycérine . . . . .                  | 65,5 |
| Fulmi-coton . . . . .                     | 30   |
| Azotate de potassium . . . . .            | 3,5  |
| CO <sup>3</sup> Na <sup>2</sup> . . . . . | 1    |

§ 4. — DYNAMITES AU FULMI-COTON.

**309.** Dans les compositions de dynamites nous avons vu plusieurs fois de la cellulose nitrée par l'acide sulfo-nitrique intervenir en tout ou en partie comme corps absorbant. Le mélange de coton-poudre et de nitroglycérine est rationnel; le coton-poudre est un explosif du même genre que la nitroglycérine, il a les mêmes allures et fait explosion sous les mêmes influences avec à peu près la même énergie.

La nitroglycérine dégage parmi les produits de sa décomposition de l'oxygène; tandis qu'au contraire le coton-poudre dégage de l'oxyde de carbone. Les deux explosifs se complètent par conséquent et leur mélange, fait en proportion convenable, donne un corps d'une énorme énergie et à combustion complète.

Suivant l'espèce de coton-poudre dont on fait usage, on peut obtenir plusieurs variétés de dynamites. Nous verrons plus loin, à l'étude du coton-poudre, que celui-ci peut renfermer plusieurs molécules du radical  $AzO^2$ . La formule générale est :



$n$  peut avoir les valeurs  $n = 11, 10, 9... 3, 2, 1, 0$ .

Les variétés dans lesquelles  $n = 11$  et  $10$  ne sont pas solubles dans la nitroglycérine; au contraire les fulmi-cotons pour lesquels  $n = 9$  et  $8$  sont solubles dans la nitroglycérine chauffée à  $70^\circ$  c.

**310. Dynamite au coton-poudre non soluble.** — Trauzl mélangea, dès 1867, du coton-poudre en pâte avec de la nitroglycérine; il reconnut que ce mélange n'est pas altéré par l'eau, qu'à l'état humide il perd son inflammabilité; à 10 % d'eau il n'est plus sensible au choc et exige pour détoner une capsule au fulminate de mercure. Cette dynamite fait faire explosion à la dynamite gelée, elle sert souvent d'amorce (n° 313).

**311. Gélatine explosive; gomme explosive; dynamite-gomme.** Brevet de 1875 (Blasting gélatine). — C'est Nobel qui découvrit qu'une variété de coton-poudre est soluble dans la nitroglycérine chaude; c'est le coton-poudre pour collodion ( $n = 8$  ou  $9$ ) dont les

photographes firent autrefois un si grand usage. Le mélange forme un corps d'une nature gélatineuse, translucide, d'un jaune clair. La puissance est supérieure à celle de la dynamite ordinaire, elle résiste bien à l'action massive de l'eau et ne laisse pas suinter la nitroglycérine par les plus fortes pressions. Elle marque un progrès important dans l'industrie des dynamites.

**312. Composition :**

|                       |    |    |      |
|-----------------------|----|----|------|
| Nitroglycérine . . .  | 93 | 90 | 91,6 |
| Coton-poudre soluble. | 7  | 10 | 8,4  |

Pour la fabriquer, on chauffe au bain-marie la nitroglycérine de 50 à 70° c. et on y fait dissoudre le coton-poudre; l'opération est lente. La masse refroidie se coagule et durcit plus ou moins suivant la quantité de coton-poudre employée; le mélange peut être tout à fait sec en forçant un peu le coton-poudre; on peut en incorporer à la nitroglycérine une quantité plus ou moins grande et avoir une consistance analogue à celle de la gomme. Le mélange devient d'autant moins sensible au choc que la dose de coton-poudre augmente. On incorpore en même temps  $\frac{1}{2}$  % de carbonate de soude ou de magnésie. L'encartouchage de la gélatine-gomme se fait en la refoulant au travers d'un conduit cylindrique; la machine est analogue à celle en usage pour la dynamite ordinaire.

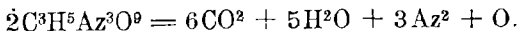
La dynamite-gomme est difficile à faire détoner même sous l'influence d'une capsule contenant 1 gramme de fulminate de mercure. Elle fait encore explosion par le choc d'une balle, ce qui en rend l'emploi difficile sur les champs de bataille.

Il est facile de calculer les proportions des deux explosifs à mettre en présence pour avoir la combustion complète.

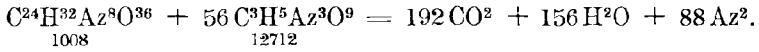
Le coton-poudre donne (nous prenons le coton-poudre soluble  $n = 8$ ) :



il manque 28 atomes d'oxygène (18 pour CO, 10 pour H<sup>2</sup>); or la nitroglycérine donne :



Les proportions pour la combustion complète seront données par l'équation :



Le calcul par les poids atomiques donne :

|                         |         |        |
|-------------------------|---------|--------|
| Coton-poudre . . . . .  | 1008 ou | 7,29   |
| Nitroglycérine. . . . . | 12712   | 92,71  |
|                         |         | 100,00 |

D'après cette formule, les éléments de la force sont :

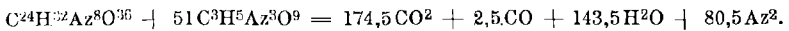
|  |   |
|--|---|
| $\omega = 13720$<br>$Q_{mp} = 21038 \text{ cal. (k-d).}$<br>$Q_{mv} = 21275 \text{ cal.}$<br>$Q_{kp} = 1533 \text{ cal. (k-d).}$<br>$Q_{kv} = 1551 \text{ cal. (k-d).}$<br>$W = 659175 \text{ kgm.}$ | $V_m = 9731,5 \text{ litres.}$<br>$V_k = 710 \text{ litres.}$<br>$t = 3213^\circ.$<br>$f = 9396 \text{ kg.}$<br>$\alpha = 0,710.$ |
|--|---|

*Gélatine-dynamite.* — Voici une variante :

|                                | No 1. | No 2. |            |            |
|--------------------------------|-------|-------|------------|------------|
| Matière A.                     | 65    | 45.   |            |            |
| Matière B.                     | 35    | 55.   |            |            |
|                                |       |       | Matière A. | Matière B. |
| Nitroglycérine. . . . .        |       |       | 97,5       | "          |
| Coton-poudre soluble . . . . . |       |       | 2,5        | "          |
| Salpêtre . . . . .             |       |       | "          | 75         |
| Farine de bois . . . . .       |       |       | "          | 24         |
| Carbonate de soude . . . . .   |       |       | "          | 1          |

*Dynamite-gomme jaune.*

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| Coton-poudre octonitrique. . . . . | 8.  |
| Nitroglycérine . . . . .           | 92. |



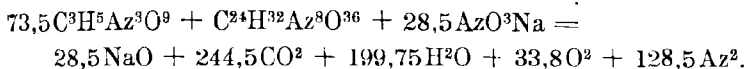


*Dynamite-gomme blanche.*

Coton-poudre octonitrique.

Nitroglycérine.

Nitrate de soude.



**313. Gélatine explosive de guerre.** — La dynamite-gomme détonant par le choc d'une balle, on a recherché à augmenter son insensibilité; on est arrivé au but en dissolvant dans la nitroglycérine, en même temps que le coton-poudre, une proportion très faible de camphre. Les proportions employées sont :

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| Nitroglycérine . . . . .       | 86,40  |
| Coton-poudre soluble . . . . . | 9,60   |
| Camphre . . . . .              | 4,00   |
|                                | 100,00 |

Cette petite quantité de camphre suffit pour rendre la gélatine explosive insensible au choc d'un projectile tiré à faible distance.

*Propriétés.* — Elle se présente sous la forme d'une masse gélatineuse, élastique, transparente, jaune-pâle, d'une densité 1,6. Elle peut se couper au couteau et ne laisse pas suinter la nitroglycérine par les plus fortes pressions. A l'air libre elle brûle vivement, mais sans détoner; en vase fermé non résistant elle soulève le couvercle et brûle sans explosion.

Une composition contenant 10 % de camphre et soumise pendant 8 jours à 70° c. ne fait pas explosion et ne montre aucune apparence de décomposition, une partie du camphre et de la nitroglycérine se volatilisent.

La gélatine explosive sans camphre chauffée lentement détone à 204° et rapidement à 240°.

Additionnée de 10 % de camphre, elle ne détone plus par une chauffe lente, mais elle déflagre avec production d'étincelles. Il faut la chauffer rapidement à une température élevée pour qu'elle détone.

A cause de sa texture élastique, ce qui la rend bonne conductrice des vibrations et de la chaleur, elle demande un choc spécialement énergique pour détoner. Le choc produit par l'amorce ne se concentre pas au point en contact, mais se répand dans toute la masse. Peut-être cela provient-il aussi d'une augmentation de la chaleur spécifique du mélange. Le choc de la capsule se transformant en chaleur, laquelle cause l'explosion, il est évident que le choc doit être d'autant plus violent que la chaleur spécifique est plus considérable.

Ces circonstances la rendent très peu sensible aux explosions par influence.

Cela a une certaine importance pour la défense des côtes. Des lignes entières de torpilles chargées avec du coton-poudre peuvent être détruites au moyen de torpilles d'attaque chargées du même explosif et qui détonent dans leur voisinage; or, le coton-poudre est incapable de faire détoner la gélatine explosive. Il faut évidemment tenir compte dans ces circonstances, du fait qu'une explosion peut entraîner l'explosion par l'influence de l'amorce, ce qui rendrait vaines toutes les précautions prises pour rendre la charge principale peu sensible aux chocs.

Il résulte d'expériences faites en France que par le froid le camphre n'apporte aucun changement à la sensibilité de l'explosif sous l'influence du détonateur.

*Cartouche d'amorce.* — Elle se compose de :

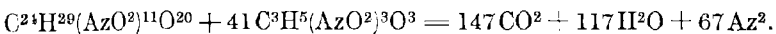
|                             |    |                    |
|-----------------------------|----|--------------------|
| Nitroglycérine. . . . .     | 60 | } Dynamite Trauzl. |
| Nitrohydrocellulose . . . . | 40 |                    |

Cette nitrohydrocellulose que nous étudierons au chapitre coton-poudre (n° 357) ne se gélatinise pas avec la nitroglycérine.

On charge la cartouche d'amorces de 20 grammes de ce mélange, on amorce avec une capsule au fulminate de mercure.

En fait, ce détonateur est un mélange de coton-poudre endécantrique et de nitroglycérine.

La formule de détonation est la suivante :



Ce qui donne la proportion :

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Coton-poudre. . . . .    | 11. |
| Nitroglycérine . . . . . | 89. |

Seulement ce mélange suinte, c'est pourquoi on augmente en pratique la quantité de coton-poudre.

Les éléments de la force de ce mélange sont :

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| $\omega$ = 10450 gr.    | $V_m$ = 7385,9   |
| $Q_{mv}$ = 15985,4 cal. | $V_k$ = 706,97   |
| $Q_{mp}$ = 16174,8      | $t$ = 3214°      |
| $Q_{kv}$ = 1529,79      | $f$ = 9368 kg.   |
| $Q_{kp}$ = 1547,83      | $\alpha$ = 0,706 |
| $W$ = 657629 kgm.       |                  |

Ce mélange dégage plus de chaleur et de gaz que la nitroglycérine pure. Le potentiel et la force explosive sont aussi plus considérables. Seulement, comme nous l'avons dit, le maniement de ce mélange est dangereux.

**314. Essais divers faits avec la gélatine explosive de guerre.**

— *Action de l'eau.* — La gélatine explosive ne subit pas d'altération par une submersion dans l'eau pendant 48 heures; la couche extérieure est un peu dissoute, mais l'attaque s'arrête à une faible profondeur; en somme, la matière se conserve mal dans l'eau après une submersion assez longue.

*Action de la chaleur.* — On a fait des essais comparatifs avec la dynamite Kieselguhr. On a chauffé les deux explosifs à 70° c. dans des éprouvettes. Au bout de 8 jours le Kieselguhr n'avait donné lieu à aucun dégagement de vapeurs acides; pour la gélatine explosive le dégagement eut lieu au bout de 7 jours.

*Congélation et dégel.* — La gélatine explosive gèle plus difficilement et le dégel se fait plus vite sans suintement ni écoulement de nitroglycérine, ce qui la rend supérieure à la dynamite Kieselguhr. Gelée, la gélatine explosive perd son élasticité et devient plus sensible aux chocs. On a tiré contre la gélatine à 4 % de camphre non gelée, elle ne détonait pas sous le choc de la balle à 25 m.; gelée elle détonait.

*Expériences de tir.* -- On a fait une série d'expériences en tirant sur la gélatine explosive de guerre à la distance de 25 mètres. Voici quelques résultats :

1° La gélatine molle contenant 4 % et même 1 % de camphre, soumise à un tir normal, résiste complètement aux coups.

2° Il n'en est pas de même de la gélatine explosive avec 4 % de camphre appuyée contre une plaque de fer et de la gélatine gelée contenant 1 % de cette substance fixée directement à la cible de bois.

3° Une planche, épaisse de 0<sup>m</sup>,026, placée devant la charge, paraît modérer assez le choc de la balle, pour ne pas faire détoner de la gélatine explosive à 1 % de camphre. Cela permettrait le chargement de cet explosif dans des caissons.

4° Le choc des balles ne peut plus déterminer l'explosion de la gélatine molle contenant au moins 1 % de camphre, après un grand nombre de corps tirés consécutivement, lorsque la charge est placée directement contre une muraille de bois.

5° La gélatine gelée, placée dans les mêmes conditions que ci-dessus, est sensible aux chocs des balles, tant que la proportion de camphre n'est pas inférieure à 4%.

*Essai de rupture.* — La gélatine explosive est, à égalité de poids, plus forte que la meilleure dynamite Kieselguhr. La congélation ne paraît pas diminuer sa force brisante. La densité de la gélatine est 1,6; celle du kieselguhr, en moyenne, 1,4; le rapport des puissances brisantes des deux explosifs, à volume égal, sera donc encore en faveur de la gomme explosive.

Pour le coton-poudre comprimé, sa force brisante est, à égalité de poids, celle de la dynamite; sa densité est sensiblement 1,16. La gélatine explosive l'emporte donc sur le coton-poudre.

*Action du feu.* — La gélatine brûle facilement; en grande masse elle explose.

*Stabilité.* — Elle est moins stable que la dynamite kieselguhr; à la longue, une décomposition s'opère, elle devient acide, laisse suinter de la nitroglycérine et devient alors sensible au choc d'une balle.

Un accident arriva ainsi au fort de Cubertino, près de Rome. Le prince de Naples assistait à des expériences de gélatine explosive.

Il s'agissait de démontrer que la gélatine-dynamite, préparée pour être transportée dans des sacs de soldats, ne pouvait pas faire explosion par la percussion d'un coup de fusil; cette expérience, répétée maintes fois, avait toujours eu un résultat parfait.

Le colonel Benedicti avait donc la conviction que son auguste élève pouvait y assister sans courir le moindre danger; mais une cartouche de gélatine, frappée par une balle, éclata. Le prince de Naples fut blessé à la cuisse; le général D'Oncieux à la main et au bras; le colonel Benedicti reçut trois blessures à la tête, au bras droit et à la jambe gauche; plusieurs autres officiers furent grièvement touchés.

*Obus chargés à la gélatine explosive.* — Des expériences, faites en 1885, prouvèrent la possibilité de l'emploi de cet explosif dans les obus lancés avec de grandes vitesses initiales. Les tirs se firent avec un canon Nordenfeldt de 6 livres allongé. Les obus étaient chargés avec de la gélatine explosive à 95 % de nitroglycérine, les projectiles étaient en fonte, avec fusée au culot. Six coups furent tirés avec la vitesse initiale de 600 mètres, il n'y eut pas d'éclatement prématuré.

Des poudres analogues sont actuellement employées comme poudres sans fumée; telle est la *balistite*, composée de :

|                          |    |
|--------------------------|----|
| Nitroglycérine . . . . . | 50 |
| Coton-poudre. . . . .    | 50 |
| Camphre . . . . .        | 4  |

Nous les étudierons plus loin (n° 560).

En somme, la gélatine explosive, tout en étant un des explosifs les plus énergiques que l'on connaisse, n'a pas donné jusqu'ici des preuves suffisantes d'une conservation sûre pour les usages militaires. A la dose de 4 % de camphre, nécessaire pour la rendre réfractaire aux chocs des balles, elle est d'une inertie telle qu'on n'a jamais la certitude absolue de la faire détoner, même avec les amorces les plus énergiques; c'est là un défaut sérieux : à la guerre, l'explosif doit détoner sûrement et par des moyens simples.

*Dynamites-gommes diverses.* — On a introduit actuellement un grand nombre de dynamites gélatinisées. Celles-ci offrent, sur les

dynamites anciennes, le grand avantage de fixer d'une façon plus parfaite la nitroglycérine; c'est sous ce rapport un grand progrès.

**315. Nitrogélatine.**

|                                      |    |    |
|--------------------------------------|----|----|
| Nitroglycérine gélatinisée . . . . . | 65 | 45 |
| Mélange sec . . . . .                | 35 | 55 |

La nitroglycérine gélatinisée se compose de :

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| Nitroglycérine . . . . .       | 97,5 |
| Coton-poudre soluble . . . . . | 2,5  |

Le mélange sec :

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Sapète . . . . .              | 75 |
| Sciure de bois . . . . .      | 24 |
| Carbonate de sodium . . . . . | 1  |

On voit que la nitroglycérine est gélatinisée avec une faible quantité de coton-poudre. La nitroglycérine a été simplement épaissie et incorporée à une matière pulvérulente, elle a moins de tendance à suinter. Ces nitrogélatines sont donc, sous ce rapport, spécialement à faire remarquer.

**316. Forcites de Lewin.** — On peut les ranger dans les nitrogélatines.

*Forcite supérieure.*

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Nitroglycérine. . . . .  | 65 à 75 |
| Cellulose. . . . .       | 4       |
| Dextrine. . . . .        | 3       |
| Poudre de mine . . . . . | 20 à 30 |

La cellulose est obtenue en traitant le coton par un mélange d'acétate de sodium et d'acide sulfurique. On lave à grande eau. Cette cellulose acétique est pulvérisée dans une pile à papier, elle est en partie soluble dans la nitroglycérine et forme avec elle une espèce de collodion qui retient parfaitement la nitroglycérine.

*Forcite n° 1.* — C'est la forcite supérieure à 48 % de nitroglycérine.

*Forcite n° 2.* — " " 30 % "

*Forcite n° 3.* — " " 20 à 25 % "

C'est une matière jaunâtre gélatineuse qui se tasse dans les trous de mine; elle résiste très bien au choc même d'une balle.

Ces forcites sont actuellement beaucoup employées.

*Forcite américaine.*

|                          |       |   |    |
|--------------------------|-------|---|----|
| Nitroglycérine . . . . . | 7,90  | à | 76 |
| Nitrocellulose . . . . . | 0,10  |   | 4  |
| Absorbant . . . . .      | 92,00 |   | 20 |

Composition de l'absorbant :

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Nitrate de soude . . . . . | 320 |
| Soufre . . . . .           | 36  |
| Colophane . . . . .        | 14  |
| Goudron de bois . . . . .  | 10  |

*Nitrolite (Carl Lamm).*

|                            |   |                                |          |
|----------------------------|---|--------------------------------|----------|
| Nitroglycérine gélatinisée | } | nitroglycérine . . . . .       | 99 à 94  |
|                            |   | coton-poudre soluble . . . . . | 1 à 6    |
| Mélange sec . . . . .      |   |                                | 50 à 160 |

Le mélange sec se compose de nitrate d'ammonium, de nitrate de sodium, de salpêtre et de charbon de bois léger. C'est une substance plastique, hygroscopique, peu brisante, qui donne de bons effets dans les mines.

**317. Explosif Abel-Dewar.**

Sir Frédéric Abel et le professeur James Dewar fabriquent des dynamites-gélatines en faisant usage d'un dissolvant gélatiniseur autre que la nitroglycérine chaude. Nous avons dit que les cotons-poudres peu nitrés sont seuls solubles dans la nitroglycérine; il était désirable de pouvoir associer, à ce liquide explosif, les variétés les plus violentes de fulmi-coton; on y parvient par l'éther acétique. On mêle à la nitroglycérine  $\frac{1}{8}$  de son poids d'éther acétique, puis on y incorpore, un poids égal à celui de la nitroglycérine, de coton-poudre sec. On malaxe à la température de 25° ou même à froid jusqu'à ce que la masse prenne une consistance gélatineuse épaisse. Cette masse est transformée en feuilles, plaques, cubes ou cordons qui deviennent durs par l'évaporation de l'éther acétique.

Il est clair qu'on peut faire varier les proportions du mélange de coton-poudre et de nitroglycérine et la manière de fabriquer l'explosif. On peut dissoudre d'abord le coton-poudre dans l'éther acétique, puis mêler à la nitroglycérine; on peut, dans le but de diminuer la violence de l'explosif, y ajouter du graphite, du noir de fumée, de la cellulose, du brai, de la résine, etc.

Il y aurait lieu d'examiner si l'emploi de l'éther acétique, ordinairement acide (à l'air humide, il se transforme en alcool et en acide acétique), n'est pas une cause de décomposition spontanée de la gélatine-gomme. Ce mélange Abel-Dewar forme la base d'une poudre sans fumée proposée dans ces derniers temps (voir Cordite).

#### § 5. — RÉCEPTION, ÉPREUVES ET ANALYSES DES DYNAMITES.

**318.** 1° Il faut vérifier la forme, les dimensions, le poids des cartouches et examiner si le papier parchemin enveloppe n'est pas gras, signe d'un suintement de nitroglycérine.

**319.** 2° **Épreuve d'acidité.** — Cette épreuve doit être faite au moins tous les six mois; on coupe une cartouche en deux et, entre les deux morceaux, on met un morceau de papier de tournesol bleu humide. Il ne doit pas rougir. Dès que la dynamite est acide, il faut la détruire.

**320.** 3° **Hygroscopicité.** — On soumet une cartouche de dynamite à l'air humide, par exemple, sous une cloche contenant une capsule remplie d'eau. La dynamite ne doit pas donner signe de déliquescence.

**321.** 4° **Dosage de l'eau.** — On sèche la dynamite à 30° c. ou mieux au vide sec. Après dessiccation et puis exposition à l'air pendant 4 à 5 heures, la perte de poids ne doit pas dépasser 3 %.

**322.** 5° **Résistance au choc.** — La dynamite de guerre doit résister au choc d'une balle tirée à 15 pas contre une planche ou une boîte en fer-blanc.

**323.** 6° **Dosage de la nitroglycérine.** — On place un poids donné (5 grammes) de l'explosif sur un double filtre (deux filtres de poids égaux mis l'un dans l'autre) et on épuise la masse avec de



l'éther pur ou de l'alcool méthylique, on reçoit le liquide de lavage dans une capsule tarée, on évapore à 30° c., l'augmentation du poids donne la proportion de nitroglycérine.

L'éther peut aussi enlever du camphre, de la paraffine, de la stéarine, des résines, du soufre.

**324. 7° Analyse du corps absorbant.** — Le résidu solide, resté sur le double filtre, est séché, puis pesé. Il est ensuite épuisé par l'eau chaude qui dissout les azotates, qu'on dosera. On lave ensuite au moyen du sulfure de carbone, qui enlève le soufre. Pour séparer le charbon de la silice, on incinère les deux corps; le résidu est la silice blanche.

Le microscope aide à reconnaître la nature de la matière absorbante : charbon de bois, laine tontisse, cellulose, etc. Le Kieselguhr est reconnaissable à ses carapaces de diatomées, il se reconnaît encore par sa solubilité dans la potasse caustique bouillante, d'où il se précipite en gelée par l'acide chlorhydrique, l'ammoniaque ou le chlorure d'ammonium. On se rappelle que le Kieselguhr est surtout formé de silice.

La craie se reconnaît par son effervescence avec les acides et par le précipité qu'elle donne (après dissolution dans l'acide chlorhydrique) avec l'oxalate d'ammonium ammoniacal.

La magnésie se qualifie dans la solution acide par le phosphate de soude ammoniacal.

Le Kaolin et la cendre de Boghead sont à base d'alumine. On les désagrège avec le flux alcalin et on recherche l'alumine.

L'analyse du corps absorbant peut être parfois assez compliquée. On suivra aussi les indications des nos 244<sup>bis</sup>, 244<sup>ter</sup>.

**325. Détermination des substances grasses, résines, soufre.** — Ces matières grasses ont été dissoutes en même temps que la nitroglycérine par les lavages à l'éther.

On traite le liquide par une solution concentrée de soude caustique, les résines se dissolvent; on laisse reposer et on décante la partie supérieure qui contient le savon de résine; on y ajoute de l'acide chlorhydrique qui précipite la résine; on filtre sur un filtre très sec et pesé d'avance ou mieux sur double filtre, puis on pèse.

Pour les matières grasses, on traite le liquide qui reste par du sulfure de sodium à chaud lequel dissout le soufre, les graisses viennent flotter à la surface, on les enlève après refroidissement et on les pèse.

Le soufre est oxydé par l'eau régale et dosé sous forme de sulfate de baryum. On dose la nitroglycérine par différence.

**326. Dosage du coton-poudre-collodion.** — On prend un essai de dynamite et on enlève la nitroglycérine par des lavages à l'éther, puis on lave le résidu resté sur le filtre par un mélange d'alcool et d'éther (parties égales) qui dissout le coton collodion. On ajoute après lavage complet du chloroforme, qui précipite le coton-poudre. On filtre sur double filtre, on sèche et on pèse.

**327. Dosage du coton-poudre fort.** — Après l'enlèvement du coton-poudre collodion on lavera le résidu avec de l'éther acétique.

**328. Épreuve de stabilité.** — Nous donnons à titre de renseignement la méthode employée au bureau des explosifs de Londres.

On fait usage d'un papier réactif ioduré : on traite 3 grammes d'amidon blanc bien lavé par 265 grammes d'eau distillée. On agite et on chauffe à l'ébullition; on laisse bouillir doucement pendant 10 minutes, on ajoute une solution de 1 gramme d'iodure de potassium dans 265 grammes d'eau distillée. Dans ce liquide on plonge pendant 10 secondes des feuilles de papier blanc à filtrer préalablement lavées à l'eau et desséchées. On coupe ces feuilles en bandes qu'on conserve à l'abri de la lumière et de l'humidité.

Pour se servir de ce papier, on fait d'abord une solution de caramel dans l'eau à un degré de concentration tel, qu'en l'étendant de 100 fois son poids d'eau, elle prenne une teinte égale à celle que prend la liqueur, dite de Nessler, qui renferme 0<sup>mmg</sup>,014 de chlorure d'ammonium dans 1000 cc. d'eau.

Puis, à l'aide d'une plume d'oie imbibée de cette solution, on trace des lignes sur des feuilles de papier blanc à filtrer; on sèche et on découpe en bandes comme le papier réactif.

Il faut pour l'essai séparer la nitroglycérine de son absorbant; on fait usage de la nitroglycérine obtenue au 6°, elle est placée dans un tube à essais et portée dans un bain-marie double chauffé à 70°-72°

au moyen d'un thermo-régulateur. Le tube pénètre de moitié dans le bain-marie; on le ferme au moyen d'un bouchon traversé par une baguette de verre, à l'extrémité de laquelle on suspend un papier réactif qu'on a préalablement mouillé sur la moitié de sa longueur, avec une solution très étendue de glycérine dans l'eau.

L'épreuve est terminée quand la ligne brunâtre qui se manifeste sur le papier à la limite de la partie mouillée et de la partie sèche présente la même teinte que celle du papier caramel.

La nitroglycérine est considérée comme bien purifiée lorsque le temps nécessaire pour obtenir la teinte type dépasse 10 minutes.

**329. Essai d'exsudation par pression.** — La bonne dynamite ne doit laisser exsuder aucun liquide par une pression modérée; la matière peut être placée dans un tube de laiton percé de petits trous; ce tube est fermé à l'un des bouts par un petit couvercle à frottement. Un piston muni à sa partie supérieure d'un plateau peut comprimer la matière explosive placée au fond du tube. On charge le plateau de poids. La dynamite ainsi refoulée ne doit pas céder de la nitroglycérine (qui apparaît à la surface du tube) sous une pression de 4 à 5 kilogrammes par centimètre carré.

On peut encore comprimer entre des buvards qui ne doivent pas se graisser.

**330. Essai d'exsudation par la chaleur et la pression.** — Le tube précédent, chargé de dynamite, est chauffé à 55°-60° dans une étuve; puis on le comprime au moyen du piston; l'explosif ne doit pas donner lieu à la séparation du liquide sous une faible pression.

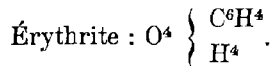
**331. Essai d'exsudation par l'eau.** — On immerge une cartouche de dynamite dans de l'eau placée dans un gros tube à essais. La nitroglycérine ne doit pas se mettre en liberté avant 15 à 20 minutes. Cet essai ne sera appliqué qu'aux dynamites qui doivent servir sous l'eau.

**332. Essai d'exsudation par le froid et la chaleur.** — On congèle et on dégèle plusieurs fois la dynamite avec les précautions connues. Sous ces influences alternatives de froid et de chaud, la nitroglycérine ne doit pas suinter.

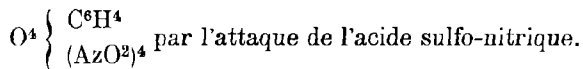
## CHAPITRE V.

### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS TÉTRAVALENTS.

333. — On connaît comme alcool tétravalent : l'*Érythrite*.



C'est un corps qu'on extrait des lichens à orseille. Il fournit l'érythrite trétranitrique :



C'est un corps fusible à 61° qui détone après avoir été mélangé avec du sable.

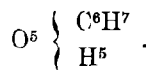
---

## CHAPITRE VI.

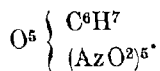
### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS PENTAVALENTS.

334. — La *Pinite* et la *Quercite* sont des alcools de cette classe. La *Pinite* existe dans les exsudations concrètes d'un pin de Californie, les Indiens s'en servent comme aliment. La *Quercite* est une matière sucrée qu'on retire des glands.

Leur formule est :

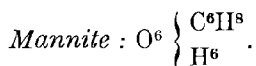


Ils fournissent, par l'attaque de l'acide sulfo-nitrique, l'éther azotique :

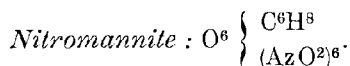


## CHAPITRE VII.

### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS HEXAVALENTS.



**335.** — La manne est un suc sucré, nauséabond, doué de propriétés purgatives, qu'on extrait du tronc des frênes de la Sicile. Elle contient un principe immédiat cristallisable qui est la mannite.



**336.** — On triture dans un mortier une partie de mannite en poudre fine avec un peu d'acide nitrique concentré ( $D = 1,5$ ). Quand tout s'est dissous, on ajoute un peu d'acide sulfurique, puis alternativement de l'acide azotique et de l'acide sulfurique jusqu'à ce que l'on ait employé  $4\frac{1}{2}$  parties du premier et  $10\frac{1}{2}$  du second; on fait égoutter sur un entonnoir en verre; la masse pâteuse ainsi obtenue, on la lave à l'eau, on l'exprime et on la traite par l'alcool chaud qui l'abandonne presque complètement par le refroidissement; on peut aussi traiter par l'acide sulfo-nitrique en faisant usage de moyens de réfrigération.

*Propriétés.* — La nitromannite forme une masse blanche, composée d'aiguilles feutrées d'un aspect soyeux, d'une densité égale à 1,60. Elle est peu soluble dans l'alcool froid, plus à chaud; soluble dans l'éther, insoluble dans l'eau.

Elle détone sous le choc avec beaucoup de violence, elle se rapproche, sous ce rapport, du fulminate de mercure. Elle fond à  $112^\circ$  par une chaleur graduelle, puis se décompose sans détoner. Lorsqu'on la chauffe brusquement, elle détone à  $310^\circ$ .

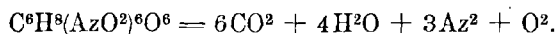
Elle détone par le choc fer sur fer plus facilement que le fulminate de mercure, elle détone par le choc du cuivre sur le fer et même par le choc porcelaine sur porcelaine.

La nitromannite impure se décompose rapidement à la lumière; lorsqu'elle a été purifiée par plusieurs cristallisations dans l'alcool elle se conserve bien à l'abri de la lumière solaire.

Les essais faits en France ont montré que la nitromannite camphrée peut être employée sous forme de pétards, dans les mêmes conditions que la dynamite et le coton-poudre sec et qu'elle donne, à charge égale, des effets sensiblement supérieurs.

Les capsules à 1<sup>er</sup>5 provoquent son explosion alors même que l'explosif à l'état comprimé a été immergé et est saturé d'eau.

**Force de la nitromannite.** — La décomposition se fait d'après la formule :



D'après cette formule les éléments de la force de la nitromannite sont :

|          |   |         |  |          |   |           |
|----------|---|---------|--|----------|---|-----------|
| $\omega$ | = | 452     |  | $V_m$    | = | 312,48 l. |
| $Q_{mv}$ | = | 647,8   |  | $V_k$    | = | 691,15    |
| $Q_{mp}$ | = | 655,8   |  | $t$      | = | 3247°     |
| $Q_{kv}$ | = | 1433,19 |  | $f$      | = | 9247,2    |
| $Q_{kp}$ | = | 1450,92 |  | $\alpha$ | = | 0,691.    |
| $W$      | = | 616641  |  |          |   |           |

La force de nitromannite est donc presque identique à celle de la nitroglycérine.

**337. Mannitane.** —  $\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^5$ . C'est un anhydride de la mannite ( $\text{C}^6\text{H}^{14}\text{O}^6 - \text{H}^2\text{O}$ ). On l'obtient par l'action de la chaleur ou de l'acide chlorhydrique bouillant sur la mannite. On peut aussi chauffer la mannite pendant 2 heures à 120°-125° avec la moitié de son poids d'acide sulfurique concentré; on sature le produit encore chaud par du carbonate de baryum et après refroidissement on épuise par de l'alcool.

Enfin on prépare encore plus simplement la maunitane amorphe en chauffant la mannite avec le quart de son poids d'eau pendant une heure et demie à 295° c.

*Nitromannitane* :  $C^6H^8(AzO^2)^4O^8$ .

On dissout peu à peu une partie de mannitane dans un mélange de dix parties d'acide sulfurique et de cinq parties d'acide nitrique concentrés. On refroidit. Au bout d'un quart d'heure on verse le mélange dans une grande quantité d'eau; il se dépose une matière jaune-brunâtre qu'on lave à l'eau.

Cette substance détone avec violence sous le choc.

**338. Dulcite.** — Elle a la même composition que la mannite. Elle se retire du *Mélampyrum nemorosum*. Elle donne des substitutions nitrées explosives.



## SECTION II.

### Dérivés nitrés des hydrates de carbone.



#### CHAPITRE I.

##### DÉRIVÉS NITRÉS DES GLUCOSES ET DES SUCRES.

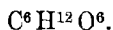
**339.** — Le nom impropre d'hydrate de carbone est donné à un groupe important de composés organiques, parce que leur formule brute répond à la combinaison de plusieurs molécules d'eau avec plusieurs atomes de carbone. Tous renferment six atomes de carbone ou un multiple de six.

Le premier groupe de ces corps, appelés *Glucoses*, a pour formule :  $C^6H^{12}O^6$ .

Les glucoses sont envisagées aujourd'hui comme étant des alcools aldéhydes, qui correspondent aux alcools hexavalents (Mannite, Dulcite).

Les deux autres groupes : sucres, amidons, etc., doivent être considérés comme étant des anhydro-hydrates dérivés de deux ou plusieurs molécules de glucose avec élimination d'eau.

*1<sup>re</sup> section : Glucoses.*

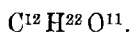


Dextrose : sucre de raisin, de fécule, glucose proprement dite.

Lévulose : sucre de fruit incristallisable.

Galactose : sucre de lait interverti.

*2<sup>e</sup> section : Sucres.*



Saccharose : sucre de canne.

Lactose : " de lait.

Mélezitose : " de mélèze.

Mélitose : " d'eucalyptus.

Tréhalose : " de tréhala ou d'ergot.

Maltose : " d'amidon.

*3<sup>e</sup> section : Polyglucosides.*



Dextrine.

Gomme.

Amidon ou fécule.

Cellulose, etc.

*Nitroglucose.*

**340.** — *Formule* :  $C^6 H^6 (AzO^2)^6 O^6$ .

On mélange de l'acide sulfurique et de l'acide azotique concentrés à parties égales; on refroidit et on ajoute de la glucose en poudre en remuant sans cesse et en empêchant la température de trop s'élever. La nitroglucose se sépare en masses qu'on enlève aussitôt et qu'on jette dans de l'eau froide. Il ne faut pas tarder de débarrasser la nitroglucose de ses acides, sinon elle se décompose bien vite. On la dissout dans un mélange d'alcool et d'éther, puis on verse la solution dans l'eau, qu'on renouvelle à plusieurs reprises jusqu'à neutralité parfaite.

PROPRIÉTÉS. — C'est un corps blanc, brillant, tantôt pâteux et amorphe, tantôt cristallin. Il est insoluble dans l'eau. Ses propriétés explosives sont faibles; il déflagre par le contact d'une flamme.

*Inosite.*

341. — L'inosite est un sucre cristallisable isomérique avec la glucose. Elle existe dans le liquide musculaire, dans le rein, le foie, les haricots verts, etc.

*Nitro-inosite.*

Composition :  $C^6H^6(AzO^2)^6O^6$ .

On traite l'inosite par le mélange sulfo-nitrique froid, on obtient une poudre cristalline qu'on fait cristalliser dans l'alcool. La nitro-inosite détone par le choc.

*Nitrosaccharose.*

342. — Composition :  $C^{12}H^{18}(AzO^2)^4O^{11}$ .

On met en contact pendant 5 minutes : une partie de sucre blanc en poudre avec un mélange de : une partie d'acide sulfurique et deux parties d'acide azotique concentrés et refroidis.

On obtient une masse visqueuse qu'on lave à l'eau. Pour la purifier on la dissout dans l'alcool, d'où on la précipite par l'eau; on recommence cette opération à plusieurs reprises.

C'est un corps très explosif, il détone par la chaleur et par le choc.

**Résine explosive** (Alix Pellier). — C'est un explosif obtenu par l'action de l'acide sulfo-nitrique sur le sucre raffiné. Il se présente sous la forme d'une résine brune flexible à 70°. Le degré de nitrification est intermédiaire entre celui des saccharoses penta et hexanitriques. La force est très peu inférieure à celle du coton-poudre.

*Nitrolactose.*

343. — Elle se prépare par l'action de l'acide sulfo-nitrique sur le sucre de lait, on précipite par l'eau. Elle détone par la chaleur; c'est un corps très explosif, il se dépose dans l'alcool sous forme de petites feuilles cristallines nacrées.

## CHAPITRE II.

### DÉRIVÉS NITRÉS DES POLYGLUCOSIDES.

#### § 1. — NITRO-DEXTRINE.

**344.** — Action du mélange sulfo-nitrique sur la dextrine.

#### *Nitro-gomme.*

**345.** — La gomme arabique traitée par le mélange sulfo-nitrique peut se transformer en un corps nitré explosif.

#### *Amidons nitriques.*

**346.** — On connaît trois éthers nitriques principaux de l'amidon : 1° la mononitrine  $C^{12}H^{19}(AzO^2)O^{10}$ ; 2° la dinitrine  $C^{12}H^{18}(AzO^2)^2O^{10}$ ; 3° la trétranitrine  $C^{12}H^{16}(AzO^2)^4O^{10}$ .

**347. Amidon mononitré** ou **xyloïdine de Braconnot** (1832). — On traite l'amidon ou la fécule par 10 à 12 fois son poids d'acide azotique fumant; l'amidon se dissout, on précipite par l'eau, on lave et on sèche à l'étuve. On purifie par dissolution dans l'alcool éthéré, on filtre et on abandonne à la dessiccation spontanée.

Ce corps est soluble dans un mélange d'alcool et d'éther, l'acétone, l'alcool méthylique.

**348. Amidon diazotique.** —  $C^{12}H^{18}(AzO^2)^2O^{10}$ .

M. Béchamps a signalé deux modifications isomériques de l'amidon dinitré, l'une soluble seulement dans l'acide acétique; l'autre aisé-

ment soluble dans l'acide acétique, l'alcool étheré, l'acétone ou l'esprit-de-bois.

Elles prennent naissance en même temps que l'amidon mononitré.

**349. Amidons tétranitrés.** —  $C^{12}H^{16}(AzO^2)^4O^{10}$ .

Il existe aussi deux modifications de l'amidon tétranitrique, dont l'une est soluble dans l'alcool et l'autre seulement dans l'alcool étheré. Elles prennent naissance simultanément en faisant réagir sur une partie d'amidon séché à 20°, douze parties d'acide azotique fumant. On filtre sur du verre pilé, la liqueur filtrée entourée d'un mélange réfrigérant est traitée par huit parties d'acide sulfurique concentré qu'on verse rapidement; il se précipite une masse blanche, molle et volumineuse. On lave à neutralité parfaite et on sèche.

La stabilité des amidons tétranitrés est moins grande que celle de la fécule monoazotique qui bien lavée se conserve parfaitement. La déflagration de la mononitrite se fait vers 200°; celle de la tétranitrite s'effectue déjà à 175°.

## § 2. — CELLULOSE NITRIQUE. COTON-POUDRE.

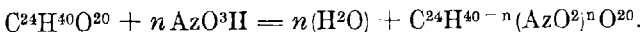
**350.** — C'est un corps explosif d'une très grande importance militaire et industrielle.

*Synonymes.* — Cellulose nitrique; coton-poudre; poudre-coton; fulmi-coton; pyroxyle.

Braconnot, de Nancy, fut le précurseur de la découverte du coton-poudre.

En 1832, il trouva l'amidon mononitré ou xyloïdine; Pelouze reprenant en 1838 les études de Braconnot montra que les matières cellulosiques en général, immergées quelques instants dans l'acide azotique concentré acquièrent une fort grande inflammabilité. Enfin Schœnbein, chimiste Bâlois, annonça en 1846, la découverte du coton-poudre.

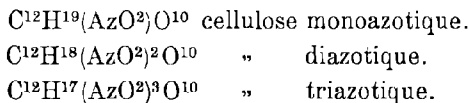
**351. Constitution chimique.** — On traite le coton par le mélange sulfo-nitrique. On connaît un grand nombre de substitutions nitrées et la formule générale de leur fabrication peut être écrite comme suit :



$n$  peut avoir les valeurs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11.

|          |                           |   |                                   |
|----------|---------------------------|---|-----------------------------------|
| $n = 11$ | Cellulose endécannitrique | } Coton-poudre                                  | } solubles dans l'éther acétique. |
| 10       | " décanitrique            |   |                                   |
| 9        | " ennécannitrique         | } Coton-poudre                                  | } solubles dans l'éther acétique. |
| 8        | " octonitrique            |   |                                   |
| 7        | " heptanitrique           | } Devient gélatineux sans se dissoudre dans les | } dissolvants précédents.         |
| 6        | " hexanitrique            |   |                                   |
| 5        | " pentanitrique           |   |                                   |
| 4        | " tétranitrique           |   |                                   |
| 3        | " trinitrique             | } Action des dissolvants nulle, on trouve même  | } de la cellulose inaltérée.      |
| 2        | " dinitrique              |   |                                   |
| 1        | " mononitrique            |   |                                   |
| 0        | " pure                    |   |                                   |

Souvent les auteurs rapportent les substitutions nitrées de la cellulose à trois types :



Mais la formule de la cellulose est un multiple de  $C^{12}H^{20}O^{10}$ ; de plus, la quantité de peroxyde d'azote fixée est moindre dans les coton-poudres que celle indiquée par la dernière des formules précédentes.

D'après les expériences de MM. Sarrau et Vieille, le coton-poudre étudié a donné la composition suivante :

|                    |      |                   |      |
|--------------------|------|-------------------|------|
| Carbone . . . . .  | 24,4 | Oxygène . . . . . | 56,5 |
| Hydrogène. . . . . | 2,4  | Eau . . . . .     | 1,4  |
| Azote . . . . .    | 12,8 | Cendres. . . . .  | 2,5  |

ou en négligeant l'eau et les cendres :

|                    |      |                   |      |
|--------------------|------|-------------------|------|
| Carbone . . . . .  | 25,4 | Azote . . . . .   | 13,3 |
| Hydrogène. . . . . | 2,5  | Oxygène . . . . . | 58,8 |

Ce qui correspond à la formule :



D'après les travaux de M. Vieille, les taux de nitrification au moyen de l'acide sulfo-nitrique (il fait usage de  $SO^4H^2$  à 1,832 de densité et de  $AzO^3H$  à  $\Delta = 1,316$ ) sont donnés dans le tableau suivant :

| Taux de $SO^4H^2$ en volume pour 1 vol. $AzO^3H(1,316)$ . | Nombre de centim. cubes d' $AzO$ dégagé pour 1 gr. de produit nitré (0°, 760mm). |
|---|--|
| 3,00  | 195 <sup>cc</sup> ,9   |
| 2,50  | 190 <sup>cc</sup> ,1   |
| 2,00  | 184 <sup>cc</sup> ,6   |
| 1,70  | 185 <sup>cc</sup> ,5   |
| 1,50  | 182 <sup>cc</sup> ,3   |
| 1,40  | 164 <sup>cc</sup> ,0   |
| 1,30  | 166 <sup>cc</sup> ,7   |
| 1,20  | 166 <sup>cc</sup> ,0   |
| 1,10  | 141 <sup>cc</sup> ,2   |
| 1,00  | 143 <sup>cc</sup> ,5   |
| 0,95  | 133 <sup>cc</sup> ,3   |
| 0,90  | 132 <sup>cc</sup> ,7   |

Les valeurs de  $n$  ont été déterminées, par M. Vieille, en dosant, dans les différents cotons-poudres, l'azote par la méthode proposée par M. Schloesing pour le dosage de l'acide azotique dans les nitrates (voir n° 407).

Pour  $n = 11$ , il se dégage 215 cc. de bioxyde d'azote p<sup>r</sup> 1 gr. La théorie indique 214 cc.

|            |       |   |   |       |
|------------|-------|---|---|-------|
| " $n = 10$ | " 203 | " | " | " 203 |
| " $n = 9$  | " 192 | " | " | " 190 |
| " $n = 8$  | " 182 | " | " | " 178 |
| " $n = 7$  | " 164 | " | " | " 162 |
| " $n = 6$  | " 143 | " | " | " 146 |
| " $n = 5$  | " 132 | " | " | " 128 |
| " $n = 4$  | " 109 | " | " | " 108 |

Le coton-poudre est bien un éther de la cellulose. Des solutions alcalines, moyennement concentrées, déterminent la formation de

nitrate alcalins et de coton au détriment du coton-poudre. L'ammoniaque, le chlorure ferreux, le sulfate ferreux, le sulfhydrate de potassium donnent les mêmes effets. Ces réactions sont caractéristiques des éthers nitriques.

A mesure que la valeur de  $n$  diminue, la vivacité de combustion des cotons-poudres diminue et le résidu charbonneux augmente. Les pressions en vase clos suivent la même règle. M. Vieille signale aussi la stabilité croissante avec le taux élevé de nitrification des celluloses nitrées, vis-à-vis des réactifs tels que l'acide chlorhydrique et les sels de fer au minimum. Pour les produits peu nitrifiés, la réaction commence à froid; elle exige un chauffage de quelques instants pour les produits de nitrification moyenne, mais l'attaque ne commence qu'après une ébullition soutenue, pour les celluloses donnant plus de 200 cc. de bioxyde d'azote par gramme.

Ces produits semblent donc acquérir, en même temps que le maximum de puissance, le maximum de stabilité.

**352. Préparation industrielle du coton-poudre. — Procédé Abel** (1865, brevet de). — Le coton employé est choisi parmi les déchets de filatures triés et blanchis, ils sont cardés et séchés.

Une opération préalable, nécessaire à la bonne conservation du coton-poudre, consiste à débarrasser le coton de toutes les matières grasses, résineuses, etc., qu'il peut contenir. Ces substances étrangères subissent, en effet, sous l'influence de l'acide sulfo-nitrique, des substitutions nitrées parfois très instables et dont la décomposition spontanée entraîne plus tard celle du coton-poudre. On fait bouillir le coton pendant deux ou trois minutes dans une solution de potasse caustique à 2 % ( $D = 1,02$ ), puis on essore et on lave soigneusement à l'eau pure, on essore encore une fois et on sèche. Ce séchage, avant le trempage dans les acides, est important.

*Mélange acide :*

|   |           |
|---|-----------|
| Acide azotique ( $D = 1,5$ ) . . . .    | 1 partie  |
| Acide sulfurique ( $D = 1,85$ ) . . . . | 3 parties |

On le laisse refroidir pendant un jour ou deux, puis on l'amène dans l'*atelier de trempage*, qui renferme une série d'auges en fonte



contenant chacune 104 kilogrammes d'acide sulfo-nitrique; on y plonge 453 grammes (1 livre anglaise) de coton, qu'on remue pendant cinq minutes; on enlève le coton et on l'égoutte; on l'introduit ensuite dans un vase en grès et on l'arrose avec 100 cc. d'acide sulfo-nitrique. Les pots en grès sont placés dans un bassin plat contenant de l'eau froide, qui se renouvelle constamment. On les abandonne pendant 24 heures. Les acides, qui ont servi au trempage, sont enrichis par l'addition de 5 kilogrammes d'acides neufs.

Il faut éviter avec soin toute élévation de température, sinon, il se forme des réactions secondaires qui peuvent altérer les qualités du coton-poudre. Il se forme notamment du coton-poudre soluble moins énergique. Cette élévation de température est accompagnée de dégagement de vapeurs rutilantes.

Le coton nitré est enlevé des pots et turbiné; on recueille les acides. Le pyroxyle est jeté dans des tonneaux en bois avec faux fond à trous, qui sont parcourus de haut en bas par un courant d'eau rapide, on remue avec un râteau; il faut que les acides concentrés soient rapidement enlevés; si la quantité d'eau est trop faible, son échauffement, par le contact des acides, peut être suffisant pour faire dégager des vapeurs rutilantes du coton-poudre. On turbine encore une fois et on lave dans de l'eau chaude contenant un peu de carbonate de soude, pendant 4 heures; on enlève la lessive et on lave à l'eau chaude pendant 4 nouvelles heures.

Le coton-poudre est alors réduit en une pâte fine au moyen de piles raffineuses, identiques à celles dont on fait usage dans les papeteries.

La pile se compose d'une cuve longue de 3 mètres environ et large de 2 mètres, terminée aux deux bouts par des demi-cylindres. Une cloison centrale, parallèle aux longs côtés et qui s'arrête aux axes des parois cylindriques, divise la cuve en deux compartiments qui communiquent ensemble. Un axe de rotation, s'appuyant sur cette cloison et sur un des côtés de la cuve, porte un grès cylindre armé d'une série de lames tranchantes; ce rouleau tourne avec une grande vitesse. Sous le cylindre, se trouve une surface cylindrique concentrique ou *platine* armée aussi d'une série de lames tranchantes; cette

platine est raccordée au fond de la cuve par des plans inclinés. La cuve est remplie d'eau et de coton-poudre en fil; par suite du mouvement rapide du rouleau, l'eau est entraînée avec les fils qui, passant entre les lames tranchantes, sont coupés en menus morceaux. L'opération fournit, au bout d'un certain temps, une pâte composée de fibrilles très menues de coton-poudre.

Chaque pile reçoit 100 kilogrammes de coton-poudre; le déchiquetage dure 4 heures. La matière en pâte est longuement lavée dans des cuves à agitateurs, dont l'eau est renouvelée 5 ou 6 fois. Un échantillon est enlevé, séché et soumis à l'épreuve de la chaleur (voir n° 406); on turbine alors de façon à retenir 30 % d'eau.

On imprègne le coton-poudre de chaux en l'immergeant dans un lait de chaux de densité 1,02, qui laisse dans l'explosif 1 à 2 % de chaux.

La pâte est enfin moulée à la presse hydraulique, la pression doit être graduée et s'exerce jusque 630 kilogr. par centimètre carré.

Rendement : 150 à 171 % du coton.

Les cartouches sont imprégnées d'eau dans la proportion de 30 %. Celles qu'on veut sécher sont soumises à l'action d'un courant d'air tiède.

Le coton-poudre, moulé humide, est de la plus parfaite innocuité, on peut en découper des plaques au moyen de scies circulaires; y percer des trous pour le logement de la capsule au moyen de machines à perforer ou même au fer chauffé au rouge; il est incombustible. Il peut se conserver dans des caisses imperméables sans danger; la dessiccation peut se faire rapidement.

**353. Appréciation de la méthode Abel.** — Cette méthode a marqué un immense progrès dans la manipulation pratique du coton-poudre. Autrefois, cet explosif était employé dans les arts militaires et dans les arts industriels sous la forme de fils ou de tissus; naturellement la densité n'était pas uniforme et les effets étaient irréguliers. L'explosif, de plus, n'avait pas une constitution chimique homogène. D'après Abel, le coton-poudre fabriqué en grand est toujours un mélange de diverses matières parmi lesquelles il faut signaler :

a) Des produits dérivés de substances grasses et résineuses, qui accompagnent la fibre du coton (la proportion peut s'élever à 1 %).

b) De 4 à 5 %, de cellulose ayant échappé à l'action des acides. Une dissolution d'iode dans l'iodure de potassium donne une coloration noire ou verdâtre aux produits nitrés renfermant des traces de coton non nitré.

c) Des matières minérales.

d) Des produits nitrés (s'élevant à 12 %) moins explosifs que la cellulose endécanitrique.

Dans la fabrication Abel, on fait en sorte d'éloigner préalablement les impuretés du coton et d'obtenir un coton-poudre hautement nitré. Du reste, dans la pulvérisation au moyen de la pile à papier, il se fait un mélange intime des diverses variétés de pyroxyle et l'on obtient un produit final d'une énergie très égale.

L'acidité du coton-poudre est une des causes principales de sa décomposition spontanée, le lavage du coton-poudre en fil est très délicat et pour ainsi dire impossible ; si l'on examine un fil de coton au microscope, on constate que le brin jeune est cylindrique et muni au centre d'un canal capillaire ; le brin vieux est aplati et se présente sous la forme d'un copeau plat ; mais le canal central existe sans doute encore. L'acide pénètre dans ce canal pendant la nitration et ne peut en être que fort difficilement délogé. Dans la méthode d'Abel, ce brin, étant coupé et divisé à l'extrême, est d'un lavage facile.

La méfiance universelle, basée sur des décompositions spontanées qui produisirent plusieurs catastrophes, avait provoqué l'abandon de cet explosif, tant dans les arts militaires que dans l'industrie ; la dynamite fit entrer un instant le pyroxyle dans l'oubli malgré les efforts de quelques chimistes, parmi lesquels nous citerons notre éminent compatriote Melsens.

Aujourd'hui, grâce à l'invention d'Abel : la pulvérisation et le moulage en cartouches, grâce à la pureté du produit, le coton-poudre constitue un explosif de premier ordre, tant au point de vue de la force que de la stabilité chimique. Il a rapidement regagné le temps perdu et il est généralement préféré à la dynamite dans les armées, à cause de la sûreté de son emploi et des moyens simples qu'on possède de le rendre à un moment donné absolument inoffensif.

**354. Fabrication du coton-poudre à la poudrerie du Moulin-Blanc** (France). — On recherche le coton à fils longs, avec le moins d'ouate possible. Après triage, il est cardé; on obtient une espèce de toison qu'on enroule en rouleaux qui passent sur des cylindres sécheurs. On trempe dans des pots renfermant l'acide sulfo-nitrique pendant douze heures. On turbine et on immerge dans des caisses parcourues par un courant d'eau froide.

Le lavage consiste à faire 8 lavages d'une heure et demie dans l'eau maintenue à l'ébullition par un courant de vapeur; on fait agir à chaque opération 750 litres d'eau sur 75 kg. de coton-poudre. Le premier et les deux derniers sont faits avec de l'eau pure, les autres avec de l'eau additionnée d'environ 280 gr. de carbonate d'ammoniaque par mètre cube.

Ces lavages se continuent jusqu'à ce que l'épreuve de chaleur donne 18 minutes. Lorsque l'eau est calcaire l'addition de carbonate d'ammoniaque est inutile. A Stowmarket on fait actuellement subir au coton-poudre 14 à 15 lavages de quatre heures avec de l'eau pure (qui est assez calcaire) maintenue à l'ébullition par un jet de vapeur.

Le pilage du coton-poudre se fait comme à l'ordinaire. Les charges des piles sont versées dans des laveurs, non plus pour y subir un lavage final comme autrefois, mais pour être mélangées par lots de 1000 kg. L'eau n'est pas renouvelée, on évite par là une perte de pâte.

La pâte passe ensuite à l'*épuration*; celui-ci se compose d'un réservoir avec agitateur, on y fait arriver la pâte des laveurs; elle s'écoule dans un bac épurateur où elle est agitée et où elle passe de bas en haut à travers un tamis de bronze, à fentes de 1 mm. animé d'un mouvement de trépidation. On sépare ainsi les morceaux de bois, graviers, fibres mal pilées, grumeaux. Enfin la pâte est envoyée dans des fosses dont le fond est formé de briques perforées et recouvertes de toile; puis on turbine. On moule; le coton-poudre final renferme 30 % d'eau.

Le coton-poudre était autrefois immergé pendant une heure dans une dissolution de carbonate de soude à 18° B.; seulement, le carbonate de soude a l'inconvénient de diminuer la stabilité à l'épreuve de la chaleur et de donner une teinte brunâtre à la masse. L'alcali-

nisation du reste n'était que superficielle. Actuellement, on emploie le carbonate de chaux qui est ajouté à l'eau des laveurs; on fait tourner vingt-quatre heures pour avoir un mélange homogène.

La compression se fait au Moulin-Blanc au moyen d'une presse de 1500 tonnes, donnant une pression de 650 kg. par centimètre carré afin d'avoir des densités plus grandes que 1,00.

**355. Pulvérisation chimique. — Hydrocellulose d'Aimé Girard.** — Les matières cellulosiques subissent souvent une modification remarquable dans leur état physique; leur souplesse, leur élasticité naturelle disparaissent, elles deviennent cassantes d'abord, puis friables à ce point qu'on peut aisément les réduire en poussière. Tel est le cas des tissus de toile et de coton soumis au blanchissage répété : les rideaux de fenêtres, etc.

Sous l'influence des acides minéraux et même végétaux, tantôt étendus, tantôt concentrés, dans des conditions variables de température et de temps, la cellulose ( $C^{12}H^{20}O^{10}$ )<sup>n</sup> se transforme par hydratation en un composé nouveau ( $C^{12}H^{22}O^{11}$ )<sup>n</sup> que Girard appelle *hydrocellulose*, qui possède des propriétés particulières et beaucoup des propriétés de la cellulose normale, entr'autres celle de donner des pyroxyles.

**Préparation de l'hydrocellulose.** — Les procédés de fabrication sont très nombreux, ils reposent sur l'action des acides qui suivant leur énergie, leur état de concentration, le temps pendant lequel le contact avec la matière se prolonge, suivant la température à laquelle a lieu ce contact, déterminent une hydratation de la cellulose plus ou moins rapide et plus ou moins complète.

*a) Emploi des acides concentrés.* — On fait usage de l'acide sulfurique à 45° B. (D = 1,453) à la température de 15°. L'opération est terminée au bout de douze heures. L'acide chlorhydrique à 21° B, provoque la transformation en vingt-quatre heures.

*b) Emploi des acides gazeux et hydratés.* — L'acide chlorhydrique gazeux agit promptement : à froid, il suffit d'une heure; à chaud et humide, tel qu'il provient du chauffage de l'acide du commerce, l'opération est terminée en quelques minutes. L'action n'a pas lieu avec l'acide chlorhydrique sec, il doit être hydraté.

c) *Emploi des acides étendus ou des acides faibles.* — Il est préférable d'employer des procédés qui n'exigent qu'une petite proportion de réactifs; à l'action de ceux-ci, il suffit d'adjoindre soit l'action du temps, soit celle de la chaleur. C'est en opérant à froid que l'on obtient les produits les plus parfaits, mais la transformation exige alors deux ou trois mois.

La matière cellulosique est d'abord plongée dans le bain d'acide; tous les acides minéraux conviennent. La richesse du bain peut varier dans les plus larges limites; si l'on veut obtenir une action prompte et complète, il convient de l'étendre à 3 %.

Retirée du bain après quelques minutes d'immersion et lorsqu'elle est bien imprégnée de liquide, la matière cellulosique : coton, toile, papier, est placée dans un linge que l'on tord fortement et par cet essorage elle est débarrassée de la plus grande partie de la solution dont elle ne retient plus que 35 à 45 % de son propre poids; on peut employer des essoreuses centrifuges.

La matière cellulosique est divisée autant que possible et abandonnée à l'air à la dessiccation à l'état hygrométrique normal.

En cet état, elle est introduite dans un vase de grès, de verre, de tôle émaillée, etc., ou toute autre matière non attaquable par les acides, puis le vase fermé est logé dans une étuve.

Si le bain acide a été employé à 3 %, huit à dix heures de chauffé à 35°-40° suffisent; à 70° trois heures sont nécessaires; il ne faut pas aller au delà, sinon l'hydrocellulose se colore par l'action de l'acide, on lave enfin la matière à l'eau pour la débarrasser de l'acide.

**356. Propriétés.** — L'hydrocellulose est un corps d'une friabilité absolue, ses propriétés sont pour la plupart identiques à celles de la cellulose ou du moins n'en diffèrent que par une sensibilité plus grande aux réactifs. L'hydrocellulose s'oxyde facilement; elle est quelquefois rose ou roussâtre si l'action de l'acide n'a pas été ménagée, sinon elle est absolument blanche.

**357. Transformation de l'hydrocellulose en pyroxyles friables. — Nitrohydrocellulose.** — Les pyroxyles explosifs à base d'hydrocellulose sont obtenus par la méthode d'Abel. On plonge la matière dans un mélange d'acide sulfurique (3 parties) et d'acide azotique (1 partie). Le mélange est refroidi.

Dans 3 kilogrammes du mélange acide on fait tomber peu à peu 250 grammes d'hydrocellulose sèche, on agite avec une spatule. On abandonne douze heures. On jette à l'eau, puis on lave avec soin, on termine par un lavage au carbonate de soude. Rendement 167 % de cellulose sèche.

Il vaut mieux plonger l'hydrocellulose sous sa forme génératrice que sous sa forme pulvérulente, cette dernière prend un état gommeux qui retarde la libre pénétration des acides.

Les pyroxyles d'hydrocellulose se montrent, quant à leurs propriétés explosives, identiques aux pyroxyles ordinaires; réduits en poussière *sous l'eau*, ils fusent au lieu de déflagrer instantanément. On peut comprimer en cartouches ce pyroxyle spécial.

Il est un peu plus sensible au choc que le pyroxyle ordinaire, cela est dû sans doute à son état physique particulier. Il est d'une conservation aussi sûre que le coton-poudre ordinaire. La nitrohydrocellulose est excellente pour la fabrication de cordeaux porte-feux obtenus par étirage (n° 301).

Il est à noter que l'hydrocellulose se laisse beaucoup mieux et plus complètement attaquer par l'acide azotique que le coton en fil. On obtient un produit plus homogène, très fortement nitré et possédant une grande force explosive. Cette nitrocellulose ne se gélatinise pas avec la nitroglycérine, du moins la variété obtenue par les bains acides froids. Trautz dans ses amorces, pour la gomme explosive, fait usage d'un mélange de 60 % de nitroglycérine et de 40 % de nitrohydrocellulose. Ce mélange constitue l'explosif le plus énergique connu (n° 313, *Cartouche d'amorce*).

L'invention de l'hydrocellulose nitrée a écarté une difficulté dans la fabrication du coton-poudre ordinaire, l'emploi d'un outillage spécial : les piles à papier pour pulvériser le produit.

**358. Propriétés du coton-poudre.** — Lorsqu'il est en fils il a l'aspect du coton qui lui a donné naissance; il est cependant plus rude au toucher, plus élastique que le coton; il est sans odeur, sans saveur, neutre aux papiers réactifs, il est très électrique. Une lanière de coton-poudre frottée entre les doigts dégage le soir une lueur phosphorescente. Cette propriété électrique n'existe que lorsque le

coton-poudre est parfaitement sec. Pour s'assurer que l'explosif est bien sec, il suffit de l'électriser par le frottement; ce procédé est si sensible qu'il suffit de souffler sur une touffe de coton-poudre sec pour lui faire perdre cette propriété.

Il est insoluble dans l'eau et s'y conserve indéfiniment; insoluble dans l'alcool et dans l'éther; certaines variétés sont solubles dans l'alcool étheré (voir *Collodion*, n° 372). Il est soluble dans l'éther acétique, l'acétone, l'acétate de méthyle, l'acide sulfurique concentré.

Le coton-poudre pur, c'est-à-dire, exempt de coton non attaqué ne noircit pas ou ne verdit pas par l'emploi d'une dissolution d'iode dans l'iodure de potassium. On peut par ce moyen vérifier si dans une fabrication le taux maximum de nitrification est atteint.

Lorsque le coton-poudre est comprimé, il se présente sous l'aspect du carton blanc, les cartouches sont cylindriques comme celles de la dynamite; quelquefois elles sont cubiques, hexagonales, prismatiques, etc.; on peut, par la compression, leur donner telle forme que l'on désire et appropriée à l'usage spécial auquel on la destine.

Nous avons vu des cartouches destinées à faire sauter le matériel de chemin de fer, avoir le profil d'un rail; celles destinées à mettre des bouches à feu de campagne hors de service, pourront être cylindriques et avoir le diamètre un peu inférieur au calibre de la pièce.

La densité absolue du coton-poudre est égale à 1,5; celle du coton-poudre comprimé est de 1,20. Le coton-poudre n'est pas hygroscopique. Il renferme ordinairement 1 % d'humidité. Il en absorbe dans de mauvaises conditions de conservation 3 % au plus.

Le coton-poudre en fil s'enflamme à 180°, il déflagre très vivement en dégageant une flamme jaune. Le coton-poudre comprimé allumé ne déflagre pas; il brûle avec lenteur en dégageant une flamme vive; si la masse de l'explosif est un peu grande, la combustion peut être suivie d'une explosion.

Lorsqu'on chauffe le coton-poudre à 100°, son inflammation par un corps en ignition est fort souvent accompagnée de son explosion; il est, sous ce rapport plus dangereux que la dynamite. En vase clos, la chaleur le fait toujours exploser.

Lorsqu'on frappe, au moyen d'un marteau, du coton-poudre placé sur une enclume de fer, la partie frappée seule fait explosion.



D'après les études de MM. Sarrau et Vieille, (*Mémorial des poudres et salpêtres*, t. II, p. 126), les produits de l'explosion varient avec les densités de chargement. Les deux formules suivantes peuvent être adoptées comme répondant aux analyses :

1°  $C^{24}H^{29}(AzO_2)^{11}O^{20} = 15CO + 9CO_2 + 9H^2O + 5,5H^2 + 5,5Az^2$   
(faible densité de chargement).

2°  $C^{24}H^{29}(AzO_2)^{11}O^{20} = 12CO + 12CO_2 + 6H^2O + 8,5H^2 + 5,5Az^2$   
(forte densité de chargement).

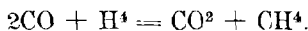
MM. Sarrau et Vieille ont fait remarquer que lorsque des explosifs ne renferment pas assez d'oxygène pour assurer la combustion complète de leurs éléments, la réaction de décomposition donne alors lieu, dans un grand nombre de cas, à un équilibre entre les produits exclusivement gazeux, les uns complètement oxydés tels que l'acide carbonique et la vapeur d'eau, les autres inoxydés ou partiellement oxydés tels que l'hydrogène, l'azote, la formène et l'oxyde de carbone. L'expérience montre que cet équilibre final se modifie quand on augmente la densité de chargement, de façon à soumettre les produits de la décomposition à des pressions croissantes et différant entre elles de plusieurs milliers d'atmosphères.

Deux réactions principales régissent la transformation progressive de l'équilibre. Elles concourent toutes deux à diminuer le taux d'oxyde de carbone du mélange, et à augmenter celui d'acide carbonique.

La première réaction est :



La seconde se manifeste quand la première réaction a diminué le taux de vapeur d'eau, ou lorsque le produit explosif est assez peu oxygéné pour ne fournir la vapeur d'eau qu'en faible quantité. Il se forme du formène (gaz des marais) :



Lorsque le coton-poudre est enflammé à une pression voisine de la pression atmosphérique, par exemple, par un feu rougi ou par le contact d'une flamme, ce qui correspond dans les mines à un raté de

détonation, il se forme des vapeurs nitreuses en grande abondance, ce qui rend l'atmosphère des galeries éminemment toxique, d'autant plus, qu'il y a en même temps dégagement normal d'oxyde de carbone.

MM. Sarrau et Vieille ont trouvé que, dans ce cas, la composition des gaz est :

|                        |               |  |                       |              |
|------------------------|---------------|--|-----------------------|--------------|
| AzO <sup>2</sup> . . . | 24,7 volumes. |  | H. . . .              | 7,9 volumes. |
| CO . . .               | 41,9 "        |  | Az . . .              | 5,8 "        |
| CO <sup>2</sup> . . .  | 18,4 "        |  | CH <sup>4</sup> . . . | 1,3 "        |

Dans certaines circonstances, les poudres sans fumée à base de pyroxyle employées dans les fusils et les canons, dégagent des gaz nitreux qui peuvent incommoder les soldats et corroder les armes (tir en blanc). Il faudra donc que les amorces assurent la combustion suivant les formules (1) et (2).

La combustion du coton-poudre ne laisse que très peu de résidus provenant des cendres du coton, elle ne fournit donc pas de fumée pendant le tir dans les armes à feu.

**359. Stabilité du coton-poudre.** — Le coton-poudre impur, mal lavé et par conséquent acide, est sujet à des décompositions spontanées lentes, souvent accompagnées d'explosion.

Lorsqu'on fait l'épreuve de chaleur avec des pyroxyles, on constate que le temps pendant lequel le pyroxyle résiste à l'action de la chaleur, augmente avec le nombre de lavages à l'eau.

Des expériences faites par M. Vieille sur la nitrohydrocellulose ont montré, que le produit obtenu après que les eaux de lavage n'accusaient plus de trace d'acidité, déflagrait à 132° et résistait 1'5" à l'épreuve de chaleur réglementaire, instituée pour la réception du fulmi-coton de la marine (action d'une température de 65°). Puis les lavages se succédant les eaux étant portées à 40° et rendues alcalines, le point de déflagration est monté à 145°, puis à 178°, tandis que l'épreuve de chaleur donnait 3 minutes, puis 11 minutes. Quatre nouveaux lavages ne font plus gagner que 2° (180°) pour le point de déflagration, tandis que l'épreuve de chaleur accuse plus de 40 minutes.

L'explosif impur conservé à la lumière ne tarde pas à devenir acide, le flacon qui le renferme se remplit de vapeurs rutilantes, le coton-poudre se transforme en une masse gommeuse renfermant de l'acide oxalique, de l'acide formique, etc., souvent la transformation ne se fait que partiellement, la matière ensuite explose.

Actuellement, grâce à la méthode d'Abel, qui assure l'obtention d'un pyroxyle très pur, la stabilité du coton-poudre est assurée.

L'expérience acquise depuis vingt ans prouve que la conservation n'offre pas de dangers, et les explosions d'approvisionnements de coton-poudre proviennent d'imprudences dans le maniement. Il résiste mieux que la dynamite à des variations de température dues, par exemple, à l'envoi de cet explosif dans les zones torrides.

La dessiccation du coton-poudre faite à une température trop élevée l'acidifie; un commencement de décomposition se fait, des vapeurs nitreuses se dégagent et restent dans la masse; cette faible acidité est suffisante pour provoquer avec le temps la décomposition lente ou violente du coton-poudre.

Il faut dans tous les cas surveiller le coton-poudre de près et vérifier de temps en temps sa parfaite neutralité.

Le coton-poudre sec est considéré comme plus sujet à l'altération que le coton-poudre humide, soit à cause de sa nature même, soit à cause de certaines substitutions nitrées se faisant au détriment de corps étrangers qui souillent la cellulose et qui sont instables.

Le coton-poudre détone par influence, on peut par conséquent confectionner avec cet explosif des charges allongées. Des expériences prouvent que les détonations par influence se transmettent moins loin entre cartouches de coton-poudre, qu'entre cartouches de dynamite. La transmission de la détonation par influence peut atteindre 0<sup>m</sup>80 pour des cartouches de 100 gr. de coton-poudre sec, placées sur des poteaux enfoncés dans le sol.

**360. Détonation du coton-poudre.** — La détonation du coton-poudre avec son maximum d'effets de rupture s'obtient par la capsule au fulminate de mercure. L'amorçage se fait absolument comme pour la dynamite; la mèche ayant été introduite dans la capsule, celle-ci est poussée dans la cavité cylindrique ménagée dans la cartouche. La détonation peut se faire à l'air libre.

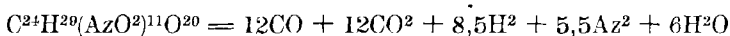
La capsule pour fulmi-coton doit être plus forte que celle pour dynamite; il sera prudent, afin d'éviter des ratés, d'employer les capsules à 1<sup>er</sup>5 de fulminate. Le coton-poudre doit renfermer moins de 5 % d'eau.

Le coton-poudre en vase clos fait explosion sous l'influence d'un corps en ignition sans l'intermédiaire d'une capsule, mais avec des effets destructeurs réduits.

Il fait explosion sous le choc d'une balle de fusil, mais seulement quand il est sec.

### 361. Force du coton-poudre. —

La formule de décomposition :



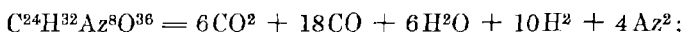
donne les éléments suivants :

|          |                  |          |                   |
|----------|------------------|----------|-------------------|
| $\omega$ | = 1143           | $V_k$    | = 859,21 litres.  |
| $Q_{mp}$ | = 1162,8 (k-d)   | $t$      | = 2663°           |
| $Q_{mv}$ | = 1187,9 id.     | $f$      | = 9594,42 kilogr. |
| $Q_{kp}$ | = 1017,3 id.     | $\alpha$ | = 0,859           |
| $Q_{kv}$ | = 1039,3 id.     | $W$      | = 441723 kgm.     |
| $V_m$    | = 982,08 litres. |          |                   |

La matière est donc un peu moins énergique que la nitroglycérine.

Comparée à la dynamite Kieselguhr, on admet dans tous les polygones, que le coton-poudre peut être employé à poids égal dans toutes les circonstances, en remplacement de la dynamite. Toutefois, le coton-poudre ne permet pas de provoquer des détonations par influence à des distances aussi grandes que la dynamite, mais elle permet cependant la constitution des charges allongées.

**362. Coton-poudre octonitrique.** — Celui-ci est beaucoup employé pour gélatiser la nitroglycérine (n° 309). Il se décompose suivant la formule :



qui donne :

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| $\omega$ = 1008    | $V_m$ = 982,080   |
| $Q_m^p$ = 875,400  | $V_k$ = 974,285   |
| $Q_{mv}$ = 899,353 | $t$ = 2423°       |
| $Q_{kp}$ = 868,452 | $f$ = 9954        |
| $Q_{kv}$ = 892,215 | $\alpha$ = 0,974. |
| $W$ = 379191       |                   |

*Coton-poudre humide.*

363. — Le coton-poudre contenant de 5 à 10 % d'eau ne s'enflamme plus par l'approche d'un corps en ignition, mais il éclate encore sous l'influence d'une forte capsule au fulminate de mercure sans presque diminution d'effet; cependant on remarque des ratés. La détonation se fait sûrement par l'explosion du coton-poudre sec (cartouche-amorce de 50 grammes); il faudrait sinon une capsule de 6,5 gr. de fulminate.

Le coton-poudre contenant 17 % d'eau est inerte à la capsule de fulminate de mercure, mais il détone sûrement par l'explosion de 80 gr. de coton-poudre sec amorcé au fulminate (il faudrait une capsule de 13 gr. de fulminate).

Lorsque les cartouches renferment 30 à 35 % d'eau, ce qui correspond au coton-poudre noyé dans l'eau, il faut employer au moins 700 gr. de l'explosif sec, appliqué au contact immédiat, pour obtenir des effets certains.

Le coton-poudre humide est donc plus susceptible de détoner par l'explosion du coton-poudre sec que par le fulminate de mercure seul.

C'est là une propriété extrêmement précieuse que possède le coton-poudre; à l'état humide il représente une matière inerte à l'action de la chaleur; on peut le travailler avec des instruments de fer froids ou chauds; le percer au fer rouge; la seule partie touchée dégage quelques flammes par suite de la dessiccation rapide. Il résiste aux chocs les plus violents du marteau sur l'enclume, d'une balle de fusil à bout portant.

Ces propriétés inertes, qui n'empêchent pas sa détonation sous l'influence du coton-poudre sec, jointe à celle qu'il possède de ne pas geler, de ne laisser rien exsuder, font que le coton-poudre est entré en grande faveur dans les arts militaires et qu'il tend à remplacer de plus en plus la dynamite.

Le CP humide dégage la même quantité de chaleur et le même volume de gaz que le coton-poudre sec; seulement on comprend que la pression théorique doit être diminuée par suite de l'absorption d'une partie de la chaleur par l'eau. La pression théorique serait d'après M. Berthelot réduite du tiers et de la moitié pour la teneur de 10 % et de 20 % d'eau.

On pense aussi que le coton-poudre humide est plus à l'abri des décompositions spontanées que le coton-poudre sec; c'est pourquoi, en principe, on ne conserve de grands approvisionnements qu'à l'état humide dans les magasins et à l'état sec, que les quantités minimales nécessaires à l'amorçage du coton-poudre humide.

Cependant l'expérience acquise a permis une tolérance plus large dans la emmagasinage de l'explosif sec, qui conservé dans de bonnes conditions n'a donné aucun signe d'altération même dans les climats torrides.

Le coton-poudre humide peut être conservé dans les magasins des places, dans des citernes ou des récipients pleins d'eau.

Le coton-poudre humide peut geler. On remarque qu'alors il est plus sensible au choc de la capsule au fulminate de mercure.

Avec le coton-poudre humide les charges doivent être concentrées, les cartouches doivent être mises en contact, la détonation ne se transmet pas au delà de 1 à 2 centimètres.

**364. Influence des liquides et des solides sur la susceptibilité de détonation des corps explosibles.** — Nous avons déjà constaté dans l'étude de la dynamite l'influence du corps inerte sur la sensibilité de la nitro-glycérine; cette influence est surtout remarquable dans le coton-poudre.

Les effets sont différents suivant que le corps explosible est solide ou liquide. D'après Abel, dans le premier cas, la transmission de la détonation est entravée, dans le second cas, les molécules explosibles

se touchent et l'effet est peu changé. Le coton poudre imprégné d'un corps liquide perd de sa sensibilité; il y a isolement des molécules par le liquide; la présence de l'eau exige donc une amorce beaucoup plus énergique. Il faudrait plutôt admettre que l'addition d'eau au coton-poudre augmente la chaleur spécifique de l'ensemble; par conséquent, la quantité de chaleur nécessaire pour porter le corps à la température de l'explosion doit être plus considérable, ce qui exige un choc initial plus violent, ce choc absorbé par l'explosif s'y transforme en effet en chaleur.

Il en est de même de la nitroglycérine mêlée de Kieselguhr. Nous pensons que c'est là la vraie explication des changements opérés dans la sensibilité des explosifs.

Si l'on charge des obus avec du coton-poudre comprimé et mouillé, de telle sorte qu'une charge initiale de l'explosif en soit immédiatement enveloppé, et que l'on remplisse d'eau les petites espaces qui séparent les masses, la charge étant alors submergée, l'explosion se produit avec certitude et donne des résultats plus grands que ceux qui seraient produits avec du coton-poudre sec dans les mêmes conditions.

La manière soudaine et complète avec laquelle la détonation se transmet à travers de petits espaces d'eau dans des expériences faites avec des enveloppes en fer forgé, a amené Abel à essayer d'appliquer l'eau comme véhicule pour de petites charges détonantes destinées à briser ou à faire éclater des obus de fer forgé, en fragments nombreux et uniformes.

La détonation d'un obus rempli de 7 gr. de coton-poudre comprimé fait éclater l'obus en un nombre de fragments près de 8 fois plus grand que celui des fragments obtenus dans un obus pareil par 365,5 gr. de poudre noire ordinaire. L'eau offre une résistance, à l'instant de l'explosion, semblable à celle que présenterait une masse entièrement solide.

**365. Coton-poudre paraffiné.** — Le coton-poudre humide, pour conserver son eau de mouillage doit être emmagasiné dans des conditions spéciales; dans les forts on peut le placer dans des citernes, mais en campagne on doit faire usage de récipients hermétiques, ce qui est souvent un sérieux inconvénient.

On a songé à mélanger le coton-poudre avec un corps inerte non volatil et on a fait usage de paraffine; celle-ci peut être incorporée soit à chaud, soit sous les meules, ce qui vaut mieux. Le coton-poudre à 3 % d'humidité est mêlé à la paraffine en raclures et trituré sous des meules de 5000 kg.

Le 24 avril 1881 une explosion de meules eut lieu pendant cette opération à la poudrerie nationale de Pont-de-Buis en France.

L'insensibilité de l'explosif croît avec la proportion du corps gras : 100 parties de coton-poudre peuvent absorber 33 parties de paraffine fondue, le mélange ne détone plus que par l'amorce de coton-poudre sec. La proportion de paraffine est facile à doser pour obtenir un degré d'inertie voulu. Le coton-poudre mêlé de 5 % de paraffine détone encore avec la capsule de 1<sup>er</sup>5. Mêlé à 10 % il exige une petite cartouche amorce de coton-poudre sec.

Le coton-poudre paraffiné s'enflamme facilement sous le choc de la balle et brûle sans détoner. Il est, sous ce rapport, très inférieur au coton-poudre humide. Naturellement la force du coton-poudre est diminuée. On a constaté que la sensibilité aux détonations n'est pas la même pour le coton-poudre paraffiné nouveau, que pour le vieux; peut-être cela provient-il d'un changement de structure qui résulte de la cristallisation lente de la paraffine.

On se contente ordinairement de paraffiner l'extérieur des cartouches, mais seulement dans le but de les soustraire à l'humidité; on peut faire usage dans le même but d'enveloppes métalliques minces. On a même proposé des enveloppes en cellulöide, embouti en deux pièces, analogues aux étuis à aiguilles. La cartouche de coton-poudre est introduite dans une des pièces puis on la coiffe au moyen de la seconde, les deux parties sont ensuite soudées par une dissolution de cellulöid dans de l'alcool éthéré. Cette enveloppe très mince est transparente et permet d'observer la couleur que prend une bande de papier bleu de tournesol en contact avec le coton-poudre enfermé dans l'étui. On peut ainsi constamment suivre l'état de conservation de l'explosif. Il resté à examiner si le cellulöid n'offre pas de dangers trop grands d'inflammabilité et si sa conservation indéfinie est assurée.



**366. Usages du coton-poudre.** — Les usages sont presque exclusivement militaires; sa grande énergie, sa propriété de ne pas geler, celle d'être inerte aux chocs lorsqu'il est humide, celle de détoner sous ce dernier état par une amorce au coton-poudre sec, sa bonne conservation au froid, au chaud, à l'eau, l'ont fait généralement préférer à la dynamite dans les armées. Il coûte plus cher que la dynamite; aussi celle-ci, malgré ses défauts, est seule employée dans l'industrie. Il faut noter que le coton-poudre peut remplacer, à poids égal, la dynamite à 75 %, dans toutes les applications militaires.

**367. Emploi du coton-poudre dans les armes à feu.** — Le général autrichien De Lenck est le premier qui ait fait des essais en grand pour l'emploi du coton-poudre dans les fusils et les canons. Le coton-poudre, dans les armes à feu, présentait de nombreux avantages parmi lesquels il faut surtout signaler : l'absence de fumée, un encrassement nul, un recul faible, des vitesses initiales plus grandes.

Des batteries au coton-poudre furent installées, mais on abandonna bientôt les expériences; le coton-poudre, dans l'état physique où il était employé, donnait une action brisante et irrégulière.

En France, dès 1846, de nombreuses expériences eurent également lieu; elles conclurent à l'action trop vive du coton-poudre.

On chercha par la suite à diminuer la propriété brisante de cet explosif en modifiant son état physique; on l'employa sous forme de cordons, de tresses, puis enfin sous la forme de coton-poudre comprimé d'après la méthode d'Abel. Déjà, en 1868, l'usine de Stowmarket, en Angleterre, fabriquait des milliers de cartouches par jour à base de coton-poudre; sans doute le résultat ne répondit pas à l'attente puisque depuis cette époque la poudre noire n'a pas encore été remplacée. Actuellement, les études sont vigoureusement reprises; les poudres sans fumée étant à l'ordre du jour. Nous examinerons à l'article « poudre sans fumée » (n° 515) les progrès qui ont été faits de nos jours; le problème de l'emploi du coton-poudre dans les armes à feu est résolu.

**368. Chargement des torpilles.** — Le coton-poudre est surtout employé dans le chargement des torpilles; c'est sous ce rapport un

explosif précieux, parce qu'il est extrêmement difficile de conserver les torpilles parfaitement étanches; la dynamite mouillée laisse suinter la nitroglycérine et devient dangereuse. Cependant, d'après des expériences faites en Angleterre, une torpille d'attaque, même placée à une distance notable peut faire détoner une ligne de torpilles chargées au coton-poudre.

Une charge de 50 kilogrammes de coton-poudre comprimé, faisant explosion sous l'eau au contact d'un bâtiment, quelque résistance que présente ce dernier, paraît devoir le mettre hors de service, même dans le cas de compartiments étanches.

**369. Chargement des obus.** — Le coton-poudre sec éclate souvent par le choc au départ ce qui met l'âme du canon entièrement hors de service. Le fulmi-coton humide résiste très bien. En Allemagne, on avait adopté cette matière pour le chargement des obus torpilles.

Le coton-poudre renfermant 25 % d'eau est découpé en cubes de 10<sup>mm</sup> de côté, on plonge les dés dans de l'éther acétique qui forme une pellicule extérieure pour empêcher l'évaporation de l'eau. Les intervalles des dés sont remplis par de la paraffine avec un peu de minium (qui rend l'explosion plus visible). Actuellement, cet explosif est remplacé par l'acide picrique fondu (mélinite).

**370. Ruptures.** — Le coton-poudre est beaucoup employé comme explosif de rupture. En Russie, depuis 1881, les anciennes cartouches de dynamite sont remplacées par des cartouches de coton-poudre pour la destruction des voies ferrées et des télégraphes.

On fait usage de deux espèces de cartouches : les cartouches humides, qui forment la majeure partie de l'approvisionnement, et les cartouches sèches, qui servent d'amorces. Les cartouches humides sont conservées et expédiées dans des caisses en bois; les sachets en bourre de soie, qui doivent servir à envelopper les cartouches, sont emmagasinés à part. Les cartouches sèches ou les cartouches amorces sont placées dans des caisses de zinc renfermées elles-mêmes dans des caisses en bois; le tout est enveloppé de tôle de fer. C'est ainsi qu'on les envoie aux escadrons ou sotnias; elles sont mises à part des cartouches humides dans des endroits secs et chauds.

Une fois par an au moins, on pèse les cartouches humides et on observe leur aspect extérieur pour voir si elles se sont détériorées ou si leur humidité a éprouvé quelque variation. Si une cartouche humide présente une couleur brun-violet, on examine toutes les cartouches et on emploie de suite les cartouches colorées.

On pèse de même les cartouches sèches; celles qui ont plus de 3 % d'humidité sont mises à part.

On fait détoner les cartouches sèches à l'aide d'une capsule renfermant 2 grammes de fulminate de mercure. Les capsules et cordeaux Bickford sont éloignés des endroits où sont emmagasinées les cartouches sèches.

En temps de guerre, les cartouches sont portées dans des bissacs par des chevaux de bât et les cartouches sèches dans des bissacs à part.

*En France*, le coton-poudre est aussi en usage comme poudre de rupture. Les cartouches comprennent des cubes de 0<sup>m</sup>40 de côté, des carreaux parallépipédiques, etc., renfermés dans des boîtes métalliques fermées par un couvercle à emboîtement qui porte au centre une douille métallique pénétrant dans la charge et destinée à recevoir la capsule. Des précautions spéciales sont prises pour mettre l'explosif à l'abri de l'humidité; tous les joints sont lutés avec des bandes de papier collées au caoutchouc liquide (solution de caoutchouc dans la benzine).

On fait encore usage de cartouches en laiton de 0<sup>m</sup>m2 d'épaisseur.

*En Allemagne*, on emploie aussi le coton-poudre humide (à 15 % d'eau) et le coton-poudre sec comme amorce. L'amorce pour le coton-poudre sec consiste en une capsule renfermant 1 gramme de fulminate de mercure.

On fait usage :

1° De prismes de chargement de 70<sup>mm</sup> × 50<sup>mm</sup> × 40<sup>mm</sup> en fulmicoton humide pesant 200 grammes.

2° De prismes-amorces de même force en coton-poudre sec pesant 170 grammes.

3° Les cartouches pour forage, cylindriques, longues de 70<sup>mm</sup> sur 30<sup>mm</sup> de diamètre en coton poudre sec. Elles sont paraffinées exté-

rieurement comme du reste aussi les prismes-amorces, afin de les préserver de l'humidité.

4° Les pétards à enveloppes de fer-blanc mesurant 200<sup>mm</sup> × 73<sup>mm</sup> × 53<sup>mm</sup> renfermant cinq prismes de chargement sec et paraffinés. Le couvercle est soudé avec de l'alliage Wood (7 à 8 parties de bismuth, 2 parties de plomb, 2 parties d'étain, 1 à 2 parties de cadmium) qui fond à 70° c.

Le fulmi-coton est transporté dans la voiture des mineurs de campagne, dans 18 caisses en bois goudronné. Deux d'entre elles renferment les prismes-amorces, une les cartouches pour forage, deux les pétards, les treize autres reçoivent le fulmi-coton humide. Chaque caisse contient ainsi 110 prismes ou 231 cartouches ou 20 pétards.

Les caisses de fulmi-coton sec sont peintes en rouge; elles reçoivent une inscription spéciale et sont toujours placées au centre de la voiture pour être mieux protégées contre le choc des balles.

La compagnie de campagne a donc constamment sous la main 325 kilogrammes de fulmi-coton. Le parc de corps renferme en outre une réserve de 363 kilogr.

*Emploi.* — On sait que le fulmi-coton comprimé a sensiblement la même puissance que la dynamite à 75 %. Les charges à employer ne diffèrent pas sensiblement de celles qui sont réglementaires en France.

On se bornera donc à signaler diverses particularités intéressantes relatives à l'emploi de cet explosif.

*Transmission de la détonation.* — Pour obtenir des explosions simultanées, on peut opérer avec capsules ou sans capsules.

Le premier procédé est applicable aux pétards de 1 kilogramme, à condition qu'ils soient placés à 1 mètre de distance au plus, sur la même plaque de fer, et qu'il ne se trouve entre eux aucun obstacle, têtes de boulon, terre, etc.

Sur le bois ou sur la maçonnerie, la transmission n'est pas certaine. De même, lorsque l'intervalle dépasse 1 mètre, il faut intercaler d'autres pétards.

Lorsqu'on veut opérer sur des supports autres que le fer, ou transmettre la détonation entre des prismes, il faut les munir de

capsules ouvertes, que l'on tourne vers la charge qui transmet la détonation.

L'intervalle peut atteindre 1 mètre avec des charges de deux prismes; 1<sup>m</sup>20 avec des charges de trois. Si la distance est supérieure, on la subdivise en fractions de 50 centimètres au plus en intercalant des prismes simples. On attache solidement toutes ces charges et on les préserve de la pluie en les recouvrant avec des planches.

*Rupture de rails.* — En plaçant trois prismes contre une éclisse et les recouvrant d'un peu de terre, on rompt les deux rails sur la longueur de l'éclisse.

Il est recommandé d'employer de préférence un pétard de 1 kg. qui enlève un fragment de 25 centimètres de long.

Si l'on a affaire à la voie Hilf, dans laquelle le rail est fixé sur la traverse métallique, on emploie une première charge comme ci-dessus pour le rail, puis une seconde pour la traverse.

*Fougasses.* — Quoique le fulmi-coton convienne moins bien que la poudre au chargement des fougasses, on s'en sert cependant avec succès.

Pour les fougasses ordinaires, on enterre une charge de 5 kg. à une profondeur de 1 mètre au maximum.

Dans les fougasses-pierriers le fulmi-coton donne une gerbe haute, moins longue, plus large qu'avec la poudre. On ménage un intervalle de 25 à 30 centimètres entre la charge et le plateau.

En terrain peu consistant, on recommande le procédé suivant : On creuse une cavité de 2 mètres de largeur et 30 centimètres de profondeur, au fond de laquelle on place une charge allongée de 5 kilogrammes de fulmi-coton et que l'on comble de pierres.

L'explosion projette celle-ci suivant une ellipse dont le petit axe, dirigé suivant la longueur de la charge, a 50 mètres au plus, tandis que le grand axe atteint 250 mètres.

Lorsqu'on dispose ces fougasses en avant d'un ouvrage de fortification, il convient par suite de les en éloigner de 100 mètres environ et de placer la charge perpendiculaire au front de la position.

*Défenses accessoires.* — Pour faire brèche dans un réseau de fil de fer, on emploie une charge de 2,5 kilogrammes par mètre courant

et d'une longueur légèrement supérieure à la largeur de l'obstacle. Pour les abatis couchés, 3 kilogrammes environ par mètre courant et 2 kilogrammes seulement, si l'on peut introduire la charge par dessous, presque au contact du sol.

Contre un abatis debout, on prépare des charges de 5 kilogrammes, longues de 2 mètres, que l'on glisse par dessous, le plus bas possible, le long de la contrescarpe.

*Artifices de mise à feu.* — Les Allemands emploient le saucisson, le cordeau Bickford recouvert de gutta et le cordeau porte-feu instantané imperméable (Schnelzündschnur) à très peu identique au nôtre, les fils longitudinaux sont sous le tressage extérieur.

Pour assembler deux cordeaux instantanés bout à bout, on défait le tressage sur quelques centimètres de longueur, puis on introduit les deux bouts à réunir dans un fort tube de caoutchouc de 10 millimètres de diamètre et de 8 centimètres de longueur; après les avoir poussés jusqu'au contact, on entoure chaque extrémité du tube d'une ligature solide.

Si l'on craint des tractions, on juxtapose à la ligature un morceau de bois sur lequel on ficelle solidement les deux brins de cordeau.

Si l'on a à assembler trois bouts de cordeau, on les introduit dans les trois branches d'un tube de caoutchouc bifurqué en forme d'Y et on continue comme plus haut.

On se sert aussi d'électricité à haute tension avec une amorce à fil discontinu (type Abel) et capsule au fulminate.

L'appareil électrique est du type Siemens et ressemble assez à celui décrit dans *l'École des mines*.

Le fil de l'inducteur a 0<sup>mm</sup>3 et fait 6000 tours, celui de l'induit a 0<sup>mm</sup>15 et fait 3500 tours.

Tous les deux sont dans le même circuit; on conçoit que l'interposition d'une résistance aussi grande que celle d'une amorce à fil discontinu, aurait pour effet de rendre singulièrement difficile l'amorçage de cette machine dynamo-électrique. En outre, le courant, arrivant dans l'amorce avec une intensité progressive, se trouverait dans de mauvaises conditions pour l'enflammer.

On a tourné la difficulté en mettant l'appareil en court circuit

pendant les 12 aux 14 premiers tours de manivelle, c'est-à-dire,  $\frac{2}{3}$  de seconde. Au bout de ce temps l'opérateur déclanche un commutateur qui rompt la communication de l'induit avec l'inducteur et l'établit en même temps avec le circuit extérieur, dans lequel le courant est lancé avec son maximum d'intensité et enflamme l'amorce. Cette disposition présente, comme on le voit, une certaine analogie avec celle bien connue de l'interrupteur de l'exploseur Bréguet.

*En Belgique.* — La cavalerie fait usage de dynamite ordinaire et ses variantes, la poudre de bois, le coton-poudre comprimé, la tonite. L'amorçage se fait à la capsule au fulminate de 2 grammes et de la mèche Bickford, quelquefois par l'intermédiaire de pétards à la dynamite ou au coton-poudre sec. Les pionniers de la cavalerie font usage pour le transport des agents explosifs d'une *cartouchière* à pétards renfermant deux charges allongées de 800 grammes de coton-poudre. Ces *cartouchières* ne renferment qu'une partie de l'approvisionnement en explosifs, le restant est transporté en fourgons. *Un sachet à artifices* renferme les moyens de mise à feu, des capsules Nobel, de la mèche Bickford, de la ficelle, un couteau et une pince à sertir.

La cavalerie peut avoir à détruire du matériel de chemin de fer. Pour la destruction de la voie on fait des coupures de distance en distance dans les rails. Chacune d'elles est exécutée au moyen de la dynamite, du coton-poudre ou de la poudre de bois. On place 400 ou 800 grammes (suivant que les charges sont recouvertes ou non de terre) au joint de 2 rails vers l'extérieur de la voie. Dans les parties courbes on détruit la file extérieure des rails. On produit ainsi une brèche de 1<sup>m</sup>50 environ si la charge a une longueur de 1<sup>m</sup>20. On détruit les changements de voie, les croisements, au moyen de charges de 500 grammes placées dans les ornières des croisements ou dans les intervalles ménagés entre les aiguilles et les rails. Si l'on a le temps, il faut recouvrir les charges de terre, de gazon, etc.

On défonce les réservoirs d'eau, les plaques tournantes, on détruit le matériel roulant; on brise les essieux avec des charges de 500 gr.; une bielle motrice de locomotive exige 200 gr., un essieu de roue motrice 1 kil; on défonce les réservoirs des tenders, le crochet de traction, etc.

**371. Emploi du coton-poudre dans les mines.** — Le coton-poudre comprimé a à peu près la même force que la dynamite sous le même poids. L'explosion dégage beaucoup d'oxyde de carbone, qui est un gaz éminemment toxique; on peut, en mélangeant le coton-poudre avec du salpêtre, transformer l'oxyde de carbone en acide carbonique qui n'est pas dangereux à respirer. Le coton-poudre est peu employé dans les mines à cause de son prix élevé. On lui préfère sous ce rapport la dynamite.

*Collodion.*

**372.** — Le collodion est une dissolution de coton-poudre octonitrique dans un mélange de 18 parties d'éther et de 3 parties d'alcool ou à doses égales. On obtient ce coton-poudre spécial par les procédés suivants :

*1<sup>re</sup> préparation.* — On mélange :

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| Acide sulfurique à 66° B . . . . . | 800 |
| Nitrate de potassium sec . . . . . | 700 |
| Eau . . . . .                      | 750 |

on chauffe à 60° et on immerge 200 p. d'ouate pendant 15 minutes.

*2<sup>e</sup> préparation.* — On fait usage d'acide sulfurique à 66° B et d'acide nitrique à 40°,5 B (D = 1,40) (SO<sup>4</sup>H<sup>2</sup>, 2 p. + AzO<sup>3</sup>H 1 p.). Le coton est séché pendant 6 heures à 90° c., on le plonge dans le mélange acide en l'étalant le plus possible; on l'abandonne dans des pots 15 à 18 heures.

On égoutte sur une grille et on turbine. On lave en empêchant toute élévation de température.

On sèche en dessous de 30° c. En fabrication courante, on fait des mélanges comprenant deux tiers de vieux acides et un tiers d'acides neufs. Dissolution dans des vol. égaux d'éther à 62° et d'alcool à 92-95°.

Le collodion avait autrefois des applications importantes en photographie, il servait à former sur une lame de verre une pellicule mince imprégnée des sels sensibles. Aujourd'hui, il est abandonné et remplacé par la gélatine.



On l'emploie encore aujourd'hui dans l'art de guérir pour recouvrir les brûlures, les plaies et les mettre ainsi à l'abri du contact de l'air. Pour cet emploi spécial, on ajoute quelques gouttes d'huile de ricin qui évite la contraction du collodion et lui donne de la flexibilité.

Actuellement, ce coton-poudre spécial (octonitrique) sert beaucoup dans la fabrication des gommes explosives (n° 309).

### § 3. — FULMI-COTON NITRATÉ ET CHLORATÉ.

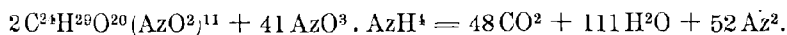
Le fulmi-coton n'étant pas à combustion complète, on peut lui ajouter des nitrates et des chlorates qui donneront des produits oxydés au plus haut degré.

La suppression du gaz toxique, l'oxyde de carbone rend l'emploi du coton-poudre nitraté d'un emploi salubre dans les mines.

**373. Fulmi-coton au nitrate d'ammonium** (Sarrau et Vieille).  
— La composition donnée par ces savants est :

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Fulmi-coton . . . . .       | 40 |
| Nitrate d'ammonium. . . . . | 60 |

La formule suivante donne la réaction produite à combustion totale.



Le calcul des proportions au moyen des poids atomiques donne, d'après cette formule :

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Coton-poudre . . . . .      | 411  |
| Nitrate d'ammonium. . . . . | 589  |
|                             | 1000 |

Les deux matières sont triturées ensemble après addition de 24 parties d'eau, puis on sèche à 60° c. Cette poudre est très hygroscopique à cause de la présence du nitrate d'ammonium.

Dans une enveloppe paraffinée, la conservation peut être très longue, mais la moindre détérioration provoque l'absorption d'eau et la cartouche devient insensible à l'amorce.

*Force du mélange.*

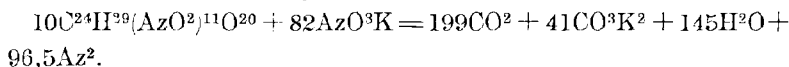
La force de ce mélange est un peu plus grande que celle du coton-poudre pur. Des expériences faites sur cet explosif ont prouvé qu'il présente une puissance au moins égale à celle du coton-poudre pur à poids égal et notablement supérieure à volume égal, à cause de sa forte densité ( $\frac{1}{3}$ ). Le prix de revient est très inférieur à celui du coton-poudre pur. Comme il ne fournit pas d'oxyde de carbone, c'est un explosif précieux dans les mines.

**374. Fulmi-coton au nitrate de potassium.** (Sarrau et Vieille) (Potentite).

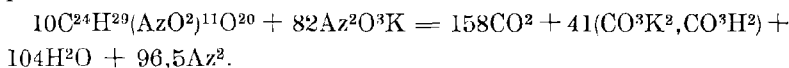
Composition :

Coton-poudre . . . 50 | Nitrate de potassium. 50

La réaction est donnée par la formule :



Comme il se forme dans le refroidissement du bicarbonate de potassium, on a :



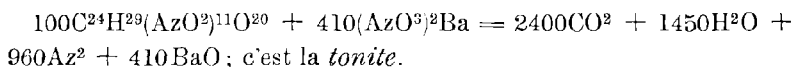
Le calcul au moyen de cette formule donne les proportions :

Coton-poudre . . . 580 | Nitrate de potassium. 420

Ce mélange est beaucoup moins énergique que celui du coton-poudre pur et du coton-poudre mêlé de nitrate d'ammonium.

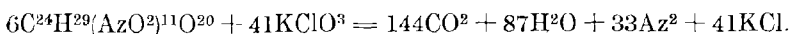
**375. Tonite.** — On mélange fort souvent le coton-poudre avec le nitrate de Baryum, celui-ci est avantageux attendu qu'il est fort peu soluble dans l'eau à froid, ce sel ne disparaissant pas comme le nitrate de potassium dans des milieux humides ou dans l'eau.

La formule de réaction est :



Coton-poudre . . 51,6 | Nitrate de Baryum. 48,4

**376. Fulmi-coton chloraté.** — La formule qui règle le mélange est la suivante :



La composition est, d'après cela :

Coton-poudre . . 577 | Chlorate de potassium. 423

Cette poudre est extrêmement sensible aux chocs et à la friction, elle est dangereuse à manier; on a généralement renoncé à son usage; on l'a proposée comme amorce.

§ 4. — POUDRES DIVERSES A BASE DE CELLULOSE NITRÉE.

Au lieu de nitrer du coton pur, on peut nitrer toutes les substances formées en majeure partie de cellulose; on obtient ainsi des explosifs, peut-être moins énergiques, mais plus économiques.

**377. Poudre blanche de Schültze.** — Du bois blanc est débité en feuilles minces, qu'on découpe en petits morceaux réguliers à l'emporte-pièce. Les grains sont bouillis dans une lessive faible de carbonate de sodium, on lave ensuite parfaitement bien et on blanchit au chlorure de chaux, on lave à l'eau bouillante et on sèche. Les grains sont plongés dans le mélange sulfo-nitrique suivant :

Acide sulfurique ( $D = 1,84$ ). . . . . 71,5.

Acide azotique ( $D = 1,50$ ) . . . . . 28,5.

On refroidit les liquides et on laisse agir trois heures, on essore les acides, on lave à l'eau courante pendant quelques jours et on achève la neutralisation au bain alcalin de carbonate de soude; on lave et on sèche.

Quelquefois, on nitre ce fulmi-bois en l'imprégnant de salpêtre et de nitrate de baryum en solution aqueuse; on peut employer : 100 parties de fulmi-bois + 26 parties de nitrate de potassium; ou bien, 100 parties de fulmi-bois + 22,5 de nitre potassique + 7,5 parties de nitrate de baryum + 220 parties d'eau.

La matière bien imprégnée est séchée à 30-40° c.

*Propriétés.* — Cette poudre se présente sous forme de grains blancs ou gris suivant qu'ils ont été blanchis ou non. Elle se conserve bien et donne une fumée très légère qui se dissipe rapidement. Les chasseurs font actuellement beaucoup usage de cette poudre, elle ne donne presque pas de recul, n'encrasse pas les armes et ne

donne pas de fumée. A cause de son allure brisante, elle est dangereuse dans les fusils de chasse qui ne sont pas fabriqués spécialement pour son usage. Elle a provoqué de nombreux éclatements de canons. Elle écarte aussi moins les charges de petits plombs que la poudre noire ; comme elle se combure en un temps très court, le maximum de vitesse est donné aux grains avant leur sortie de l'arme, tandis que la poudre noire, d'une combustion plus lente, fait explosion jusqu'au dehors du fusil ; les gaz allant alors plus vite que les grains provoquent à leur arrivée dans l'air des tourbillons qui troublent la direction des petits projectiles ; cela peut être quelquefois avantageux aux mauvais tireurs.

**378. Poudres de chasse sans fumée dites pyroxyliées.** — (Fabriquées en France à la poudrerie du Pont-de-Buis).

Dosage :

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Coton-poudre soluble . . . . .   | 28 |
| Coton-poudre insoluble . . . . . | 37 |
| Nitrate de baryte . . . . .      | 29 |
| Nitrate de potasse . . . . .     | 6  |

On mélange grossièrement à la main, puis on triture pendant 45 minutes aux meules légères avec addition de 40 % d'eau. On tamise à la perce de 2<sup>mm</sup>5, on sèche jusqu'à ce que le taux d'humidité soit inférieur à 1 %, on incorpore ensuite 65 % d'éther et la pâte obtenue est grenée sur un tamis de laiton de 1<sup>mm</sup>8 de perce. Le mélange de grains et de poussier provenant de cette opération est lissé pendant 45 minutes à la tonne de bois, puis on humecte à 50 % d'eau et on sèche, on égalise à la perce de 1<sup>mm</sup>6 et on époussette à la perce de 1<sup>mm</sup>.

Enfin, on lisse avec addition de 15 % d'éther dans une tonne de cuivre où l'éther arrive sous forme de pluie fine.

*Propriétés* : poudre jaune, grain régulier, solide.

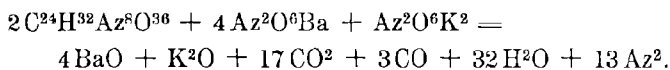
**Poudre Bandisch.** — En comprimant la poudre de Schültze à la presse hydraulique, on la convertit en un corps solide qui, sous un petit volume, possède une force considérable.

**Bois pyroxylié.** — On fait usage de pâte de bois. Le bois est

déchiqueté, trempé dans l'acide sulfo-nitrique, lavé, additionné de salpêtre et grené à la tonne. On incorpore le salpêtre à chaud par voie humide. On peut aussi mêler sous les meules.

**379. Poudre de bois de Wetteren. — Tonite.** — C'est un fulmi-bois nitraté, mêlé de nitrate de baryte et de nitrate de potasse. Le mélange est fait sous les meules, comprimé à la presse hydraulique et séché. La cartouche séchée est plongée dans la paraffine fondue, puis recouverte d'une enveloppe de papier bien paraffiné. Elle était en usage au régiment du génie comme poudre de rupture.

*Formule de décomposition :*



Cette poudre de bois est plus dense que la dynamite et contient à l'état normal de 2 à 2,5 % d'eau; elle est moins sensible au choc que la dynamite; sa sensibilité augmente avec la dessiccation. Elle présente le même aspect que le coton-poudre, et constitue un corps qui ne se déforme et ne se dégrène pas. On peut diviser les cartouches en faisant à la surface une petite entaille au moyen de la pointe d'un couteau et en exerçant une pression latérale à la main. Recouverte de son enveloppe, une cartouche peut rester six heures dans l'eau sans s'altérer. Le choc d'une balle ne la fait éclater que lorsqu'elle est appuyée contre une plaque de fonte et si la distance n'excède pas 50 mètres.

A égalité de poids, la poudre de bois produit le même effet que la dynamite. Le prix de revient est inférieur, la fabrication est plus simple et moins dangereuse: ce n'est pas une matière toxique pour les ouvriers, le transport n'offre pas de dangers. Elle n'est pas d'une conservation très assurée, aussi on la remplace maintenant par la tonite à base de coton-poudre pur.

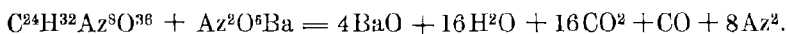
Voici un tableau résumant les résultats obtenus en employant des charges égales de différentes substances explosives pour la rupture des fers à double T.

| Substances explosives.   | Prix au kg. | Nombre d'ex-périences. | Ruptures complètes. | Ruptures suffisantes. | Ruptures insuffisantes. | Événés. |
|--------------------------|-------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Poudre de bois. . . . .  | 3,50        | 10                     | 8                   | 2                     | "                       | "       |
| Dynamite . . . . .       | 4,50        | 8                      | 4                   | 1                     | 3                       | "       |
| Coton-poudre . . . . .   | 5,00        | 5                      | 1                   | "                     | 3                       | 1       |
| Paléine à 40 % . . . . . | 6,25        | 6                      | 3                   | 2                     | 1                       | "       |

**380. Tonite anglaise.** (Coton powder company limited) Faversham.

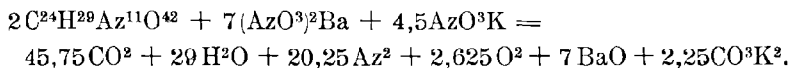
|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Fulmi-coton pulvé . . . . . | 51,6 |
| Nitrate de baryum . . . . . | 48,4 |

L'équation de réaction est :



Le régiment du génie fait actuellement usage de la tonite suivante :

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Coton-poudre endécantrique . . . . . | 50 |
| Azotate de baryum. . . . .           | 40 |
| Azotate de potassium . . . . .       | 10 |



C'est la tonite de Faversham rendue plus sensible pour la détonation à l'air libre par l'addition de nitrate de potassium. On triture sous les meules et on comprime la matière humide. La cartouche nue est plongée dans la paraffine fondue et recouverte d'un papier brun paraffiné. Un logement pour la capsule est ménagé dans la masse.

Les cartouches sont cylindriques ou prismatiques; les premières pèsent 50 grammes, les autres 100 grammes. C'est un explosif d'une grande sécurité de maniement, sa force équivaut à celle de la dynamite. La tonite exige la capsule de 2 grammes au taux de 7 % d'eau au plus; au delà, il faut comme amorce la cartouche sèche.

**381. Paléine ou fulmi-paille de Lanfrey.** — On fait usage de paille d'avoine qu'on fait bouillir avec de la lessive de carbonate de soude à 2 %; les fibres sont triturées dans une pile à papier et la

pâte est coulée en feuilles épaisses dans des formes à papier ; on découpe ensuite cette espèce de carton en rognures ou en rondelles qui sont plongées dans l'acide sulfo-nitrique, on exprime et on lave. Enfin, le fulmi-paille est imprégné d'une solution de salpêtre épaissie à la dextrine et additionnée de charbon de bois dur. Cette paléine, très poreuse, peut absorber 75 % de nitroglycérine ; elle constitue alors la dynamite-paille.

**Papier fulminant.** — On plonge du papier végétal non collé dans l'acide sulfo-nitrique, on lave à l'eau pure, puis à l'eau alcaline ; le papier fulminant chloraté peut servir d'amorce.

**Fulmi-son.** — C'est du son nitré par l'acide sulfo-nitrique. Ce fulmi-son est ordinairement imprégné de 30 à 40 % de nitroglycérine. Cette dynamite-son est très sensible au froid qui la gèle facilement.

**Poudre blanche Lannoy.** —

|  |    |
|--|----|
| Azotate de sodium . . . . .            | 65 |
| Soufre. . . . .                        | 13 |
| Bois, sciure, son, nitrifiés . . . . . | 22 |

Elle sert comme poudre de mine.

**Potentite.** — Mélange de coton-poudre et de nitrate potassique.

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Coton-poudre . . . . .      | 58 |
| AzO <sup>3</sup> K. . . . . | 42 |

**Poudre Pastry et Fallenstein ou kinénite.** — C'est une masse gélatineuse obtenue au moyen d'une dissolution de coton-poudre dans la nitro-benzine, on ajoute des chlorates et des nitrates et on malaxe pour donner l'homogénéité ; puis on additionne de 3 % de sulfure d'antimoine, on mélange et on met la pâte en cartouches.

**Kinénite.** —

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Nitrobenzine. . . . .                    | 16 à 20 %                    |
| Coton-poudre soluble . . . . .           | 0,75 à 82,5. Pâte plastique. |
| Chlorates et nitrates alcalins . . . . . | 75 à 82,5                    |
| Penta sulfure d'antimoine . . . . .      | 1 à 3                        |

*Celluloïd.*

**382.** — En 1869, l'Américain Hyatt, de Newark (New Jersey), imagina de mélanger au coton-poudre du camphre et de soumettre le tout à un malaxage parfait et à une compression énergique.

*Préparation.* — Du papier pur est reçu en rouleaux de 0<sup>m</sup>,34 de largeur et du poids de 15 à 25 kg. Il se déroule et est immergé dans de l'acide sulfo-nitrique dans les proportions ordinaires. Le contact dure 15 minutes; on essore, on lave à grande eau.

Actuellement, on fait usage de coton ou de pâte de bois. On nitre avec un mélange de 1 partie d'acide nitrique à 40° B pour 2 parties d'acide sulfurique à 60° B.

Le fulmi-coton est essoré, lavé à grande eau, puis blanchi avec une solution de permanganate de potassium; on traite par une solution d'anhydride sulfureux pour enlever le bioxyde de manganèse formé; on lave, on égoutte, on essore, puis on comprime à la presse hydraulique. Le coton-poudre renferme alors 5 % à 6 % d'eau.

Les galettes de pyroxyle sont cassées en menus morceaux, et ceux-ci sont jetés dans un dissolvant composé de 50 parties d'alcool à 96° et 30 parties de camphre.

Pour 80 parties de dissolvant, on emploie 100 parties de coton pyroxylé; on mélange, puis on abandonne dans des vases bien clos pendant un jour. La pâte gélatineuse est laminée entre des cylindres chauffés à 60° c. L'opération est répétée jusqu'à homogénéité parfaite. On obtient ainsi des feuilles qu'on découpe à grandeur convenable, on les empile et on les comprime sous une presse hydraulique chauffée à 60-65° c. Les feuilles se soudent; on refroidit et on retire de la presse des blocs de celluloïd qu'on débite suivant les besoins.

*Propriétés.* — C'est une substance translucide, un peu blonde, très dure, très élastique à la température ordinaire; elle devient pâteuse et malléable à 125°, elle se soude alors à elle-même et se laisse parfaitement laminer et estamper. Le celluloïd n'est pas sensiblement attaqué par les acides minéraux froids, mais il l'est facilement par l'acide sulfurique et l'acide nitrique chauds. Il est très soluble dans l'alcool éthéré, la solution est épaisse et peut facilement



servir à recoller le celluloid à lui-même. L'éther seul dissout le camphre et non le pyroxylo.

Le celluloid brûle facilement en donnant une flamme fumeuse. Si on le chauffe lentement, il se décompose à 140° en dégageant des vapeurs rutilantes; chauffé, il peut détoner par le choc; il faut par conséquent l'abriter contre toute élévation notable de température afin d'éviter des accidents graves. Lorsqu'on le chauffe en vase clos il explose; à l'air il ne détone pas avec l'amorce au fulminate de mercure.

*Usages.* — Ils sont devenus nombreux depuis quelques années. On peut lui conserver sa couleur originelle ou lui incorporer des matières colorantes quelconques. On en fabrique des peignes imitant l'écaille, des ronds de serviette, des billes de billard imitant parfaitement l'ivoire, des manches de parapluie, des pommeaux de cannes, des encriers, des bijoux de fantaisie, des bracelets, des crucifix, des objets sculptés; on imite à merveille l'ambre jaune laiteux, le corail, l'ébène, l'écaille. On fabrique même de la vaisselle plate, des cuvettes pour la photographie. On imite le cuir pour les objets de sellerie.

Lorsqu'on ajoute un peu d'huile grasse au celluloid il devient très souple et peut servir à la fabrication des imitations des objets de lingerie, tels que cols, manchettes, devants de chemises. Le celluloid dans lequel on incorpore une poudre blanche est comprimé entre des toiles, le grain de la toile est ainsi imprimé sur le celluloid. Aujourd'hui l'emploi de cette lingerie spéciale est entré dans la pratique des voyageurs; elle est d'un nettoyage extrêmement facile au moyen d'une éponge, d'une brosse et de savon.

#### § 5. — ÉPREUVES ET ANALYSES DU COTON-POUDRE.

**383.** — Le département de la marine française fait subir au coton-poudre les épreuves de réception suivantes :

- 1° Examen physique et vérification des formes extérieures;
- 2° Mesure de la densité;
- 3° Épreuve d'humidité;
- 4° " d'incinération;
- 5° " de solubilité;
- 6° " d'alcalinité;
- 7° " de chaleur.

**384. Examen physique.** — On ouvre au hasard une caisse sur 20 et dans chaque caisse on prélève  $\frac{1}{5}$  des carreaux, disques ou cylindres; ceux-ci ne doivent avoir aucune tendance à s'ouvrir et à se fendre facilement. Les arêtes seront adoucies; on vérifie les dimensions extérieures au moyen de calibres et de lunettes.

**385. Mesure de la densité.** — Elle sera au moins égale à l'unité. Elle doit être comprise entre 1,15 et 1,20. On divise le poids du solide par son volume que l'on mesure. L'explosif est desséché avant la mesure.

**386. Épreuve d'humidité.** — On dessèche les échantillons à l'étuve en dessous de 60°, on pèse toutes les heures jusqu'à ce que la perte du poids soit inférieure à  $\frac{1}{2}$ %. On pèse tous les blocs séparément et le poids obtenu donnera pour chacun d'eux le poids à l'état sec qui doit servir à la recherche de la densité. Les échantillons seront ensuite exposés à l'air libre pendant deux heures, puis pesés de rechef. Les nouveaux poids serviront à fixer le poids net de chaque gâteau, d'après lequel sera établie la quantité de coton-poudre servant à la fixation du prix de remboursement contenue dans le lot examiné.

On peut aussi faire usage du vide sec, mais l'opération est longue.

Nous rappelons que le taux d'humidité pour le coton-poudre sec ne doit pas dépasser 5% : au delà il donne des ratés avec la capsule de fulminate.

**387. Épreuve d'incinération.** — On enlève quelques grammes de coton-poudre dans la partie centrale du bloc; on pèse 2 grammes qu'on place dans une capsule chauffée; au fur et à mesure que le coton-poudre sèche, il s'enflamme. Le résidu doit être inférieur à 4%.

**388. Épreuve de solubilité.** — On lave par décantation environ 30 grammes de coton-poudre avec de l'eau à 50° c., on lave 2 fois avec 2 litres d'eau, puis on exprime à la presse et on sèche à l'étuve à 100° pendant 15 minutes, en remuant de temps en temps. On expose à l'air pendant 2 heures, on pèse 3 grammes pour chaque épreuve de solubilité et 1 gr. 3 pour chaque épreuve de chaleur. On introduit les 3 grammes dans un petit ballon, on ajoute 100 grammes d'un mélange de : 1 partie en poids d'alcool à 40° B. et 2 parties d'éther rectifié.

On laisse digérer 2 heures et on agite de temps en temps. On filtre sur de la fine mousseline, puis on comprime son contenu sous une presse à vis entre 2 couches de papier filtre.

L'échantillon est remis dans le ballon et on lui fait subir un nouveau traitement à l'alcool éthéré, une filtration et une compression.

On l'étale et on sèche à l'étuve à eau de la manière ordinaire; quand il est sec, on l'expose 2 heures à l'air et on pèse. La perte de poids donne la quantité de coton-poudre qui a disparu. Cette quantité ne doit pas être supérieure à 0<sup>rs</sup>4 (13 %).

**389. Épreuve d'alcalinité.** — On opère sur un échantillon de coton-poudre séché à l'air, très finement divisé et provenant du centre des gâteaux, on pèse 2 grammes.

On prépare deux liqueurs :

1° Un volume de 20 cc. environ d'acide chlorhydrique marquant 19° B. est étendu d'eau distillée de façon à faire un litre;

2° On dissout 20 gr. de carbonate de soude dans une petite quantité d'eau, puis on complète à 1 litre exactement. Le carbonate de soude doit être pur et toujours dans le même état. On peut prendre celui du commerce qu'on purifie par plusieurs cristallisations, ensuite on le laisse effleurir à l'air. On fait sécher la poudre à l'étuve et on la chauffe fortement dans une capule en remuant; lorsqu'une lame de verre froid ne se ternit plus l'opération est terminée; on laisse refroidir sous une cloche avec du chlorure de calcium.

On verse 10 cc. de la liqueur acide sur 2 gr. de coton-poudre; après quelque temps, l'alcali (carbonate de sodium) qui imprègne le coton-poudre est attaqué, on décante le liquide, on lave le coton-poudre par décantation ou bien sur filtre jusqu'à ce que les eaux ne se troublent plus par le nitrate d'argent; toutes les eaux sont réunies. On y verse un peu de teinture de tournesol bleue qui rougit aussitôt, puis à l'aide d'une burette graduée on laisse couler la solution alcaline 2° jusqu'à ce que la couleur rouge du tournesol redevienne bleue. On lit la burette soit  $n$  cc.

On titre les deux liqueurs types comme suit :

On prend 10 cc. de la liqueur acide au moyen d'une pipette gra-

duée, on allonge avec de l'eau distillée au même volume que la liqueur précédente. On rougit par un peu de tournesol, puis on verse la solution alcaline jusqu'au bleuissement; on lit la burette graduée soit  $n'$  cc.

Par conséquent,  $n' - n$  représente le volume de liqueur alcaline contenant un poids de carbonate de soude égal à celui qui se trouve dans les 2 gr. de coton-poudre, c'est-à-dire  $(n' - n) 0,02$  ou pour 100 gr. de coton-poudre  $(n' - n) \frac{0,02}{2} \times 100 = n' - n$ .

Donc  $n' - n$  donnera en grammes le poids du carbonate de soude contenu dans 100 grammes de coton-poudre, c'est-à-dire, le taux % d'alcalinité.

Ce nombre doit être compris entre 2 et 1.

**390. Épreuve de chaleur.** — Elle a pour but de constater la rapidité d'altération du coton-poudre sous l'influence de la chaleur. On fait usage d'un gros vase sphérique ou d'un grand vase à précipités pouvant contenir plusieurs litres d'eau. La grande quantité d'eau est nécessaire pour conserver pendant un temps assez long une température uniforme. Au-dessus du vase se trouve une feuille métallique servant de couvercle. On fera en sorte que ce couvercle ne s'échauffe pas par le rayonnement de la flamme; on peut le faire déborder en dessous par un carton.

La feuille est percée d'un certain nombre de trous destinés à recevoir des tubes à essais, un thermomètre très sensible et un thermo-régulateur si c'est nécessaire.

Le vase est placé sur un trépied à cheminée et chauffé par une lampe Bunsen à couronne.

On peut aussi faire usage du bain-marie; du reste, une disposition quelconque de chauffe peut être employée; le but est d'obtenir une température fixée et bien permanente. On introduit dans les tubes à essais 1 gr. 3 de coton-poudre pulvérulent, lavé et bien sec, on tasse légèrement; les tubes à essais doivent être exactement du même calibre (diamètre 15 mm., longueur 12 centimètres). Les tubes sont maintenus au-dessus du couvercle au tiers de leur hauteur au moyen d'un anneau en liège. On ferme les tubes avec un bouchon.

L'eau est chauffée à 65° c. (64°5 à 65°5), on enfonce les tubes à

essai dans l'eau, on enlève les bouchons et on les remplace par d'autres bouchons, au travers desquels passent des baguettes de verre à crochets, auxquels on peut fixer des papiers d'épreuves, dont nous donnons la préparation plus loin.

Le papier d'épreuve avant son introduction dans le tube est mouillé à la partie supérieure d'une goutte d'eau distillée glycéринée ( $\frac{1}{10}$ ). La moitié seule du papier doit être mouillée. On maintient d'abord le papier d'épreuve contre le bouchon. Les tubes sont mis en place au bout de cinq à six minutes. De la vapeur se dépose sur la partie du tube en contact avec l'air au-dessus du couvercle, on abaisse alors le papier d'épreuve jusqu'à ce que la ligne de séparation de la partie humide et de la partie sèche se trouve au niveau du bas de l'anneau humide du tube; on regarde le papier. L'épreuve est terminée quand une très faible coloration brune apparaît sur la ligne de démarcation de la partie sèche et de la partie humide du papier.

L'intervalle de temps entre le premier moment où l'on plonge dans l'eau à 65° le tube contenant l'échantillon de coton-poudre et le moment où se produit la coloration brune du papier est ce qui constitue l'épreuve. Cet intervalle doit être au minimum de 10 min.

*Papier d'épreuve.* — C'est du papier amidonné ioduré; on mélange 3 grammes d'amidon en poudre impalpable avec 250 grammes d'eau distillée; on fait bouillir, on laisse reposer 24 heures dans une haute éprouvette, on décante et on ajoute une solution de 1 gramme d'iodure de potassium dans 250 cc. d'eau distillée.

Dans cette liqueur, on trempe des feuilles de papier à filtrer, on laisse égoutter et on sèche. On coupe en morceaux de 12<sup>mm</sup> sur 15<sup>mm</sup>. Ce papier doit être conservé à l'abri de la lumière; il ne faut pas le laisser trop vieillir.

**391. Détermination du taux d'azote dans les cotons-poudres.**  
— Le procédé s'applique à tous les éthers azotiques (coton-poudre, nitroglycérine, nitromannite).

Cette opération est très importante puisqu'elle permet de classer le coton-poudre essayé suivant son degré d'énergie.

On fait usage de la *méthode de Schloesing* dont nous avons donné le principe aux analyses du salpêtre (n° 52). La conduite de l'opération doit être un peu modifiée.

On introduit dans un petit ballon de 150 cc. 25 grammes de sulfate ferreux pur et pulvérisé, puis 700 à 800 mmg. de coton-poudre imbibé d'acide chlorhydrique, on ajoute 70 à 80 cc. d'acide chlorhydrique. On ferme le ballon au moyen d'un bouchon à deux trous, munis de deux tubes en verre. L'un sert à recueillir le bioxyde d'azote sous une cloche à mercure, l'autre sert à introduire dans le ballon un courant d'acide carbonique sec pour balayer tout l'air du ballon.

On commence par faire arriver l'acide carbonique lorsque le gaz est entièrement absorbable par la potasse caustique, on arrête son arrivée, on dispose au-dessus du tube de dégagement du gaz une cloche à mercure. On chauffe le petit ballon et on recueille le gaz. Comme celui-ci est mélangé d'acide carbonique, on introduit dans la cloche à gaz une lessive concentrée de potasse caustique qui absorbe l'acide carbonique. Lorsque le dégagement gazeux est terminé, on transporte la cloche sur une cuve à eau. Le mercure s'écoule et on mesure le volume gazeux en le réduisant par le calcul à 0° et sous 0<sup>m</sup>76 en tenant compte de la tension de la vapeur d'eau.

**392. Modification.** — Cette méthode par le mercure, employée en France par le comité des poudres et salpêtres, offre des complications dans la manipulation.

Voici comment nous opérons d'une façon plus simple : nous faisons usage d'un petit ballon de 250 cc. environ. Il est fermé au moyen d'un bouchon en caoutchouc à deux trous; au travers de l'un d'eux passe un tube à entonnoir avec robinet; au travers de l'autre, un tube pour le dégagement du gaz. Ce tube est plié de telle façon, que la partie avoisinant la cloche à gaz graduée est horizontale sur une vingtaine de centimètres et plonge dans l'eau froide d'une cuvette en porcelaine.

On introduit dans le ballon 400 milligrammes de coton-poudre humecté d'eau. On met le bouchon puis on verse par l'entonnoir un peu d'eau distillée; on ferme l'entonnoir au moment où il va se vider au-dessus du robinet. On fait bouillir jusqu'à ce que tout l'air est chassé, ce qu'on reconnaît quand la colonne d'eau qui se meut dans la partie du tube plongée dans la cuvette de porcelaine ne se sépare plus par des bulles gazeuses.

En ce moment, on met en place la cloche graduée de 100 cc., on introduit dans le ballon, par le robinet, 40 à 50 cc. d'acide chlorhydrique, puis un volume égal d'une solution saturée de chlorure ferreux, en ayant bien soin de fermer le robinet dès que le liquide arrive au-dessus de celui-ci; l'introduction d'une trace d'air dans le ballon fausserait le résultat à cause de la transformation du bioxyde d'azote en peroxyde.

Le dégagement commence bientôt; lorsqu'il a cessé, ce qui demande une quinzaine de minutes, on introduit dans la cloche graduée un morceau de potasse caustique qu'on maintient au moyen du ponce. On agite la cloche pour absorber l'acide carbonique qui aurait pu se dégager (il ne s'en dégage pas lorsque l'opération va lentement) et enfin on la plonge dans une éprouvette profonde remplie d'eau.

On ne mesure pas le volume immédiatement, afin que le gaz puisse prendre la température de l'eau.

Tenant alors la partie supérieure de la cloche au moyen d'une pince de bois, on la soulève jusqu'à ce que l'eau qu'elle renferme soit au même niveau que l'eau de l'éprouvette, on lit le volume  $V$  cc., que l'on réduit au moyen des tables de Lunge à  $0^{\circ}$  et à la pression de 0,76 en tenant compte de la tension de la vapeur d'eau à la température de l'eau de l'éprouvette. On ramène d'abord la hauteur barométrique au  $0^{\circ}$  centigrade (table n° 1), puis on déduit la tension de la vapeur d'eau (table n° 2), on ramène ensuite à la pression de 0,76 (table n° 3) et enfin le volume gazeux est ramené à  $0^{\circ}$  c. (table n° 4).

**393. Autre méthode.** — On peut encore dissoudre le coton-poudre dans de l'acide sulfurique (celui-ci doit être absolument privé de vapeurs nitreuses). On introduit dans le petit ballon un centaine de centimètres cubes d'eau distillée et 30 grammes de sulfate ferreux; on fait bouillir pour enlever tout l'air, puis on introduit avec les précautions ordinaires la solution sulfurique de coton-poudre par l'entonnoir, on lave celui-ci avec un peu d'acide sulfurique, puis avec de l'eau; les liquides de lavage sont successivement introduits dans le ballon. On recueille le bioxyde d'azote comme plus haut.

394. Table n° 1. — Hauteur à retrancher de la hauteur observée avec un baromètre, gradué sur verre pour la réduire à zéro.

(CORRECTION ADDITIVE POUR LES DEGRÉS NÉGATIFS.)

| H =   | 700              | 705   | 710   | 715   | 720   | 725   | 730   | 735   | 740   |
|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t = 1 | $\alpha = 0,120$ | 0,121 | 0,121 | 0,122 | 0,123 | 0,124 | 0,125 | 0,126 | 0,127 |
| 2     | 0,240            | 0,241 | 0,243 | 0,245 | 0,246 | 0,248 | 0,250 | 0,252 | 0,258 |
| 3     | 0,359            | 0,362 | 0,364 | 0,367 | 0,370 | 0,372 | 0,375 | 0,377 | 0,380 |
| 4     | 0,479            | 0,483 | 0,486 | 0,489 | 0,493 | 0,496 | 0,500 | 0,503 | 0,506 |
| 5     | 0,599            | 0,603 | 0,607 | 0,612 | 0,615 | 0,620 | 0,626 | 0,629 | 0,633 |
| 6     | 0,719            | 0,724 | 0,729 | 0,734 | 0,739 | 0,744 | 0,749 | 0,755 | 0,760 |
| 7     | 0,838            | 0,844 | 0,850 | 0,856 | 0,862 | 0,868 | 0,874 | 0,880 | 0,886 |
| 8     | 0,958            | 0,965 | 0,972 | 0,979 | 0,986 | 0,992 | 0,999 | 1,006 | 1,013 |
| 9     | 1,078            | 1,086 | 1,093 | 1,101 | 1,109 | 1,116 | 1,124 | 1,132 | 1,140 |
| 10    | 1,198            | 1,206 | 1,215 | 1,223 | 1,232 | 1,240 | 1,249 | 1,258 | 1,266 |

| H =   | 745              | 750   | 755   | 760   | 765   | 770   | 775   | 780   |   |
|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| t = 1 | $\alpha = 0,127$ | 0,128 | 0,129 | 0,130 | 0,131 | 0,132 | 0,133 | 0,133 | H = hauteur observée.<br>$\alpha$ = hauteur à retrancher pour t degrés. |
| 2     | 0,255            | 0,257 | 0,258 | 0,260 | 0,262 | 0,263 | 0,265 | 0,267 |   |
| 3     | 0,382            | 0,385 | 0,388 | 0,390 | 0,393 | 0,395 | 0,398 | 0,400 |   |
| 4     | 0,510            | 0,513 | 0,517 | 0,520 | 0,524 | 0,527 | 0,530 | 0,534 |   |
| 5     | 0,637            | 0,642 | 0,646 | 0,650 | 0,654 | 0,659 | 0,663 | 0,667 |   |
| 6     | 0,765            | 0,770 | 0,775 | 0,780 | 0,785 | 0,790 | 0,796 | 0,801 |   |
| 7     | 0,892            | 0,898 | 0,904 | 0,910 | 0,916 | 0,922 | 0,928 | 0,934 |   |
| 8     | 1,020            | 1,027 | 1,033 | 1,040 | 1,047 | 1,054 | 1,061 | 1,068 |   |
| 9     | 1,147            | 1,155 | 1,163 | 1,170 | 1,178 | 1,186 | 1,193 | 1,201 |   |
| 10    | 1,275            | 1,283 | 1,292 | 1,300 | 1,309 | 1,317 | 1,326 | 1,335 |   |



Table n° 2. — Tension de la vapeur d'eau en millimètres de mercure (Regnault).

| TEMPÉR. | TENSION | TEMPÉR. | TENSION | TEMPÉR. | TENSION | TEMPÉR. | TENSION | VALEUR<br>EN<br>ATMOSPH. |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|
| — 30°   | 0,39    | 21°     | 18,5    | 94°     | 610,4   | 105°    | 907     | 1,20                     |
| — 25    | 0,61    | 22      | 19,7    | 94,5    | 522,2   | 107     | 972     | 1,28                     |
| — 20    | 0,9     | 23      | 20,9    | 95      | 633,8   | 110     | 1077    | 1,40                     |
| — 15    | 1,4     | 24      | 22,7    | 95,5    | 645,7   | 115     | 1273    | 1,66                     |
| — 10    | 2,1     | 25      | 23,6    | 96      | 657,5   | 120     | 1491    | 1,96                     |
| — 5     | 3,1     | 26      | 25      | 96,5    | 669,7   | 125     | 1744    | 2,30                     |
| — 2     | 4       | 27      | 26,6    | 97      | 682     | 130     | 2030    | 2,67                     |
| — 1     | 4,3     | 28      | 28,1    | 97,5    | 694,6   | 135     | 2354    | 3,10                     |
| — 0     | 4,6     | 29      | 29,8    | 98      | 707,3   | 140     | 2717    | 3,57                     |
| + 1     | 4,95    | 30      | 31,6    | 98,5    | 721,2   | 145     | 3125    | 4,1                      |
| 2       | 5,3     | 35      | 41,9    | 99      | 732,2   | 150     | 3581    | 4,7                      |
| 3       | 5,7     | 40      | 55      | 99,1    | 735,9   | 155     | 4088    | 5,3                      |
| 4       | 6,1     | 45      | 71,5    | 99,2    | 738,5   | 160     | 4551    | 6,1                      |
| 5       | 6,5     | 50      | 92      | 99,3    | 741,2   | 165     | 5274    | 6,9                      |
| 6       | 7       | 55      | 117,5   | 99,4    | 743,8   | 170     | 5961    | 7,8                      |
| 7       | 7,5     | 60      | 148     | 99,5    | 746,5   | 175     | 6717    | 8,8                      |
| 8       | 8       | 65      | 186     | 99,6    | 749,2   | 180     | 7547    | 9,9                      |
| 9       | 8,6     | 70      | 232     | 99,7    | 751,9   | 185     | 8453    | 11,1                     |
| 10      | 9,1     | 75      | 287     | 99,8    | 754,6   | 190     | 9443    | 12,4                     |
| 11      | 9,7     | 80      | 354     | 99,9    | 757,3   | 195     | 10520   | 13,9                     |
| 12      | 10,4    | 85      | 432     | 100     | 760     | 200     | 11689   | 15,4                     |
| 13      | 11,1    | 90      | 525,4   | 100,1   | 762,7   | 205     | 12956   | 17,5                     |
| 14      | 11,9    | 90,5    | 535,5   | 100,2   | 765,5   | 210     | 14325   | 18,8                     |
| 15      | 12,7    | 91      | 545,8   | 100,4   | 772     | 215     | 15801   | 20,8                     |
| 16      | 13,5    | 91,5    | 556,2   | 100,6   | 767,5   | 220     | 17390   | 22,9                     |
| 17      | 14,4    | 92      | 566,8   | 101     | 787     | 225     | 19097   | 25,3                     |
| 18      | 15,3    | 92,5    | 577,3   | 102     | 816     | 230     | 20926   | 27,5                     |
| 19      | 16,3    | 93      | 588,4   | 103     | 845     |         |         |                          |
| 20      | 17,4    | 93,5    | 599,5   | 104     | 876     |         |         |                          |

Degrés : 120 134 144 152 159 171 180 199 213 225  
 Atmosphères : 2 3 4 5 6 8 10 15 20 25

**Table n° 3. — Volumes des gaz à diverses pressions ramenés à la pression de 76.**

| VOL. OBS.<br>A LA<br>PRESSION P | P = 71<br>VOLUMES A<br>0,76 | P = 72<br>VOLUMES A<br>0,76 | P = 73<br>VOLUMES A<br>0,76 | P = 74<br>VOLUMES A<br>0,76 | P = 75<br>VOLUMES A<br>0,76 | P = 77<br>VOLUMES A<br>0,76 |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 11                              | 10,28                       | 10,42                       | 10,57                       | 10,71                       | 10,85                       | 11,14                       |
| 12                              | 11,21                       | 11,37                       | 11,53                       | 11,68                       | 11,84                       | 12,16                       |
| 13                              | 12,14                       | 12,31                       | 12,42                       | 12,66                       | 12,83                       | 13,17                       |
| 14                              | 13,08                       | 13,26                       | 13,45                       | 13,63                       | 13,82                       | 14,17                       |
| 15                              | 14,02                       | 14,21                       | 14,41                       | 14,60                       | 14,81                       | 15,19                       |
| 16                              | 14,95                       | 15,15                       | 15,37                       | 15,58                       | 15,79                       | 16,21                       |
| 17                              | 15,88                       | 16,10                       | 16,33                       | 16,55                       | 16,78                       | 17,22                       |
| 18                              | 16,82                       | 17,05                       | 17,29                       | 17,52                       | 17,77                       | 18,23                       |
| 19                              | 17,76                       | 18,00                       | 18,25                       | 18,50                       | 18,75                       | 19,25                       |
| 20                              | 18,68                       | 18,93                       | 19,21                       | 19,47                       | 19,74                       | 20,26                       |
| 21                              | 19,62                       | 19,90                       | 20,17                       | 20,44                       | 20,72                       | 21,27                       |
| 22                              | 20,55                       | 20,84                       | 21,13                       | 21,42                       | 21,71                       | 22,28                       |
| 23                              | 21,49                       | 21,79                       | 22,09                       | 22,39                       | 22,70                       | 23,30                       |
| 24                              | 22,43                       | 22,74                       | 23,05                       | 23,36                       | 23,69                       | 24,41                       |
| 25                              | 23,35                       | 23,69                       | 24,01                       | 24,34                       | 24,67                       | 25,32                       |
| 26                              | 24,29                       | 24,64                       | 24,97                       | 25,31                       | 25,66                       | 26,34                       |
| 27                              | 25,23                       | 25,58                       | 25,93                       | 26,28                       | 26,65                       | 27,35                       |
| 28                              | 26,16                       | 26,53                       | 26,89                       | 27,26                       | 27,63                       | 28,36                       |
| 29                              | 27,10                       | 27,48                       | 27,85                       | 28,23                       | 28,62                       | 29,37                       |
| 30                              | 28,03                       | 28,42                       | 28,82                       | 29,21                       | 29,60                       | 30,39                       |
| 31                              | 28,97                       | 29,37                       | 29,76                       | 30,18                       | 30,59                       | 31,41                       |
| 32                              | 29,90                       | 30,32                       | 30,74                       | 31,15                       | 31,58                       | 32,43                       |
| 33                              | 30,83                       | 31,26                       | 31,70                       | 32,13                       | 32,56                       | 33,43                       |
| 34                              | 31,77                       | 32,21                       | 32,66                       | 33,10                       | 33,55                       | 34,45                       |
| 35                              | 32,71                       | 33,16                       | 33,62                       | 34,70                       | 34,54                       | 35,46                       |
| 36                              | 33,64                       | 34,10                       | 34,58                       | 35,05                       | 35,52                       | 36,47                       |
| 37                              | 34,57                       | 35,05                       | 35,54                       | 36,02                       | 36,51                       | 37,49                       |
| 38                              | 35,50                       | 36,00                       | 36,50                       | 37,00                       | 37,50                       | 38,50                       |
| 39                              | 36,44                       | 36,95                       | 37,47                       | 37,97                       | 38,49                       | 39,51                       |
| 40                              | 37,38                       | 37,89                       | 38,42                       | 38,95                       | 39,47                       | 40,52                       |
| 41                              | 38,31                       | 38,84                       | 39,38                       | 39,92                       | 40,46                       | 41,54                       |
| 42                              | 39,23                       | 39,79                       | 40,34                       | 40,89                       | 41,44                       | 42,55                       |
| 43                              | 40,18                       | 40,73                       | 41,30                       | 41,86                       | 42,43                       | 43,56                       |
| 44                              | 41,11                       | 41,68                       | 42,27                       | 42,84                       | 43,42                       | 44,58                       |
| 45                              | 42,05                       | 42,63                       | 43,22                       | 43,81                       | 44,40                       | 45,59                       |
| 46                              | 42,98                       | 43,58                       | 44,18                       | 44,78                       | 45,39                       | 46,50                       |
| 47                              | 43,91                       | 44,52                       | 45,15                       | 45,78                       | 46,38                       | 47,61                       |
| 48                              | 44,84                       | 45,47                       | 46,10                       | 46,75                       | 47,36                       | 48,63                       |
| 49                              | 45,78                       | 46,42                       | 47,06                       | 47,70                       | 48,35                       | 49,64                       |
| 50                              | 46,72                       | 47,38                       | 48,03                       | 48,68                       | 49,34                       | 50,66                       |
| 51                              | 47,65                       | 48,31                       | 48,99                       | 49,65                       | 50,33                       | 51,62                       |
| 52                              | 48,58                       | 49,26                       | 49,96                       | 50,63                       | 51,32                       | 52,68                       |
| 53                              | 49,52                       | 50,21                       | 50,91                       | 51,60                       | 52,30                       | 53,70                       |
| 54                              | 50,45                       | 51,15                       | 51,87                       | 52,58                       | 53,29                       | 54,72                       |
| 55                              | 51,38                       | 52,10                       | 52,83                       | 53,55                       | 54,28                       | 55,73                       |
| 56                              | 52,32                       | 53,05                       | 53,79                       | 54,52                       | 55,26                       | 56,74                       |
| 57                              | 53,25                       | 54,00                       | 54,75                       | 55,50                       | 56,25                       | 57,76                       |
| 58                              | 54,19                       | 54,94                       | 55,71                       | 56,47                       | 57,24                       | 58,77                       |

| VOLUMES<br>OBSERVES<br>A LA<br>PRESSION P | P = 71<br>VOLUMES A<br>0,76. | P = 72<br>VOLUMES A<br>0,76. | P = 73<br>VOLUMES A<br>0,76. | P = 74<br>VOLUMES A<br>0,76. | P = 75<br>VOLUMES A<br>0,76. | P = 77<br>VOLUMES A<br>0,76. |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 59  | 55,13                        | 55,89                        | 56,67                        | 57,44                        | 58,22                        | 59,78                        |
| 60  | 56,07                        | 56,84                        | 57,63                        | 58,42                        | 59,21                        | 60,79                        |
| 61  | 57,00                        | 57,79                        | 58,59                        | 59,39                        | 60,20                        | 61,81                        |
| 62  | 57,93                        | 58,74                        | 59,55                        | 60,36                        | 61,19                        | 62,82                        |
| 63  | 58,87                        | 59,68                        | 60,51                        | 61,34                        | 62,17                        | 63,84                        |
| 64  | 59,80                        | 60,63                        | 61,47                        | 62,32                        | 63,16                        | 64,85                        |
| 65  | 60,74                        | 61,58                        | 62,43                        | 63,28                        | 64,65                        | 65,86                        |
| 66  | 61,67                        | 62,52                        | 63,39                        | 64,26                        | 65,13                        | 66,88                        |
| 67  | 62,60                        | 63,47                        | 64,35                        | 65,23                        | 66,12                        | 67,89                        |
| 68  | 63,54                        | 64,42                        | 65,31                        | 66,20                        | 67,10                        | 68,90                        |
| 69  | 64,47                        | 65,37                        | 66,27                        | 67,18                        | 68,09                        | 69,91                        |
| 70  | 65,40                        | 66,32                        | 67,24                        | 68,16                        | 69,08                        | 70,92                        |
| 71  | 66,34                        | 67,26                        | 68,20                        | 69,13                        | 70,07                        | 71,94                        |
| 72  | 67,27                        | 68,21                        | 69,16                        | 70,11                        | 71,05                        | 72,95                        |
| 73  | 68,20                        | 69,16                        | 70,12                        | 71,08                        | 72,04                        | 73,97                        |
| 74  | 69,11                        | 70,11                        | 71,08                        | 72,05                        | 73,03                        | 74,98                        |
| 75  | 70,07                        | 71,05                        | 72,04                        | 73,02                        | 74,01                        | 75,99                        |
| 76  | 71,01                        | 72,00                        | 73,00                        | 74,00                        | 75,00                        | 77,01                        |
| 77  | 71,94                        | 72,95                        | 73,96                        | 74,97                        | 75,99                        | 78,02                        |
| 78  | 72,87                        | 73,89                        | 74,92                        | 75,95                        | 76,97                        | 79,03                        |
| 79  | 73,80                        | 74,84                        | 75,88                        | 76,92                        | 77,96                        | 80,04                        |
| 80  | 74,74                        | 75,78                        | 76,84                        | 77,90                        | 78,94                        | 81,06                        |
| 81  | 75,67                        | 76,74                        | 77,80                        | 78,87                        | 79,93                        | 82,07                        |
| 82  | 76,60                        | 77,68                        | 78,76                        | 79,84                        | 80,92                        | 83,09                        |
| 83  | 77,54                        | 78,63                        | 79,72                        | 80,82                        | 81,91                        | 84,10                        |
| 84  | 78,47                        | 79,57                        | 80,68                        | 81,79                        | 82,90                        | 85,11                        |
| 85  | 79,41                        | 80,53                        | 81,64                        | 82,76                        | 83,88                        | 86,13                        |
| 86  | 80,34                        | 81,47                        | 82,60                        | 83,73                        | 84,87                        | 87,14                        |
| 87  | 81,28                        | 82,42                        | 83,56                        | 84,81                        | 85,85                        | 88,15                        |
| 88  | 82,21                        | 83,36                        | 84,52                        | 85,68                        | 86,84                        | 89,17                        |
| 89  | 83,15                        | 84,31                        | 85,48                        | 86,66                        | 87,82                        | 90,18                        |
| 90  | 84,09                        | 85,26                        | 86,45                        | 87,63                        | 88,81                        | 91,19                        |
| 91  | 85,02                        | 86,21                        | 87,41                        | 88,61                        | 89,80                        | 92,21                        |
| 92  | 85,95                        | 87,16                        | 88,37                        | 89,58                        | 90,79                        | 93,22                        |
| 93  | 86,89                        | 88,11                        | 89,33                        | 90,55                        | 91,77                        | 94,23                        |
| 94  | 87,82                        | 89,85                        | 90,29                        | 91,52                        | 92,76                        | 95,24                        |
| 95  | 88,76                        | 90,00                        | 91,25                        | 92,50                        | 93,74                        | 96,26                        |
| 96  | 89,69                        | 90,95                        | 92,21                        | 93,57                        | 94,73                        | 97,27                        |
| 97  | 90,62                        | 91,89                        | 93,17                        | 94,45                        | 95,72                        | 98,29                        |
| 98  | 91,56                        | 92,84                        | 94,13                        | 95,42                        | 96,70                        | 99,30                        |
| 99  | 92,49                        | 93,79                        | 95,09                        | 96,39                        | 97,69                        | 100,31                       |
| 100                                       | 93,42                        | 94,74                        | 96,05                        | 97,37                        | 98,68                        | 101,32                       |

Table n° 4. — Volumes des gaz à diverses températures ramenés à zéro.

| VOLUMES<br>OBSERVES<br>A t°. | t° = 12°.          | t° = 14°.          | t° = 16°.          | t° = 18°.          | t° = 20°.          | t° = 22°.          | t° = 24°.          |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| VOLUMES A<br>ZÉRO.           | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. |
| 11                           | 10,33              | 10,46              | 10,39              | 10,32              | 10,25              | 10,18              | 10,11              |
| 12                           | 11,49              | 11,42              | 11,38              | 11,26              | 11,10              | 11,11              | 11,03              |
| 13                           | 12,45              | 12,36              | 12,28              | 12,20              | 12,11              | 12,03              | 11,95              |
| 14                           | 13,41              | 13,31              | 13,23              | 13,13              | 13,04              | 13,96              | 12,87              |
| 15                           | 14,37              | 14,27              | 14,17              | 14,07              | 13,97              | 14,88              | 13,79              |
| 16                           | 15,32              | 15,22              | 15,11              | 15,01              | 14,91              | 15,81              | 14,71              |
| 17                           | 16,28              | 16,17              | 16,06              | 15,95              | 15,84              | 16,73              | 15,63              |
| 18                           | 17,24              | 17,12              | 17,00              | 16,89              | 16,76              | 17,66              | 16,55              |
| 19                           | 18,20              | 18,07              | 17,95              | 17,83              | 17,70              | 18,58              | 17,47              |
| 20                           | 19,16              | 19,03              | 18,89              | 18,76              | 18,64              | 19,51              | 18,39              |
| 21                           | 20,12              | 19,98              | 19,84              | 19,74              | 19,57              | 20,43              | 19,31              |
| 22                           | 21,08              | 20,93              | 20,78              | 20,64              | 20,50              | 21,36              | 20,23              |
| 23                           | 22,03              | 21,88              | 21,73              | 21,58              | 21,43              | 22,29              | 21,15              |
| 24                           | 22,99              | 22,83              | 22,67              | 22,51              | 22,37              | 22,21              | 22,07              |
| 25                           | 23,95              | 23,78              | 23,61              | 23,45              | 23,30              | 23,15              | 22,99              |
| 26                           | 24,91              | 24,73              | 24,56              | 24,39              | 24,23              | 24,06              | 23,91              |
| 27                           | 25,87              | 25,69              | 25,50              | 25,33              | 25,15              | 24,99              | 24,83              |
| 28                           | 26,82              | 26,64              | 26,45              | 26,27              | 26,09              | 25,91              | 25,74              |
| 29                           | 27,78              | 27,59              | 27,39              | 27,20              | 27,02              | 26,84              | 26,67              |
| 30                           | 28,74              | 28,54              | 28,34              | 28,15              | 27,95              | 27,77              | 27,58              |
| 31                           | 29,70              | 29,49              | 29,28              | 29,09              | 28,87              | 28,70              | 28,50              |
| 32                           | 30,66              | 30,44              | 30,23              | 30,03              | 29,81              | 29,62              | 29,42              |
| 33                           | 31,61              | 31,39              | 31,17              | 30,97              | 30,74              | 30,53              | 30,34              |
| 34                           | 32,57              | 32,24              | 32,12              | 31,90              | 31,68              | 31,47              | 31,26              |
| 35                           | 33,53              | 33,30              | 33,06              | 32,83              | 32,61              | 32,40              | 32,18              |
| 36                           | 34,49              | 34,24              | 34,01              | 33,78              | 33,54              | 33,32              | 33,10              |
| 37                           | 35,45              | 35,20              | 34,95              | 34,72              | 34,47              | 34,23              | 34,02              |
| 38                           | 36,40              | 36,15              | 35,90              | 35,66              | 35,40              | 35,17              | 34,93              |
| 39                           | 37,36              | 37,10              | 36,84              | 36,59              | 36,34              | 36,10              | 35,83              |
| 40                           | 38,32              | 38,05              | 37,79              | 37,53              | 37,27              | 37,02              | 36,77              |
| 41                           | 39,28              | 39,00              | 38,73              | 38,47              | 38,20              | 37,93              | 37,69              |
| 42                           | 40,24              | 39,95              | 39,68              | 39,41              | 39,13              | 38,87              | 38,61              |
| 43                           | 41,19              | 40,90              | 40,62              | 40,35              | 40,07              | 39,80              | 39,53              |
| 44                           | 42,15              | 41,86              | 41,57              | 41,28              | 41,00              | 40,72              | 40,45              |
| 45                           | 43,11              | 42,81              | 42,51              | 42,22              | 41,93              | 41,65              | 41,37              |
| 46                           | 44,07              | 43,76              | 43,46              | 43,16              | 42,86              | 42,57              | 42,29              |
| 47                           | 45,03              | 44,71              | 44,40              | 44,10              | 43,79              | 43,50              | 43,21              |
| 48                           | 45,98              | 45,66              | 45,35              | 45,04              | 44,72              | 44,42              | 44,12              |
| 49                           | 46,94              | 46,61              | 46,30              | 45,97              | 45,65              | 45,35              | 45,04              |
| 50                           | 47,90              | 47,57              | 47,24              | 46,91              | 46,59              | 46,28              | 45,97              |
| 51                           | 48,86              | 48,52              | 48,18              | 47,85              | 47,52              | 47,20              | 46,89              |
| 52                           | 49,82              | 49,47              | 49,13              | 48,79              | 48,45              | 48,13              | 47,81              |
| 53                           | 50,77              | 50,41              | 50,07              | 49,72              | 49,38              | 49,06              | 48,73              |
| 54                           | 51,01              | 51,37              | 51,02              | 50,66              | 50,32              | 49,98              | 49,65              |
| 55                           | 52,87              | 52,33              | 51,96              | 51,60              | 51,25              | 50,91              | 50,57              |
| 56                           | 53,65              | 53,28              | 52,91              | 52,54              | 52,18              | 51,83              | 51,49              |
| 57                           | 54,61              | 54,23              | 53,86              | 53,48              | 53,11              | 52,76              | 52,41              |

| VOLUMES<br>OBSERVES<br>A T°. | t° = 12°.          | t° = 14°.          | t° = 16°.          | t° = 18°.          | t° = 20°.          | t° = 22°.          | t° = 24°.          |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                              | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. | VOLUMES A<br>ZÉRO. |
| 58                           | 55,56              | 55,18              | 54,80              | 54,42              | 54,04              | 53,68              | 53,32              |
| 59                           | 56,52              | 56,13              | 55,74              | 55,35              | 54,97              | 54,61              | 54,24              |
| 60                           | 57,47              | 57,08              | 56,68              | 56,29              | 55,91              | 55,53              | 55,16              |
| 61                           | 58,43              | 58,03              | 57,63              | 57,23              | 56,84              | 56,46              | 56,08              |
| 62                           | 59,39              | 58,98              | 58,57              | 58,17              | 57,77              | 57,38              | 57,00              |
| 63                           | 60,35              | 59,93              | 59,52              | 59,11              | 58,71              | 58,31              | 57,92              |
| 64                           | 61,31              | 60,88              | 60,46              | 60,04              | 59,64              | 59,23              | 58,84              |
| 65                           | 62,26              | 61,84              | 61,40              | 60,97              | 60,57              | 60,16              | 59,76              |
| 66                           | 63,22              | 62,79              | 62,35              | 61,92              | 61,50              | 61,08              | 60,68              |
| 67                           | 64,18              | 63,74              | 63,29              | 62,86              | 62,43              | 62,01              | 61,60              |
| 68                           | 65,13              | 64,69              | 64,23              | 63,80              | 63,36              | 62,93              | 62,51              |
| 69                           | 66,09              | 65,64              | 65,18              | 64,73              | 64,30              | 63,86              | 63,43              |
| 70                           | 67,05              | 66,59              | 66,13              | 65,67              | 65,23              | 64,79              | 64,35              |
| 71                           | 68,01              | 67,54              | 67,07              | 66,61              | 66,16              | 65,71              | 65,27              |
| 72                           | 68,97              | 68,49              | 68,02              | 67,55              | 67,09              | 66,64              | 66,19              |
| 73                           | 69,92              | 69,44              | 68,96              | 68,49              | 68,09              | 67,57              | 67,11              |
| 74                           | 70,88              | 70,40              | 69,91              | 69,42              | 68,96              | 68,49              | 68,03              |
| 75                           | 71,84              | 71,35              | 70,85              | 70,37              | 69,89              | 69,42              | 68,95              |
| 76                           | 72,80              | 72,30              | 71,80              | 71,30              | 70,82              | 70,34              | 69,87              |
| 77                           | 73,76              | 73,25              | 72,74              | 72,24              | 71,75              | 71,27              | 70,79              |
| 78                           | 74,71              | 74,20              | 73,69              | 73,18              | 72,68              | 72,19              | 71,70              |
| 79                           | 75,67              | 75,15              | 74,63              | 74,11              | 73,61              | 73,12              | 72,62              |
| 80                           | 76,60              | 76,10              | 75,58              | 75,06              | 74,54              | 74,04              | 73,54              |
| 81                           | 77,59              | 77,05              | 76,52              | 76,00              | 75,47              | 74,97              | 74,46              |
| 82                           | 78,55              | 78,00              | 77,47              | 76,94              | 76,40              | 75,89              | 75,38              |
| 83                           | 79,50              | 78,95              | 78,41              | 77,87              | 77,34              | 76,82              | 76,30              |
| 84                           | 80,46              | 79,91              | 79,33              | 78,81              | 78,27              | 77,74              | 77,22              |
| 85                           | 81,42              | 80,86              | 80,30              | 79,75              | 79,20              | 78,67              | 78,14              |
| 86                           | 82,38              | 81,81              | 81,24              | 80,69              | 80,13              | 79,59              | 79,06              |
| 87                           | 83,33              | 82,76              | 82,19              | 81,63              | 81,06              | 80,52              | 79,98              |
| 88                           | 84,29              | 83,71              | 83,13              | 82,57              | 81,99              | 81,44              | 80,90              |
| 89                           | 85,25              | 84,66              | 84,08              | 83,50              | 82,93              | 82,37              | 81,82              |
| 90                           | 86,21              | 85,62              | 85,02              | 84,44              | 83,86              | 83,30              | 82,74              |
| 91                           | 87,17              | 86,57              | 85,96              | 85,38              | 84,79              | 84,22              | 83,66              |
| 92                           | 88,13              | 87,52              | 86,91              | 86,32              | 85,72              | 85,15              | 84,58              |
| 93                           | 89,08              | 88,47              | 87,85              | 87,25              | 86,66              | 86,08              | 85,50              |
| 94                           | 90,04              | 89,42              | 88,80              | 88,19              | 87,59              | 87,00              | 86,42              |
| 95                           | 91,00              | 90,38              | 89,74              | 89,13              | 88,52              | 87,93              | 87,34              |
| 96                           | 91,96              | 91,33              | 90,69              | 90,07              | 89,45              | 88,85              | 88,28              |
| 97                           | 92,92              | 92,28              | 91,63              | 91,00              | 90,38              | 89,78              | 89,18              |
| 98                           | 93,87              | 93,23              | 92,58              | 91,94              | 91,31              | 90,70              | 90,09              |
| 99                           | 94,83              | 94,18              | 93,52              | 92,88              | 92,24              | 91,63              | 91,01              |
| 100                          | 95,79              | 95,13              | 94,47              | 93,82              | 93,18              | 92,55              | 91,93              |

395. — Supposons que l'on ait trouvé un volume de 79 cc., la pression barométrique observée est de 758 mm. et la température du gaz (eau de l'éprouvette) est 16° c. La température de l'air est 22° c. On réduit d'abord la hauteur barométrique à 0° c. (Table n° 1).

Pour 755 mm. à 1° :  $\alpha = 0,129$  ou à 22° :  $0,129 \times 22 = 2,838$ .

» 760 mm. à 1° :  $\alpha = 0,130$  ou à 22° :  $0,130 \times 22 = 2,860$ .

Et pour 758 mm. à 22° on obtient par interpolation :  $\alpha = 2,851$ .

La hauteur réduite est donc  $758 - 2,851 = 755,149$ .

On déduit la tension de la vapeur d'eau à la température de 16° :  
= 13,5 mm. (Table n° 2).

Donc on a :  $755,149 - 13,5 = 741,649$ .

On ramène le volume de 79 cc. qui est à la pression de 741,649 à la pression de 760 par la table n° 3.

On lit : volume 79 à P = 740 = 76,92 à 0,76. Différence : 1,04.  
volume 79 à P = 750 = 77,96 à 0,76.

Donc : volume 79 à P = 741,649 =  $76,92 + \frac{1,04 \times 1,649}{10} = 77,09$ .

Ce volume 77,09 à 16° c. est réduit à 0° par la table n° 4 : on voit volume 77 à 16° = 72,74 à 0°, volume 78 à 16° = 73,69, d'où par un simple calcul on a : volume 77,09 à 16° = 72,825 à 0°.

En supposant que ce volume final ait été donné par 0<sup>gr</sup>4 de coton-poudre : 1 gramme de celui-ci eût titré : 182,06 cc. Ce coton-poudre serait un coton-poudre octonitrique (182 cc.) mêlé d'une trace de coton-poudre ennéanitique.

Nous rappelons que les différents cotons-poudres donnent :

|                          |          |                    |
|--------------------------|----------|--------------------|
| Cellulose endécanitrique | $n = 11$ | 214 cc. au gramme. |
| » décanitrique           | $n = 10$ | 203    »           |
| » ennéanitique           | $n = 9$  | 190    »           |
| » octonitrique           | $n = 8$  | 178    »           |
| » heptanitique           | $n = 7$  | 162    »           |
| » hexanitique            | $n = 6$  | 146    »           |
| » pentanitique           | $n = 5$  | 128    »           |
| » tétranitique           | $n = 4$  | 108    »           |

## SECTION III.

### Ethers perchloriques.

Au lieu de substituer dans les alcools le radical azotique  $\text{AzO}^2$ , on peut y introduire le radical perchlorique  $\text{ClO}^3$ ; on obtient ainsi des éthers perchloriques éminemment explosibles, mais leur grande instabilité n'a pas permis de les faire entrer dans la pratique jusqu'aujourd'hui.

#### 396. Acide perchlorique. — $\text{ClO}^4\text{H}$ .

Pour obtenir cet acide, on distille un mélange de 1 partie de perchlorate de potassium avec 4 parties d'acide sulfurique concentré; la distillation doit cesser lorsque les gouttes qui passent ne se figent plus, on obtient ainsi des cristaux de  $\text{ClO}^4\text{H} + 2\text{H}^2\text{O}$ . Ces cristaux sont chauffés avec prudence dans une cornue; ils se dédoublent à  $110^\circ$  en acide perchlorique  $\text{ClO}^4\text{H}$  qui passe le premier et en  $\text{ClO}^4\text{H} + 2\text{H}^2\text{O}$  qui suit. On arrête dès qu'il se forme des cristaux dans le col de la cornue. L'opération est très dangereuse.

PROPRIÉTÉS. — C'est un liquide incolore, volatil, répandant à l'air humide des vapeurs épaisses; il se décompose à la lumière, puis finit par détoner. Il fait explosion avec une énorme violence au contact de l'éther et des matières organiques. C'est un agent oxydant extrêmement énergétique.

#### 397. Acide hypochlorique. — $\text{Cl}^2\text{O}^4$ .

On l'obtient par l'action prudente de l'acide sulfurique concentré sur le chlorate de potassium. Le chlorate doit être sec et exempt de chlorure. Le sel finement pulvérisé est mis dans un vase refroidi par

un mélange réfrigérant; on ajoute goutte à goutte de l'acide sulfurique jusqu'à l'obtention d'une pâte mi-fluide. On distille quelques minutes après par une chauffe très douce, on fera usage du vide.

Cette opération est extrêmement dangereuse et ne doit se faire que sur de petites quantités à la fois.

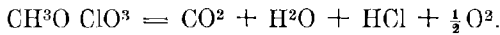
PROPRIÉTÉS. — Gaz jaune foncé verdâtre, liquéfiable par le froid en un liquide rouge foncé; il se décompose par la lumière à 65°, il détone avec une énorme violence, souvent il détone spontanément.

*Éther méthyl-perchlorique.*

398. — L'alcool méthylique  $O \begin{cases} CH^3 \\ H \end{cases}$  donne l'éther méthyl-perchlorique  $O \begin{cases} CH^3 \\ ClO^3 \end{cases}$ . On l'obtient en distillant un mélange de perchlorate de potassium et de méthyl-sulfate de baryum ou de calcium.

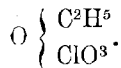
L'opération est dangereuse.

Le corps se décompose comme suit :



Il y a mise en liberté d'oxygène comme dans la nitroglycérine et la nitromannite.

*Éther éthyl-perchlorique.*



399. **Perchlorate d'éthyle.** —  $C^2H^5(ClO^4) = C^2H^4(ClO^4H)$ .

On distille un mélange de perchlorate potassique et d'éthyl-sulfate de baryum ou de calcium.

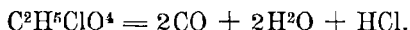
D'après Roscœ, on place 10 gr. de chacun des sels cristallisés dans une petite cornue dont le col est recourbé en bas et on chauffe lentement dans un bain d'huile, on reçoit le produit dans un large tube qui contient une petite quantité d'eau, mais qu'on ne refroidit pas autrement. Entre 140° et 160° il distille une assez grande quan-



tité d'une huile incolore plus lourde que l'eau. Vers 170° il commence à se produire des vapeurs blanches d'acide perchlorique. On arrête l'opération, on obtient ainsi environ 2 centigrammes de produit; on décante la couche aqueuse au moyen d'une pipette, on lave plusieurs fois l'huile avec de l'eau, jusqu'à parfaite neutralisation. On sépare ensuite complètement l'éther perchlorique de l'eau et on le filtre à deux ou trois reprises sur un filtre en papier bien sec pour le dessécher. Dans toutes ces opérations, il faut avoir bien soin d'agiter le moins possible pour éviter les explosions et même en observant ces précautions, il faut se garantir les mains et le visage au moyen de gants solides et d'un bon masque, muni de verres épais. Le perchlorate d'éthyle est, en effet, un des corps les plus explosifs que l'on connaisse.

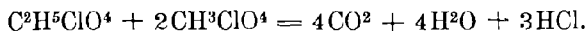
*Propriétés.* — Liquide huileux, plus pesant que l'eau, odeur agréable. Il détone violemment par le choc, le frottement, la chaleur, parfois spontanément. C'est un corps très brisant et excessivement dangereux à manier.

Il se décompose suivant la formule :



Il manque de l'oxygène.

On aurait une combustion complète en mélangeant l'éther méthyl-perchlorique avec l'éther éthyl-perchlorique.





# CINQUIÈME PARTIE.

Explosifs aromatiques.



# SECTION I.

## Corps explosifs provenant des hydrocarbures aromatiques et de leurs dérivés par substitutions nitrées.



### CHAPITRE I.

#### BENZINE ET SES DÉRIVÉS NITRÉS.

**400. Généralités sur les substances aromatiques.** -- Les corps aromatiques ont été ainsi appelés à cause de l'odeur aromatique que beaucoup d'entre eux possèdent. Plusieurs se groupaient autour de l'acide benzoïque. Aujourd'hui, on peut définir la série aromatique comme formée par l'ensemble des corps qui ont pour hydrocarbures fondamentaux la benzine ou un de ses homologues, c'est-à-dire, d'un hydrocarbure répondant à la formule générale  $C^nH^{2n-6}$ .

Dans la plupart des cas la benzine et ses homologues se comportent dans les réactions, comme les hydrocarbures saturés de la série grasse  $C^nH^{2n+2}$ . On peut substituer à un atome d'hydrogène le radical oxhydrile :  $C^6H^6$ ;  $C^6H^5.OH$ , et on obtient des hydrates plus ou moins semblables aux alcools; on peut fabriquer, par des substitutions, des acides monoatomiques, diatomiques, etc.; des aldéhydes, des amides, etc.; bref, des corps analogues par leur mode de dérivation à ceux qui constituent la série grasse. Les corps de la série aromatique ont une extrême tendance à l'isomérisation, tendance qu'on ne rencontre pas dans ceux de la série grasse.

L'isomérisie principale est celle des hydrates d'hydrocarbures. Les formules de ces hydrates représentent à la fois celles des alcools des autres séries et des alcools spéciaux nommés *phénols*. Il n'y a qu'une exception qui porte sur le premier terme de la série : la benzine, on connaît un phénol et non un alcool.

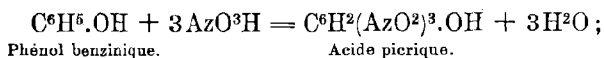
Les phénols se différencient des alcools par certaines propriétés spéciales parmi lesquelles on peut citer :

1° Les alcools sous l'influence des agents oxydants donnent un aldéhyde et un acide correspondants. Les phénols n'éprouvent pas cette réaction.

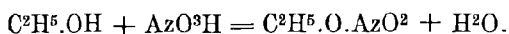
2° Sous l'action de l'acide azotique, les alcools s'oxydent comme dans le cas précédent ou bien donnent des éthers nitriques, ces nitrates sont neutres et ne se saponifient par les agents d'hydratation.

Les phénols, au contraire, donnent sous l'influence de l'acide azotique des produits de substitution dans lesquels 1, 2, 3 atomes d'hydrogène sont remplacés par le radical  $AzO^2$ . Ces substitutions nitrées ne sont pas saponifiables à la manière des éthers et jouissent de propriétés acides, mieux caractérisées que celles des phénols eux-mêmes.

Tous les composés aromatiques, quels qu'ils soient : acides, phénols, aldéhydes, hydrocarbures, peuvent sous l'influence de l'acide azotique, échanger une partie de leur hydrogène contre le radical  $AzO^2$  en formant des dérivés de substitutions nitrées. Cette substitution se fait généralement sur 1, 2, 3 atomes d'hydrogène et toujours dans le noyau d'hydrocarbure :



tandis que dans les alcools ordinaires la substitution se fait dans le radical OH :



Lorsqu'on traite ces composés de substitutions nitrées par l'hydrogène naissant, on obtient des amines ou des amides. Ici encore une différence essentielle sépare les corps de la série grasse de ceux de la série aromatique.

Les amines et les amides grasses sous l'influence de l'acide azoteux donnent de l'eau ou de l'azote en régénérant l'acide ou l'alcool correspondant; les amines et les amides de la série aromatique sous l'influence de l'acide azoteux, donnent naissance à un grand nombre de corps dont plusieurs sont explosifs.

Ainsi la réduction de la nitrobenzine donne l'aniline (amido-benzol), celle-ci sous l'influence de l'acide azoteux donne le diazo-amido-benzol explosif. Nous aurons l'occasion d'étudier ces corps plus loin (n° 416).

Lorsqu'on détruit les corps de la série aromatique, même les plus compliqués, le produit ultime de la décomposition est la benzine  $C^6H^6$ .

On la considère aujourd'hui comme le pivot de la série aromatique et on admet que chaque corps contient au moins un noyau de benzine.

Les principaux hydrocarbures du groupe benzine sont :

|                |               |              |                  |
|----------------|---------------|--------------|------------------|
| Benzine. . . . | $C^6H^6$ .    | Cumène . . . | $C^9H^{12}$ .    |
| Toluène. . . . | $C^7H^8$ .    | Cymène . . . | $C^{10}H^{14}$ . |
| Xylène . . . . | $C^8H^{10}$ . |              |                  |

*Dérivés de la benzine.*

**401. Benzine.** — *Synonymes* : Benzol, hydrure de phényle,  $C^6H^6 = C^6H^5, H$ .

*Fabrication.* — On l'obtient : 1° par la distillation des huiles légères du goudron de gaz; 2° on l'obtient pure par la distillation sèche de l'acide benzoïque avec la chaux.

*Propriétés.* — C'est un liquide incolore, très réfringent et très mobile, à odeur agréable et éthérée; la saveur est sucrée.

La benzine bout à 80°5, se solidifie à 0° et fond à 6°.

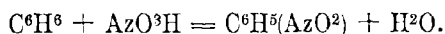
Sa densité est égale à 0,899 à 15°5.

Elle est insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et l'éther, elle dissout bien les corps gras.

*Mononitrobenzine.*

**402. Formule** :  $C^6H^5.AzO^2$ .

On attaque la benzine par l'acide azotique d'après la formule :



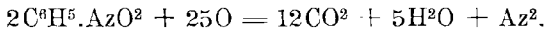
*Préparation.* — On place dans un vase une partie de benzine pure cristallisable et on verse dessus par petites portions 3 parties d'acide azotique très concentré.

On agite constamment et on refroidit le vase en le plongeant dans de l'eau froide. On additionne d'eau et la mononitrobenzine se sépare; on lave jusqu'à neutralisation parfaite, on termine par un lavage à l'eau alcaline.

*Propriétés.* — C'est un liquide un peu jaunâtre, d'une saveur douce, d'une odeur très agréable d'essence d'amandes amères, ce qui la fait employer dans l'industrie sous le nom *d'essence de mirbane* pour parfumer surtout les savons. Elle bout à 213°. La densité est égale à 1,2 à 0°, elle gèle à 3°. Elle est presque insoluble dans l'eau et très soluble dans l'alcool et l'éther.

La nitrobenzine n'est pas un corps explosif proprement dit. Quand on la surchauffe brusquement elle se décompose en donnant des produits mal connus. Elle ne détone pas par le choc.

Chaleur de formation : 4,2 calories pour 123 grammes. Chaleur de combustion totale d'après la formule :



Pour une molécule (123 grammes) . . . 732,3 calories.

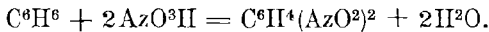
Soit pour un kilogramme . . . . . 595,4 "

La réaction entre  $\text{C}^6\text{H}^6$  et  $\text{AzO}^3\text{H}$  dégage 36°6.

#### *Binitrobenzine.*

**403.** *Formule :*  $\text{C}^6\text{H}^4(\text{AzO}^2)^2$ .

La réaction se fait d'après la formule :



*Préparation.* — On mélange parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique à leur maximum de concentration; l'acide sulfonitrique est mis dans un matras plongé dans de l'eau froide. On verse peu à peu de la nitrobenzine ou de la benzine cristallisable, jusqu'à ce qu'elle cesse de se dissoudre par l'agitation. On chauffe alors près



du point d'ébullition pendant une dizaine de minutes. On laisse refroidir, puis on verse la masse liquide dans un grand volume d'eau froide, ce qui provoque la cristallisation de la binitrobenzine. On jette sur un filtre et on lave. Pour obtenir ce corps tout à fait pur, on le dissout dans le moins d'alcool bouillant possible, on filtre au papier et on laisse cristalliser par refroidissement.

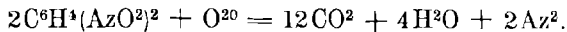
On peut encore obtenir la binitrobenzine en versant la mononitrobenzine dans de l'acide azotique à 48°B. On maintient 12 heures à la température de 50°. Le produit solide est lavé, puis fondu; on procède à de nouveaux lavages et à de nouvelles fusions jusqu'à ce que le point de liquéfaction atteigne 83°. La binitrobenzine est alors neutre et exempte de nitrobenzine.

*Propriétés.* — C'est un corps solide, jaune, cristallisant en longs prismes, brillants, fusibles à 83°, très solubles dans l'alcool chaud.

Par une chauffe brusque le corps se décompose et donne des produits peu connus. Il n'est pas explosif. C'est un corps toxique surtout en mélange avec la nitrobenzine.

Chaleur de formation depuis les éléments : 12,7 pour 168 gr.

Chaleur de combustion totale d'après la formule :



Pour une molécule (168 grammes) . . . 189,3 calories.

Soit au kilogramme . . . . . 410,3 "

Chaleur dégagée par la réaction. . . . . 36,4 "

REMARQUE. — Il existe en réalité 3 benzines dinitrées :

1° L'orthodinitrobenzine (1,2) —  $C^6H^4(AzO^2)_1(AzO^2)_2$ ;

2° La métadinitrobenzine (1,3) —  $C^6H^4(AzO^2)_1(AzO^2)_3$ ;

3° La paradinitrobenzine (1,4) —  $C^6H^4(AzO^2)_1(AzO^2)_4$ .

Elles se forment simultanément par l'action de l'acide azotique sur la nitrobenzine; c'est la métadinitrobenzine qui est très prédominante.

*Benzine trinitrée.*

404. — *Formule* :  $C^6H^3(AzO^2)^3$ .

On chauffe 2 parties de métadinitrobenzine avec 20 parties d'un

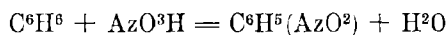
mélange de 1 volume d'acide nitrique fumant et de 2 volumes d'acide sulfurique concentré dans des tubes scellés, d'abord à 80° c., puis pendant deux à trois heures à 130-140° c.

On verse dans l'eau et on purifie par l'alcool.

La trinitrobenzine cristallise en lamelles blanches ou en aiguilles fusibles à 121-122°. Elle est peu soluble dans l'eau, dans l'alcool froid, facilement dans l'éther et l'alcool chaud.

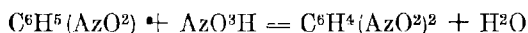
*Remarques sur les substitutions nitrées de la benzine.*

405. — La réaction :



dégage 36,6 calories.

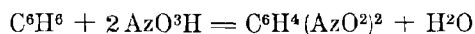
La réaction :



dégage 36,4 calories, c'est-à-dire la même chaleur.

On peut conclure de là que la chaleur dégagée est proportionnelle au nombre de molécules acides fixées.

La réaction :



dégagerait 36,4 + 36,6 = 73,0 calories.

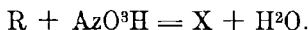
On voit que la chaleur dégagée dans les réactions est bien plus considérable que celle due à la formation des éthers nitriques, laquelle est en moyenne de 5 calories par molécule d'acide nitrique fixée. L'énergie perdue est donc plus grande et d'après cela, la force explosive des éthers nitriques doit être de beaucoup supérieure.

M. Berthelot signale encore le fait suivant, qui fait comprendre pourquoi les corps nitrés de la série aromatique ne se comportent pas comme les éthers, ceux-ci étant décomposables par la potasse avec reproduction d'alcool et d'acide. La potasse, dont l'union avec l'acide azotique étendu dégage seulement 13,7 calories, ne peut fournir par une réaction simple l'énergie nécessaire pour reconstituer l'acide et la benzine, dont l'union sous forme de nitrobenzine a dégagé 36,4. Au contraire, cette énergie existe pour l'éther azotique

et la nitroglycérine qui réclament seulement 4 calories, et 6 calories pour la régénération de chaque molécule acide.

**406. Chaleur de formation des dérivés nitrés de la série aromatique.** — Voici comment M. Berthelot (*Sur la force des matières explosives d'après la thermo-chimie*, par M. BERTHELOT, p. 17, tome II) calcule la chaleur de formation d'un corps nitré depuis les éléments.

Soit A la chaleur de formation du générateur R; + 41,6 étant celle de l'acide azotique; + 36,4 la chaleur de nitrification; enfin, + 69 la chaleur de formation de l'eau; l'équation de nitrification est la suivante :



Elle conduit à la chaleur de formation du composé nitré X, soit :

$$A + 41,6 + 36,4 - 69 = A + 9 \text{ cal.}$$

Pour un composé binitré, trinitré, etc., on aura :

$$A + 18 \text{ cal.}, A + 27 \text{ cal.}, \text{ et en général, } A + 9n.$$

**407. Dérivés chloronitrés de la benzine.** — Nous nous contenterons de citer ces corps qui peuvent être employés en mélange avec des nitrates et des chlorates, pour fournir des poudres explosives.

1° Nitro mono chloro benzines  $\text{C}^6\text{H}^4(\text{AzO}^2)\text{Cl}$  (3 isomères : ortho, méta, para).

2° Dinitro monochloro benzines  $\text{C}^6\text{H}^3(\text{AzO}^2)^2\text{Cl}$         "

3° Trinitro monochloro benzines  $\text{C}^6\text{H}^2(\text{AzO}^2)^3\text{Cl}$         "

4° Nitro dichloro benzines  $\text{C}^6\text{H}^3(\text{AzO}^2)\text{Cl}^2$ .

5° Dinitro dichloro benzines  $\text{C}^6\text{H}^2(\text{AzO}^2)^2\text{Cl}^2$ .

6° Nitro trichloro benzines  $\text{C}^6\text{H}^2(\text{AzO}^2)\text{Cl}^3$ .

7° Dinitro trichloro benzines  $\text{C}^6\text{H}(\text{AzO}^2)^2\text{Cl}^3$ .

8° Nitro tétrachloro benzines  $\text{C}^6\text{H}(\text{AzO}^2)\text{Cl}^4$ .

9° Nitro pentachloro benzines  $(\text{C}^6(\text{AzO}^2)\text{Cl}^5$ .

**408. Dérivés bromonitrés.** — Ils sont analogues aux précédents.

**409. Dérivés iodonitrés.** — Analogues aux précédents.

**Dérivés chloro iodo nitrés.** —

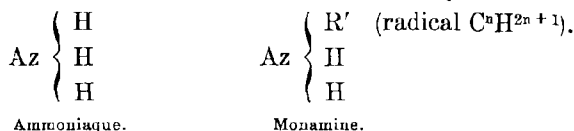
Nitro chloro iodo benzines  $\text{C}^6\text{H}^3(\text{AzO}^2)\text{ClI}$ ; etc.

## CHAPITRE III.

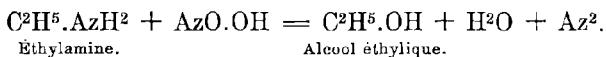
### DÉRIVÉS DIAZOÏQUES DE LA PHÉNYLAMINE.

**410. Un mot des amines.** — Ce sont des corps qui résultent de la substitution d'un radical + à l'hydrogène de l'ammoniaque. On les divise en monamines, diamines et triamines.

Le radical substitué à l'hydrogène de l'ammoniaque peut être un radical d'alcool monoatomique ou un résidu monoatomique d'alcool polyatomique :



Les amines primaires de la série grasse, traitées par l'acide nitreux, sont transformées en alcools monoatomiques, le radical  $\text{AzH}^2$  est remplacé par le radical OH.

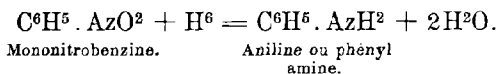


**411.** — On peut atteindre le même résultat avec les amines primaires de la série aromatique, mais en opérant dans des conditions déterminées, en évitant notamment un excès d'eau et une température trop élevée, on parvient à obtenir des produits intermédiaires appelés *composés diazoïques*. Ces substances renferment un groupement, — Az : Az — présentant deux valences libres, dont l'une est saturée par le noyau phénylique, l'autre par un radical mono-valent quelconque; par exemple :

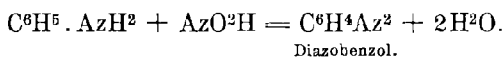
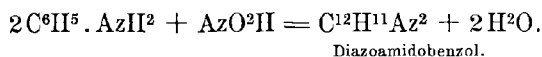


Les dérivés diazoïques prennent naissance dans l'action de l'acide nitreux sur l'aniline ou la phénylamine.

On sait que celle-ci s'obtient par l'action de l'hydrogène naissant sur la mononitrobenzine.



Le premier produit de l'action de l'acide nitreux sur l'aniline est le diazo amido benzol  $\text{C}^{12}\text{H}^{11}\text{Az}^3$ ; celui-ci, sous l'influence d'un excès d'acide nitreux, se transforme en diazobenzol  $\text{C}^6\text{H}^4\text{Az}^2$ .

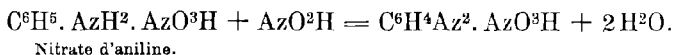


Le diazobenzol est très instable, il se décompose à peine formé, mais les sels du *diazobenzol* sont plus stables. C'est le nitrate de diazobenzol qui sert de point de départ à la préparation des autres combinaisons du diazobenzol.

### *Nitrate de diazobenzol.*

#### 412. — $\text{C}^6\text{H}^4\text{Az}^2 \cdot \text{AzO}^3\text{H}$ .

*Préparation.* — Il prend naissance par l'action de l'acide azoteux sur le nitrate d'aniline.



MM. Berthelot et Vieille préparent ce corps de la façon suivante :

On broie quelques grammes (5 gr.) de nitrate d'aniline avec de l'eau, de façon à former une bouillie que l'on verse dans un tube maintenu en dessous de 30° C. au moyen d'un mélange réfrigérant, on fait arriver lentement un courant d'acide nitreux, en évitant toute élévation de température; on agite avec un thermomètre.

L'acide nitreux se fabrique en faisant tomber goutte à goutte par un entonnoir à robinet de l'acide azotique à 1,2 ou 1,3 de densité

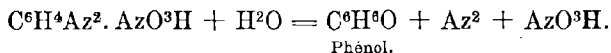
sur de l'acide arsénieux finement pulvérisé ou bien sur de l'amidon contenu dans un ballon légèrement chauffé; il faut conduire la chaleur avec prudence, sinon l'opération peut devenir très tumultueuse. La bouillie de nitrate d'aniline se colore rapidement en rouge, puis prend une teinte moins foncée; on arrête lorsque le liquide dégage de fines bulles d'azote.

La liqueur étant saturée d'acide nitreux, on ajoute son volume d'alcool, puis un excès d'éther lequel précipite le nitrate de diazo benzol en flocons blancs volumineux, on le recueille sur une toile et on le lave avec de l'éther pur (l'éther qui a servi à laver le diazo benzol doit être jeté, si on le redistille il y a risque d'explosion). Le corps est séché spontanément, ou bien entre du papier filtre sous la presse; on achève dans le vide sec.

Rendement 93 % du nitrate d'aniline employé.

*Propriétés.* — C'est un corps blanc qui cristallise en longues aiguilles solubles dans l'eau, moins dans l'alcool que dans l'éther. Il se conserve bien dans l'air sec et à l'abri de la lumière; celle-ci le décompose.  $D = 1,37$ .

L'humidité le détruit immédiatement :

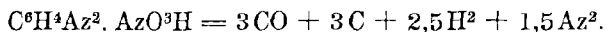


Il détone facilement par le choc et par la friction, il a à peu près la sensibilité du fulminate de mercure.

Il détone par la chaleur à 90° C (le fulminate seulement à 195°).

*Force de la matière.*

La formule de décomposition est la suivante (d'après expérience) :



Elle donne :

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| $\omega = 167$    | $W_m = 156,24$    |
| $Q_{mp} = 124,8$  | $V_k = 935,56$    |
| $Q_{m.v} = 128,8$ | $t = 2831^\circ$  |
| $Q_{kp} = 747,31$ | $f = 11041,51$    |
| $Q_{kv} = 771,32$ | $\alpha = 0,935.$ |
| $W = 327811$      |                   |

On avait cru l'employer pour remplacer le fulminate de mercure, mais la conservation du corps sous l'influence de l'humidité et de la lumière est trop difficile.

Il possède cependant au plus haut degré les qualités des explosifs employés comme détonateurs.

Ses effets au contact sont moindres qu'avec le fulminate de mercure. Il est surtout employé dans l'industrie pour la fabrication des matières colorantes.

*Aniline fulminante.*

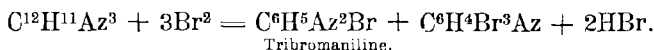
**413. Chromate de diazobenzol.** — On fait un mélange d'une molécule de chlorhydrate d'aniline ( $C^6H^7Az$ , HCl) avec deux molécules d'acide chlorhydrique, et l'on ajoute peu à peu en refroidissant une molécule d'azotite de calcium en solution concentrée, on abandonne ce mélange à lui-même jusqu'à ce qu'il se dégage de l'azote. On ajoute alors une solution concentrée d'une molécule de bichromate de potassium additionné d'une molécule d'acide chlorhydrique, il se produit un précipité de chromate de diazobenzol; on sèche avec précaution.

Il a des propriétés analogues à celles du nitrate de diazobenzol.

*Bromure de diazobenzol.*

**414.** —  $C^6H^5Az^2Br$ .

On l'obtient par l'action d'une solution étherée de brome sur une solution étherée de diazo-amidophénol :



C'est un corps très soluble dans l'eau, moins dans l'alcool, insoluble dans l'éther. Il est peu stable et se décompose spontanément, il détone avec violence par le frottement ou par la chaleur.

*Sulfate de diazobenzol.*

**415.** —  $C^6H^5Az^2, SO^4H^2$ .

On fait passer de l'acide azoteux dans une bouillie aqueuse de sulfate d'aniline ou bien plus facilement, en traitant par de l'acide sulfurique étendu du double de son volume d'eau, la solution aqueuse de

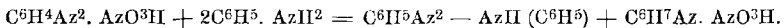
nitrate de diazobenzol et en refroidissant. On ajoute trois volumes d'alcool puis de l'éther, le sulfate se précipite à l'état d'un sirop qu'on sépare du liquide; on traite de nouveau par l'alcool et l'éther, on sèche dans le vide. Au bout de quelque temps, on obtient des cristaux qu'on lave avec de l'alcool absolu; on dissout dans la plus petite quantité d'eau possible et on précipite de nouveau par l'alcool et l'éther.

Le sulfate de diazobenzol est très soluble dans l'eau, peu dans l'alcool, insoluble dans l'éther; la solution aqueuse dépose par évaporation lente des prismes blancs; l'alcool et l'éther le précipitent en aiguilles blanches de sa solution aqueuse. Ce sel est plus stable que le nitrate, il détone vers 100°. A l'air, il attire l'humidité et se décompose alors lentement.

*Diazoamidophénol.*

**416.** —  $C^{12}H^{11}Az^3$ .

On l'obtient par l'union directe des sels de diazobenzol et d'aniline :



Ou bien, par l'action de l'acide azoteux sur une solution alcoolique d'aniline. C'est un corps en lames jaune d'or, insoluble dans l'eau; il fond à 91° et détone à 200°.

*Produits de substitution du diazobenzol.*

Ils se préparent par l'action de l'acide azoteux sur les sels des anilines substituées. Ils cristallisent, en général, facilement. On connaît ainsi :

**417. Le diazobromobenzol**  $C^6H^3BrAz^2$ .

**418. L'azotate de diazobromobenzol**  $C^6H^3BrAz^2. AzO^3H$ , qu'on obtient en partant de l'azotate de  $\alpha$  bromaniline. C'est un corps détonant.

**419. Le bromure de diazobromobenzol**  $C^6H^4BrAz^2Br^3$ .

**420. Le diazochlorobenzol**  $C^6H^3ClAz^2$ .

**421. L'azotate de diazochlorobenzol**  $C^6H^3ClAz^2AzO^3H$ .

**422. Le diazoiodobenzol**  $C^6H^3IAz^2$ , base libre explosive.



## CHAPITRE III.

### PHÉNOLS NITRÉS.

#### § 1. — GÉNÉRALITÉS SUR LES PHÉNOLS.

Les phénols dérivent des hydrocarbures aromatiques par la substitution du radical oxhydryle (OH) à de l'hydrogène du noyau principal.

Les phénols ressemblent ainsi, par leur formule, aux alcools. La substitution peut se faire une ou plusieurs fois en donnant des phénols mono ou polyvalents.

Les phénols monovalents principaux sont :

$C^6H^5, OH$  phénol benzinique (phénol ordinaire).

$C^7H^7, OH$  phénol crésylique (ou crésylol).

$C^9H^{11}, OH$  thymol, etc.

Les phénols divalents :

$C^6H^4(OH)^2$  pyrocatechine, résorcine, hydroquinone, etc.

Les phénols trivalents :

$C^6H^3(OH)^3$  acide pyrogallique.

$C^6H^3(OH)^3$  phloroglucine (isomère de l'acide pyrogallique), etc.

#### *Phénol benzinique.*

**423.** — *Formule* :  $C^6H^5OH$ .

*Synonymes.* — Phénol ordinaire, alcool phénique, acide phénique, acide carbolique, hydrate de phényle.

On l'obtient en distillant le goudron de gaz, on recueille à part ce qui distille entre  $160^\circ$  et  $190^\circ$ ; c'est la créosote du commerce. On y ajoute une dissolution très concentrée de potasse caustique; on obtient ainsi du phénate de potassium. On dissout dans l'eau; il se

sépare deux couches, dont l'inférieure est la solution du phénate. On décante et on ajoute de l'acide chlorhydrique, qui sépare le phénol sous forme d'huile; on lave à l'eau et on purifie par plusieurs distillations sur le chlorure de calcium, on recueille les produits qui distillent vers 183°, ils cristallisent par le refroidissement.

*Propriétés.* — C'est un corps solide, cristallisé en aiguilles incolores. Exposé à l'air, il rougit. Il fond à 41° c. et bout à 183°. Il est peu soluble dans l'eau, mais la moindre trace d'humidité le liquéfie, soluble dans l'alcool et l'éther. En grand usage comme désinfectant et comme matière première dans la fabrication de l'acide picrique et des picrates.

*Substitutions nitrées du phénol.*

On en connaît trois :

- 1° Le mononitrophénol  $C^6H^4(AzO^2)OH$  (3 isomères : ortho, para, méta).
- 2° Le dinitrophénol  $C^6H^3(AzO^2)^2OH$  " " "
- 3° Le trinitrophénol  $C^6H^2(AzO^2)^3OH$ .

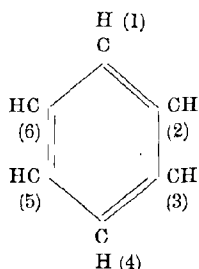
*Mononitrophénols.*

424. — Ils se présentent sous trois formes isomériques :

- 1° L'orthonitrophénol  $C^6H^4(OH)_1(AzO^2)_2$ ;
- 2° Le paranitrophénol  $C^6H^4(OH)_1(AzO^2)_4$  (ou isonitrophénol);
- 3° Le métanitrophénol  $C^6H^4(OH)_1(AzO^2)_3$ .

Il existe dans la série aromatique un genre spécial d'isomérisie dû à la position différente des chaînes latérales sur le noyau phénylique.

On peut attribuer à la benzène la formule qui suit :



Les six atomes d'hydrogène de la benzine sont équivalents et par rapport à l'un quelconque d'entre eux, il existe deux paires d'atomes disposés symétriquement.

Tous les atomes H sont disposés de la même manière et, par rapport à l'atome (1), les atomes (2) (6) ainsi que (3) (5) forment deux paires symétriques.

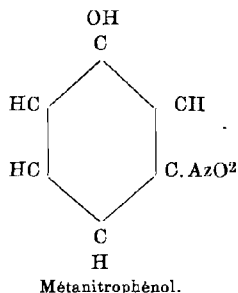
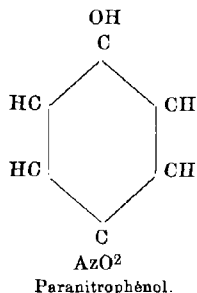
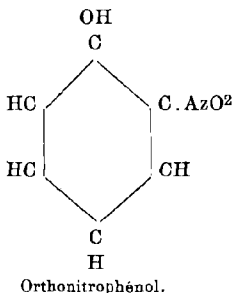
L'atome (4) constitue un troisième rapport.

L'addition d'une chaîne latérale, ou de cinq chaînes latérales identiques, n'offre pas d'isoméries à considérer. L'introduction de deux chaînes latérales identiques ou différentes donne naissance à trois produits isomères qui, selon la position occupée par les chaînes, sont qualifiés de composés ortho (ortos, droit), méta (méta, après), para (para, à côté).

Une étude approfondie du sujet a même permis d'établir quels sont les atomes d'hydrogène remplacés dans les trois cas.

Dans la série *ortho*, les atomes d'hydrogène substitués occupent les positions 1-2 ou 1-6.

Dans la série *meta*, les positions 1-3 ou 1-5 et dans la série *para*, les positions 1-4.



**425. Orthonitrophénol.** — On verse une partie de phénol dans un mélange, refroidi avec un mélange réfrigérant, de 2 p. d'acide azotique ( $d = 1,34$ ) et de 4 p. d'eau. Il se forme une couche noire huileuse, qu'on sépare, qu'on lave à l'eau et que finalement, on distille avec de l'eau.

*Propriétés.* — Corps d'un jaune paille, à odeur aromatique. Il fond à 45°, bout à 214°, il est peu soluble dans l'eau froide, plus

soluble dans l'eau chaude, l'alcool, l'éther, la benzine, le sulfure de carbone.

**426. Paranitrophénol.** — Il prend naissance en même temps que l'ortho. Plus la température est basse plus sa proportion augmente. Après la distillation de l'orthonitrophénol, il reste dans les résidus. Ceux-ci sont filtrés à chaud. On ajoute de la soude caustique, ce qui donne un précipité de paranitrophénate de sodium. On filtre, on lave et on purifie le sel par des cristallisations à l'eau chaude. Enfin on décompose le sel sodique par de l'acide chlorhydrique.

*Propriétés.* — Ce corps se présente en aiguilles incolores très solubles dans l'éther; la solution étherée donne des cristaux jaune rouges.

**427. Métanitrophénol.** — On fait agir de l'acide sulfurique dilué sur de la métanitriline, puis on ajoute de l'azotate de potassium.

Les mononitrophénols ont des allures d'acides et fournissent un grand nombre de sels métalliques. Les nitrophénates sont colorés en rouge écarlate ou en orange. Ils ne sont pas explosibles.

### *Dinitrophénols.*

**428. Formule :**  $C^6H^3(AzO^2)^2OII$ .

On chauffe le métanitrophénol avec son poids d'acide azotique ( $d = 1,37$ ).

On peut aussi partir du phénol. On mélange 50 gr. de phénol pur avec 600 gr. d'eau; on ajoute peu à peu en remuant 275 gr. d'acide azotique ( $d = 1,38$ ).

On chauffe pendant 10 minutes et on laisse refroidir.

Le dinitrophénol cristallise.

Le dinitrophénol ainsi obtenu renferme en réalité 3 isomères :

1°  $C^6H^3.OH_{(1)}.AzO^2_{(2)}.AzO^2_{(3)}$  ;

2°  $C^6H^3.OH_{(1)}.AzO^2_{(2)}.AzO^2_{(4)}$  ;

3°  $C^6H^3.OH_{(4)}.AzO^2_{(2)}.AzO^2_{(6)}$ .

Ils donnent des dinitrophénates dont quelques-uns sont explosibles.

*Trinitrophénols.*

429. Il existe trois trinitrophénols isomères :

1° Le trinitrophénol  $\alpha$   $C^6H^2 \cdot OH_{(1)} \cdot AzO^2_{(2)} \cdot AzO^2_{(4)} \cdot AzO^2_{(6)}$  (acide picrique);

2° Le trinitrophénol  $\beta$  1, 3, 4, 6;

3° Le trinitrophénol  $\gamma$  1, 2, 3, 6.

Nous confondrons leur étude avec celle de l'acide picrique.

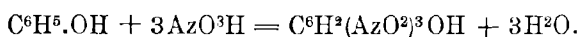
§ 2. — ACIDE PICRIQUE.

430. *Synonymes* : Trinitrophénol, acide carbazotique, amer de Welter.

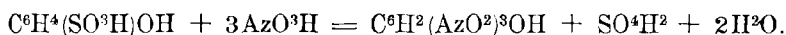
Il fut découvert en 1788 par Hausmann qui attaqua l'indigo par l'acide nitrique.

Welter l'obtint en faisant agir l'acide azotique sur la soie; Laurent établit que l'acide picrique était du phénol trinitré.

*Préparation.* — Elle se fait d'après la formule :



Elle est l'objet d'une fabrication industrielle importante. L'opération se fait en deux phases, afin d'éviter la violence de la réaction entre l'acide phénique et l'acide nitrique; on commence par former l'acide sulfo conjugué du phénol que l'on détruit après par l'acide azotique :



On chauffe à 100° dans des cornues, sur des bains de sable, parties égales de phénol et d'acide sulfurique; de temps en temps on prend une goutte qu'on jette dans de l'eau froide; la réaction est terminée quand la goutte se dissout complètement. On laisse refroidir et on ajoute deux fois le poids d'eau; ce liquide est versé dans un excès d'acide nitrique ordinaire (3 parties).

Il se dégage quelques vapeurs nitreuses, puis on chauffe jusqu'à ce que les vapeurs rouges aient disparu. On laisse refroidir et l'acide picrique cristallise. On fait égoutter les cristaux et on les lave à l'eau.

Afin d'obtenir de l'acide picrique tout à fait pur, on le sature par un sel de potassium ou de sodium, qui le transforme en picrate de potassium ou de sodium; on presse celui-ci pour le débarrasser des impuretés; on lave puis on décompose le sel par l'acide sulfurique qui fournit l'acide picrique à l'état pur.

*Propriétés.* — C'est un corps solide se présentant sous forme de cristaux lamelleux d'un beau jaune, la saveur en est extraordinairement amère (picros); il rougit le tournesol. Il est d'une grande stabilité à la température ordinaire. Il est peu soluble dans l'eau.

100 parties d'eau dissolvent :

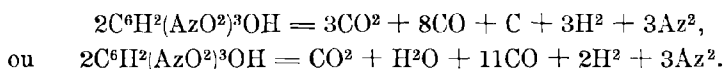
|              |                                 |   |   |
|--------------|---------------------------------|---|---|
| à 5°         | 0,603 parties d'acide picrique. |   |   |
| 15°          | 1,160                           | " | " |
| 20°          | 1,230                           | " | " |
| 22°          | 1,300                           | " | " |
| 26°          | 1,370                           | " | " |
| 77°          | 3,840                           | " | " |
| Ébullition : | 5,000                           | " | " |

Il est soluble dans l'alcool et dans l'éther. Son pouvoir colorant est très prononcé; il teint la soie et la laine sans mordant.

**431. Action de la chaleur.** — Il fond à 122°5 en une huile jaune qui cristallise par le froid.

Lorsqu'on le chauffe avec prudence, il se sublime sans se décomposer. Lorsqu'on le chauffe brusquement à 300°, il se déflagre ou s'il est en vase clos il fait explosion.

L'explosion se fait d'après la formule :



On voit que le corps est loin de contenir la quantité d'oxygène nécessaire pour produire des substances à leur maximum d'oxydation.

M. Berthelot a fait des observations sur les divers modes de décomposition explosive de l'acide picrique (*Bulletin de la Société chimique*, t. XLIX, 1888, p. 956). L'acide picrique, en masse un peu notable, placé sur un feu un peu modéré dans une capsule et même dans une bouteille ouverte, fond, puis émet des vapeurs qui prennent

feu au contact de l'air et du foyer, en brûlant avec une flamme fuligineuse, sans donner lieu à une explosion. Si l'on déverse le liquide enflammé sur une surface froide, il ne tarde pas à s'éteindre. Une très petite quantité, chauffée avec précaution dans un tube fermé par un bout, peut même se volatiliser sans décomposition apparente. On voit par là que l'acide picrique est bien moins explosif que les éthers nitriques, tels que la nitroglycérine, le coton-poudre ou bien encore les composés azoïques et le fulminate de mercure.

Néanmoins, ce serait une erreur de croire que l'acide picrique est incapable de faire explosion par un simple échauffement.

En effet, ce corps soumis à une haute température se décompose avec dégagement de chaleur, en s'oxydant aux dépens de la vapeur nitreuse qui entre dans sa composition.

M. Berthelot a établi il y a longtemps que toutes les fois qu'une réaction dégage de la chaleur, la vitesse de cette réaction croît, d'une part, avec la condensation de la matière à une même température et, d'autre part, avec la température pour un même état de condensation.

Ce dernier accroissement s'effectue même suivant une loi très rapide, exprimée par une fonction exponentielle de la température, ce qui tend à rendre la réaction explosive.

Lorsqu'on opère en vase clos, la chaleur dégagée par la réaction concourt encore à accroître l'élévation de la température et, par suite l'accélération des phénomènes.

Conformément à ces principes, on peut provoquer la détonation de l'acide picrique, sous la pression ordinaire et dans un vase ouvert, si on l'échauffe brusquement dans une enceinte portée à l'avance à une haute température, et dont la masse soit telle, que l'introduction de la matière explosive en petite quantité ne modifie pas sensiblement la température.

Cette condition indiquée par la théorie peut être réalisée par les circonstances suivantes : on prend un tube de verre fermé par un bout, d'un diamètre de 25 à 30 millimètres, et on l'échauffe sur la flamme d'un bec de gaz jusqu'à la température du rouge visible sans cependant fondre le verre ou déformer le tube.

A ce moment on projette au fond du tube deux ou trois cristaux

d'acide picrique cristallisé dont le poids ne dépasse pas quelques milligrammes. Le corps détone aussitôt avec vivacité au point de contact, avant d'avoir eu le temps de se réduire en vapeur en produisant une lumière blanche très vive et un bruit caractéristique.

M. Berthelot a pris soin de faire l'expérience dans une atmosphère d'azote pour plus de netteté. Elle a produit à peine quelques flocons de charbon. Il est clair qu'elle réussit également dans l'air, mais alors le charbon est brûlé.

Si la dose d'acide picrique est un peu plus considérable sans atteindre cependant quelques centigrammes, le fond du tube peut être refroidi suffisamment pour que la détonation n'ait pas lieu immédiatement. Mais le corps se réduit aussitôt en vapeurs et il se produit bientôt une explosion avec flamme dans une grande partie de l'étendue du tube. Cette explosion est moins aiguë que la détonation localisée et elle paraît donner lieu à une dose de charbon relativement plus considérable. L'explosion présente le même caractère même avec quelques milligrammes de matière, si le fond du tube est tapissé du charbon provenant d'une première explosion.

Opère-t-on sur un décigramme d'acide picrique, avec un tube neuf porté au rouge, l'action est plus lente encore; cependant l'acide ne tarde pas à fuser et à déflagrer avec vivacité, en développant une fumée abondante et une flamme rouge qui enveloppe chaque parcelle successivement projetée.

En même temps les vapeurs produites s'enflamment vers l'orifice du tube, au contact de l'air ambiant. Enfin, si l'on augmente la dose d'acide picrique, il se décompose encore avec une épaisse fumée et une volatilisation partielle, mais sans déflagration.

M. Berthelot a fait des expériences analogues sur plusieurs composés nitrés moins oxygénés que l'acide picrique. Soit la nitrobenzine, par exemple : si l'on projette une fine gouttelette de ce composé au fond d'un tube de verre porté à l'avance au rouge et rempli d'azote, elle déflagre avec production de bruit et d'une flamme blanche. Mais l'expérience ne réussit pas avec une quantité plus forte ou bien si le tube renferme déjà du charbon provenant d'une explosion antérieure. De même, la dinitrobenzine, les naphthalines



mono, di, trinitrées avec tendance croissante à la détonation, à mesure que la dose d'oxygène s'accroît.

On voit par ces observations la variété des modes de décomposition des composés nitrés proprement dits et comment ces modes divers dépendent de la température initiale de la décomposition. Dans le cas où le milieu ambiant offre une masse assez considérable pour absorber à mesure la chaleur produite, il n'y a ni déflagration, ni détonation. Cependant si un corps nitré, tel que l'acide picrique, en brûlant à l'air, venait à échauffer la paroi de l'enceinte qui le contient à un degré suffisant pour que sa déflagration commençât, celle-ci pourrait concourir à élever la température de l'enceinte et le phénomène finirait par se transformer en détonation.

Il suffirait même que celle-ci eût lieu sur un point isolé pour qu'elle donnât lieu à l'onde explosive et se propageât par influence dans la masse entière en produisant une explosion générale.

#### 432. Force de l'acide picrique. —

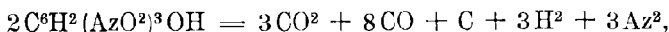
La formule d'explosion :



donne :

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| $\omega$ | = 458    | $V_m$    | = 401,76 |
| $Q_{mp}$ | = 337,8  | $V_k$    | = 877,02 |
| $Q_{mv}$ | = 348,10 | $t$      | = 2634°  |
| $Q_{kp}$ | = 737,5  | $f$      | = 9682   |
| $Q_{kv}$ | = 760    | $\alpha$ | = 0,877. |
| $W$      | = 323000 |          |          |

La formule d'explosion :



donne :

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| $\omega$ | = 458    | $V_m$    | = 379,44 |
| $Q_{mp}$ | = 390,2  | $V_k$    | = 828,47 |
| $Q_{mv}$ | = 399,9  | $t$      | = 2832°  |
| $Q_{kp}$ | = 851,9  | $f$      | = 9780,6 |
| $Q_{kv}$ | = 873,2  | $\alpha$ | = 0,828  |
| $W$      | = 371114 |          |          |

On voit que l'acide picrique se rapproche des plus violents explosifs.

**433. Usages de l'acide picrique.** — L'industrie en consomme de grandes quantités pour la teinture de la laine et de la soie; on vend même quelquefois sous le nom d'acide picrique, du picrate de soude un peu moins cher, mais qui constitue un explosif très dangereux.

Cet acide n'est guère employé dans la fabrication des poudres. En effet quand on mouille des mélanges d'acide picrique et de nitrates, dans le but d'éviter le danger des triturations, l'acide picrique déplace les bases même à froid, et l'acide nitrique disparaît pendant la dessiccation; la poudre est alors en réalité à base de picrates. Cette réaction peut être dangereuse avec les chlorates.

**434. Poudres diverses à base d'acide picrique.** —

*Poudre à l'acide picrique* (Borlinetto).

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| Acide picrique. . . . .           | 10  |
| Nitrate de sodium . . . . .       | 10  |
| Bichromate de potassium . . . . . | 8,3 |

*Poudre verte.*

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Chlorate de potassium . . . . .     | 14 |
| Acide picrique. . . . .             | 4  |
| Ferrocyanure de potassium . . . . . | 3  |

Cette poudre a été essayée dans les obus en France.

*Hérakline* (Dickerhoff) poudre de mine.

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| Acide picrique. . . . .        | 500   |
| Azotate de potassium . . . . . | 500   |
| Eau bouillante. . . . .        | 36000 |

On fait absorber la solution par 15 kilogrammes de sciure de bois. On sèche, on mêle cette poudre avec du nitrate de potassium, du nitrate de sodium, du soufre dans diverses proportions.

**Explosif de Turpin.** — On pulvérise de l'acide picrique et on le comprime en cartouches; on peut ajouter de la gomme arabique, des huiles lourdes ou du collodion pour former une pâte.

Si on soumet la masse à la fusion on obtient une matière explosive très peu sensible au choc.

**435. Mélinite** (française) ou **Lyddite** (anglaise) de Turpin. -- C'est

l'explosif en usage en France et en Angleterre pour le chargement des obus-torpilles. C'est de l'acide picrique fondu. La fusion s'opère à 122°5 dans une marmite en fonte plongée dans un bain d'huile dont on vérifie la température au moyen d'un thermomètre. L'acide fondu est versé au moyen de louches dans l'obus chauffé. On se sert pour cela d'un entonnoir dont la queue forme un mandrin réservant l'emplacement de l'obturateur porte-amorce. Celui-ci consiste, en principe, en une capsule percutante qui à l'arrivée du projectile dans l'obstacle à détruire met le feu à un canal fusant, lequel met le feu au bout d'un certain temps à une capsule au fulminate de mercure qui détone au sein d'une masse d'acide picrique en poudre; celui-ci provoque à son tour la détonation de l'acide picrique fondu. C'est donc une fusée ralentie qui donne à l'obus, le temps de pénétrer dans l'obstacle, puis d'y éclater.

On a aussi proposé le mélange d'acide picrique et de fulmi-coton sous forme de collodion (Lénite).

|                        |    |              |
|------------------------|----|--------------|
| Acide picrique . . . . | 48 |              |
| Coton-poudre . . . .   | 52 | (collodion). |

Au lieu de faire usage d'acide picrique fondu, on peut aussi comprimer la matière. La fusion de l'acide picrique dans des vases métalliques provoque la formation de picrates dont la stabilité est beaucoup moindre. L'acide picrique doit rougir le papier de tournesol. Sa neutralité ou son alcalinité prouve la présence de picrates.

**Emmensite** inventée par le Dr Emmens. — On fait dissoudre de l'acide picrique dans  $AzO^3H$  et on évapore. On fond au bain de paraffine 5 p. de ce résidu avec 5 p. d'azotate d'ammonium, puis on ajoute 6 p. d'acide picrique.

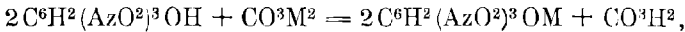
*Oxonite.*

|                       |    |
|-----------------------|----|
| Acide nitrique (1,5)  | 54 |
| Acide picrique fondu. | 46 |

### § 3. — PICRATES.

**436.** — Les picrates alcalins sont surtout employés; on les obtient facilement en saturant des solutions aqueuses d'acide picrique par un sel soluble alcalin; on évapore et on lave les cristaux à l'eau pure.

La formule de fabrication est la suivante :

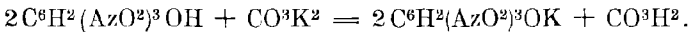


M = métal monovalent : K, Na, AzH<sup>4</sup>....

*Picrate de potassium.*

**437.** — *Formule* : C<sup>6</sup>H<sup>2</sup>(AzO<sup>2</sup>)<sup>3</sup>OK. — *Poids moléculaire* : 267.

La formule particulière de fabrication est :



Le calcul donne :

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| Acide picrique. . . . .          | 458 parties. |
| Carbonate de potassium . . . . . | 138 id.      |

C'est un corps jaune cristallisant en longues aiguilles ou prismes jaunes ortho-rhombiques à reflet métallique. Il est très peu soluble dans l'eau qu'il teint cependant fortement en jaune.

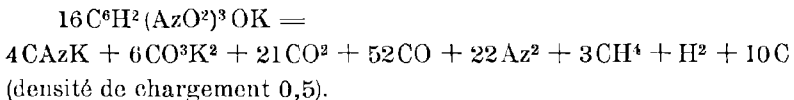
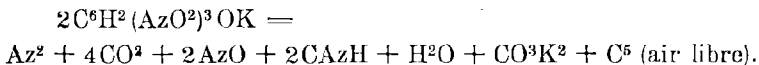
100 parties d'eau dissolvent :

|                          |                                       |
|--------------------------|---------------------------------------|
| à 15°. . . . .           | 0,38 parties de picrate de potassium. |
| à l'ébullition . . . . . | 7 parties "                           |

Il est presque insoluble dans l'alcool.

C'est une substance hautement explosive, elle déflagre avec beaucoup de force à l'air libre par l'approche d'un corps en ignition, elle détone par le choc violent.

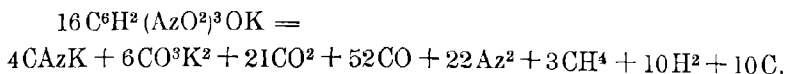
Les produits de sa décomposition varient suivant les circonstances :



Quel que soit le mode de décomposition, il y a mise en liberté de carbone; le résidu est tout noir.

*Force de la matière.*

L'équation :



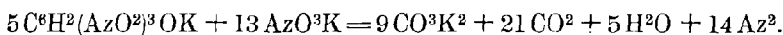
donne :

|          |   |        |  |          |   |         |
|----------|---|--------|--|----------|---|---------|
| $\omega$ | = | 4272   |  | $V_m$    | = | 2410,56 |
| $Q_{mp}$ | = | 3279,1 |  | $V_k$    | = | 564,27  |
| $Q_{mv}$ | = | 3340,9 |  | t        | = | 3299°   |
| $Q_{kp}$ | = | 767,58 |  | f        | = | 7658,71 |
| $Q_{kv}$ | = | 782,05 |  | $\alpha$ | = | 0,564.  |
| W        | = | 332372 |  |          |   |         |

**438. Poudres au picrate de potassium nitraté. —**

Le manque d'oxygène du picrate de potassium rend son mélange avec les nitrates rationnel.

La formule de réaction à combustion complète est la suivante :



Elle donne comme composition du mélange :

|                      |           |      |                            |
|----------------------|-----------|------|----------------------------|
| Picrate de potassium | .         | 504  |                            |
| Salpêtre.            | . . . . . | 496  | (en pratique poids égaux.) |
|                      |           | 1000 |                            |

*Force du picrate nitraté.*

La formule précédente donne :

|          |   |         |  |          |   |         |
|----------|---|---------|--|----------|---|---------|
| $\omega$ | = | 2649,3  |  | $V_m$    | = | 892,8   |
| $Q_{mp}$ | = | 2634,6  |  | $V_k$    | = | 336,9   |
| $Q_{mv}$ | = | 2657,49 |  | t        | = | 4103°   |
| $Q_{kp}$ | = | 994,45  |  | f        | = | 5599,17 |
| $Q_{kv}$ | = | 1003,09 |  | $\alpha$ | = | 0,336.  |
| W        | = | 426313  |  |          |   |         |

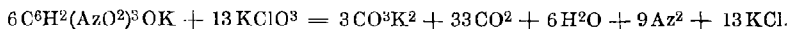
**439. Poudres Dessignoles (1869).**

|                       | Torpilles | Mines | Ordinaire | Canons | Gros<br>calibres | Fusils. |       |
|-----------------------|-----------|-------|-----------|--------|------------------|---------|-------|
| Picrate de potassium. | 55        | 50    | 16,4      | 9,6    | 9                | 28,6    | 22,9  |
| Nitrate de potassium. | 45        | 50    | 74,4      | 79,7   | 80               | 65,0    | 69,4  |
| Charbon de bois . . . | —         | —     | 9,2       | 10,7   | 11               | 6,4     | 7,7   |
|                       | 100       | 100   | 100,0     | 100,0  | 100              | 100,0   | 100,0 |

Les matières sont battues pendant six heures au moyen de pilons avec 14 % d'eau; on soumet le mélange à la presse hydraulique, on concasse la galette et on grène. Les grains pour fusils ont 2 millimètres de diamètre; ceux pour canons ont une forme irrégulière. Le danger de fabrication ne paraît pas être plus grand que pour la poudre noire. Ces poudres sont trop Brisantes; mais elles peuvent être avantageuses pour le chargement des torpilles. La force dépasse beaucoup celle de la poudre noire, mais elle est inférieure à celle du coton-poudre et de la dynamite.

**440. Poudre au picrate de potassium chloraté. —**

La combustion complète se fait d'après la formule :



Elle exige :

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Picrate de potassium. . . .   | 267   |
| Chlorate de potassium . . . . | 265,7 |

Donc en poids égaux.

*Force du picrate chloraté.*

La formule précédente donne :

|                    |  |                   |
|--------------------|--|-------------------|
| $\omega$ = 3194,5  |  | $V_m$ = 1071,36   |
| $Q_{mp}$ = 3714,8  |  | $V_k$ = 335,37    |
| $Q_{mv}$ = 3742,27 |  | $t$ = 4169°       |
| $Q_{kp}$ = 1162,8  |  | $f$ = 5656,04     |
| $Q_{kv}$ = 1171,4  |  | $\alpha$ = 0,335. |
| $W$ = 497874       |  |                   |

Cette poudre est très dangereuse à manier.

*Picrate de sodium.*

*Formule* :  $C^6H^2(AzO^2)^3 ONa$ .

441. — On sature 1 kilogramme d'acide picrique par 231 grammes de carbonate de sodium.

Il se présente sous forme d'aiguilles jaunes, plus solubles dans l'eau que le picrate de potassium. Il a les mêmes propriétés explosives que ce dernier, mais un peu mitigées.

La force est analogue à celle du picrate de potassium. Ce corps se mélange aux azotates et aux chlorates et donne des poudres semblables à celles à base de picrate de potassium.

*Picrate d'ammonium.*

442. — *Formule* :  $C^6H^2(AzO^2)^3 O . AzH^4$ .

Poids moléculaire = 246.

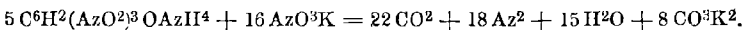
On sature une solution d'acide picrique par un courant d'ammoniaque gazeuse. Il suffit de chauffer l'ammoniaque liquide placée dans un ballon muni d'un tube recourbé et dont l'extrémité inférieure plonge dans la solution chaude d'acide picrique. Lorsque celle-ci laisse dégager des vapeurs ammoniacales, la saturation est achevée et on laisse refroidir; le picrate d'ammonium cristallise lentement en belles aiguilles jaunes enchevêtrées. On peut faire usage du carbonate d'ammonium.

*Propriétés.* — Il cristallise en prismes orthorhombiques jaune orange, assez solubles dans l'eau, peu dans l'alcool.

Il se comporte en présence d'un corps en ignition et à l'air libre tout autrement que les deux picrates précédents; il brûle lentement comme une résine en dégageant d'abondantes fumées noires formées de carbone. Il ne détone pas par un choc violent.

**443. Picrate d'ammonium nitraté.** —

La formule de combustion totale par le salpêtre est :



Composition :

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Picrate d'ammonium . . . .   | 432   |
| Nitrate de potassium . . . . | 568   |
|                              | <hr/> |
|                              | 1000  |

Ce mélange ne détone que partiellement par un choc très violent ou par un frottement très vif. Il fuse à l'air libre et donne une explosion violente en vase clos. Il peut servir au chargement des obus.

Cette poudre a fait en France l'objet d'études consignées dans un rapport de M. Lambert, ingénieur en chef des poudres et salpêtres (*Mémorial des poudres et salpêtres*, t. II, p. 16).

Le picrate est séché, pulvérisé et mélangé avec le salpêtre à l'état sec au moyen de tamisages répétés 50 fois. On humecte de 6 % d'eau, on abandonne la matière à elle-même plusieurs jours ; on comprime, on concasse au maillet et on grène.

On a conclu des expériences de tir qu'il paraît possible avec les poudres au picrate d'ammonium de réaliser dans les canons de 90<sup>mm</sup> et de 155<sup>mm</sup> des vitesses égales ou supérieures aux vitesses réglementaires, avec des charges et des pressions inférieures à celles de la poudre noire. Ces poudres sont plus sensibles à l'humidité que la poudre noire.

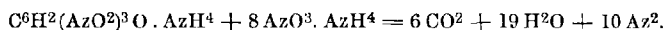
La poudre au picrate doit contenir une certaine dose d'humidité afin d'empêcher les pressions trop élevées dans les bouches à feu.

Il faut par conséquent faire usage de procédés de conservation qui assurent à l'explosif le maintien du taux exact d'eau qu'il doit renfermer.

La formule de combustion totale donne :

|          |   |         |  |          |   |         |
|----------|---|---------|--|----------|---|---------|
| $\omega$ | = | 2847,6  |  | $V_m$    | = | 1227,6  |
| $Q_{mp}$ | = | 2863,7  |  | $V_k$    | = | 336,9   |
| $Q_{mv}$ | = | 2895,18 |  | $t$      | = | 4103°   |
| $Q_{kp}$ | = | 1005,6  |  | $f$      | = | 5599,17 |
| $Q_{kv}$ | = | 1016,7  |  | $\alpha$ | = | 0,336.  |
| $W$      | = | 432097  |  |          |   |         |

**444. Poudre au picrate d'ammonium et au nitrate d'ammonium.** — La formule de combustion totale est :



L'explosion ne fournit que des gaz ; ce mélange peut servir de poudre sans fumée, mais le nitrate d'ammonium est hygroscopique.



*Force du mélange.*

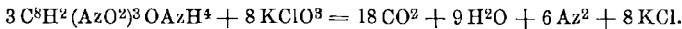
La formule précédente donne :

|                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| $\omega$ = 886    | $V_m$ = 781 <sup>1</sup> 20 |
| $Q_{mp}$ = 886,5  | $V_k$ = 881,71              |
| $Q_{mv}$ = 906,53 | $t$ = 2273°                 |
| $Q_{sp}$ = 1000   | $f$ = 8544,28               |
| $Q_{kv}$ = 1023   | $\alpha$ = 0,881.           |
| $W$ = 434847      |                             |

La force de cette poudre dépasse celles aux picrates de potassium et de sodium.

**445. Poudre au picrate d'ammonium chloraté.** —

La formule de combustion totale pour le chlorate de potassium est :



Soit :           738 de picrate  
                  970 de chlorate.

Cette poudre est dangereuse à manier, elle détone par le choc et par la friction.

*Force du mélange.*

La formule précédente donne :

|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| $\omega$ = 1733   | $V_m$ = 736,5    |
| $Q_{mp}$ = 2058,7 | $V_k$ = 425      |
| $Q_{mv}$ = 1187,8 | $t$ = 3582°      |
| $Q_{kv}$ = 1198,7 | $f$ = 6223,83    |
| $W$ = 509490      | $\alpha$ = 0,425 |

**446. Poudre picrique** (Brugère).

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Picrate d'ammonium. . . . . | 54 |
| Salpêtre . . . . .          | 46 |

Cette poudre est fabriquée et grenée comme la poudre noire. Chauffée avec précaution elle ne subit pas de modification jusqu'à 150°. Soumise longtemps à l'action de l'eau, elle se décompose

et donne du picrate de potassium et du nitrate d'ammonium déliquescent. La force est plus grande que celle de la poudre ordinaire et elle donne moins de fumée dans les armes à feu.

La fabrication n'offre pas plus de difficultés ni de dangers que celle de la poudre noire.

**447. Feux pyrotechniques.** — Le picrate d'ammonium sert quelquefois de base à la fabrication des feux de Bengale, leur combustion est lente et leur flamme extrêmement brillante.

|                        | I<br>Vert | II<br>Rouge | III<br>Blanc    | IV<br>Gerbes d'or. |
|------------------------|-----------|-------------|-----------------|--------------------|
| Picrate d'ammonium.    | 48        | 54          | Mélange         | 50                 |
| Nitrate de Baryum .    | 52        | —           | parties égales. | —                  |
| Nitrate de Strontium.  | —         | 46          | I et II         | —                  |
| Picrate de fer . . . . | —         | —           |                 | 50                 |

Ces feux, dits sans odeur, dégagent une fumée âcre qui provoque la toux.

#### § 4. — PHÉNOLS NITRÉS COMPLEXES.

##### *Phénols chloronitrés.*

**448.** — Nous nous contenterons de citer les substitutions suivantes, qui seules ou en mélange avec des nitrates et des chlorates, peuvent fournir des poudres explosives.

|                          |                          |                     |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| Le chloronitrophénol.    | $C^6H^3.OH.Cl.AzO^2$     | plusieurs isomères. |
| Le chlorodinitrophénol.  | $C^6H^2.OH.Cl.(AzO^2)^2$ | id.                 |
| Le dichloronitrophénol.  | $C^6H^2.OH.Cl^2.AzO^2$   | id.                 |
| Le trichloronitrophénol. | $C^6H.OH.Cl^3.AzO^2$     | id.                 |

##### *Phénols bromonitrés.*

**449.** — Nous citerons :

|                        |                          |                     |
|------------------------|--------------------------|---------------------|
| Le bromonitrophénol.   | $C^6H^3.OH.Br.AzO^2$     | plusieurs isomères. |
| Le bromodinitrophénol. | $C^6H^2.OH.Br.(AzO^2)^2$ | id.                 |
| Le dibromonitrophénol. | $C^6H^2.OH.Br^2.AzO^2$   | id.                 |

*Phénols iodonitrés.*

450. — Ils sont semblables aux précédents.

Les phénols chloro, bromo, iodonitrés, donnent des sels métalliques par la substitution de l'atome d'hydrogène du radical OH par le métal. Beaucoup de ces sels sont explosibles.

*Phénols nitroamidés.*

451. — Par la réduction des phénols nitrés on obtient des amidophénols d'où dérivent des nitro-amidophénols.

La réduction du nitrophénol donne  $C^6H^4(AzH^2)OH$  l'amidophénol.

La réduction du dinitrophénol donne  $C^6H^3(AzH^2)^2OH$  le diamidophénol.

La réduction du trinitrophénol donne  $C^6H^2(AzH^2)^3OH$  le triamidophénol.

On voit que le radical azotyle  $AzO^2$  des nitrophénols a été remplacé par le radical  $AzH^2$ .

452. — Ces amidophénols peuvent laisser remplacer un ou plusieurs de leurs atomes d'hydrogène par le radical azotyle.

On obtient ainsi :

L'amidonitrophénol  $C^6H^3 . AzO^2 . AzH^2 . OH$ .

Le dinitramidophénol  $C^6H^2 . (AzO^2)^2 . AzH^2 . OH$ .

Le premier s'obtient en réduisant l'acide dinitrophénique; on chauffe son sel ammoniac avec une solution de sulfhydrate d'ammonium.

453. **Le dinitramidophénol ou acide picramique.** — L'acide picrique renfermant trois groupes  $AzO^2$ , peut successivement, par réduction, fournir des dérivés dans lesquels 1, 2 ou 3 groupes  $AzO^2$  sont transformés en  $AzH^2$  et donner ainsi 3 produits de réduction :

Le dinitramidophénol ou acide picramique  $C^6H^2(AzO^2)^2 . AzH^2 . OH$ .

Le nitrodiamidophénol . . . . .  $C^6H^2(AzO^2)(AzH^2)^2 . OH$ .

Le triamidophénol ou picramine . . . . .  $C^6H^2(AzH^2)^3 . OH$ .

Pour préparer l'acide picramique on dissout l'acide picrique dans de l'alcool froid, on ajoute directement un excès de sulfhydrate

d'ammonium et on évapore au bain-marie; puis on reprend par l'eau bouillante et l'on décompose enfin, par l'acide nitrique, le picramate d'ammonium. L'acide picramique se dépose au bout de quelque temps sous forme de tables ou d'aiguilles rouge grenat très brillantes. L'acide picramique donne une grande quantité de sels.

**454. Nitrodiamidophénol.** —  $C^6H^2(AzO^2)(AzH^2)^2 . OH.$

On ajoute à de l'acide picrique un excès d'ammoniaque et on fait barboter dans le liquide de l'hydrogène sulfuré; il se forme d'abord de l'acide picramique qui se réduit à son tour, on concentre, on filtre, on ajoute de l'acide acétique.

C'est un corps qui détone facilement.

Les diamidonitrophénates sont peu stables.

*Dérivés chloro-nitro-amidés du phénol.*

**455. Nitrochloroamidophénol.** —

*Formule :*  $C^6H^2Cl(AzO^2)(AzH^2)OH.$

*Préparation.* — On réduit d'abord le dinitrochlorophénol qui donne un dérivé amidé : le nitrochloroamidophénol; celui-ci est mis en digestion avec le sulfhydrate d'ammonium.

C'est un corps solide fusible à 160°; soluble dans l'eau bouillante.

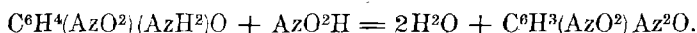
Les sels sont insolubles, jaunes ou bien rouges, ils détonent par la chaleur.

§ 5. — DÉRIVÉS AZOÏQUES DES AMIDOPHÉNOLS.

*Diazonitrophénol.*

**456.** — *Formule :*  $C^6H^3(AzO^2)Az^2O.$

*Préparation.* — On dirige un courant de gaz nitreux dans une solution étherée de nitramidophénol :



Il se précipite un corps brun jaune qui détone avec violence à 100°.

*Diazodinitrophénol.*

**457.** -- *Formule* :  $C^6H^2(AzO^2)^2Az^2O$ .

*Préparation.* — On fait agir le gaz nitreux sur l'acide dinitramidophénol. On obtient des lames jaune d'or détonant violemment par l'échauffement.

*Diazonitrochlorophénol.*

**458.** — *Formule* :  $C^6H^2(AzO^2)Az^2OCl$ .

*Préparation.* — On ajoute de l'alcool saturé d'acide nitreux à du nitrochloroamidophénol :  $C^6H^2(AzO^2)(AzH^2)OH$ .

Le corps cristallisé dans l'alcool se présente sous la forme de larges cristaux prismatiques brun-rouges. Il détone violemment à 100°.

§ 6. — NITROPHÉNOLS BIVALENTS ET TRIVALENTS.

**459. Résorcine.** —

La résorcine est un phénol divalent :  $C^6H^4(OH)^2$ .

Elle se retire de différentes résines.

**460. Nitrorésorcine.** —  $C^6H^3(AzO^2)(OH)^2$ .

Elle s'obtient par l'action de l'acide nitrique sur la résorcine.

**461. Trinitrorésorcine** ou **acide oxypicrique.** —  $C^6H(AzO^2)^3(OH)^2$ .

On dissout 1 partie de résorcine dans 1 partie d'eau bouillante; on laisse refroidir à 50° c., puis on verse 5 parties d'acide azotique ( $d = 1,45$ ) froid; on verse la solution azotique dans 20 parties d'acide sulfurique froid et, après 20 minutes, on précipite par l'eau glacée. On purifie par cristallisation dans l'eau bouillante.

On peut aussi simplement traiter la résorcine par l'acide sulfonitrique froid.

L'acide oxypicrique est un corps jaune qui cristallise en prismes hexagonaux solubles dans l'eau, l'alcool et l'éther.

**462. Oxypicrates.** — L'acide oxypicrique donne un grand nombre d'oxypicrates qui sont explosifs.

*Dérivés nitrés de la phloroglucine.*

**463.** — La phloroglucine est un phénol trivalent :  $C^6H^3(OH)^3$ .

Elle est isomère de l'acide pyrogallique et se retire surtout de l'écorce du pommier.

**464. Trinitrophloroglucine.** —  $C^6(AzO^2)^3(OH)^3$ .

Elle s'obtient par l'action de la phloroglucine sur l'acide sulfonitrique. Ce sont des prismes hexagonaux pyramidés, très solubles dans l'eau chaude, l'alcool et l'éther; ils fondent à  $158^\circ$  et détonent un peu au-dessus.

Ce corps forme des sels explosifs; nous citerons, par exemple, les sels potassiques :

$C^6(AzO^2)^3(OK)^3$  sel neutre.

$C^6(AzO^2)^3(OK)^2OH$  sel dipotassique.

$C^6(AzO^2)^3(OK)(OH)^2$  sel monopotassique.

## CHAPITRE IV.

### TOLUÈNE ET SES DÉRIVÉS.

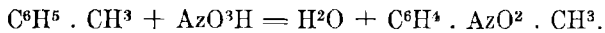
#### § 1. — TOLUÈNE.

**465.** — C'est le carbure qui suit la benzine dans la série des carbures aromatiques. La formule est  $C^7H^8 = C^6H^5 . CH^3$  (méthyl-benzine). On l'obtient par la distillation fractionnée des huiles légères du goudron de houille.

C'est un liquide ressemblant beaucoup à la benzine; il bout à  $110^\circ$ ; sa densité est égale à 0,882 à  $5^\circ$ ; insoluble dans l'eau, il brûle avec une flamme éclairante très fuligineuse.

L'acide nitrique attaque le toluène et donne des dérivés mono, bi, dinitrés, suivant la concentration de l'acide, la température, etc.

La substitution se fait toujours dans le noyau benzinique :



#### *Mononitrotoluène.*

**466.** — *Formule* :  $C^6H^4 . AzO^2 . CH^3$ .

Il y a en réalité trois mononitrotoluènes isomères :

1° L'orthonitrotoluène (1,2)  $C^6H^4 . (AzO^2)_{(2)} . CH^3$ ;

2° Le méτανitrotoluène (1,3)  $C^6H^4 . (AzO^2)_{(3)} . CH^3$ ;

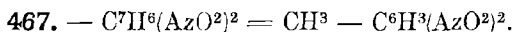
3° Le paranitrotoluène (1,4)  $C^6H^4 . (AzO^2)_{(4)} . CH^3$ .

Ils se forment en même temps par l'action de l'acide azotique d'une densité de 1,5 à froid sur le toluène. L'acide à 1,42 n'attaque

pas le toluène à froid. On mélange 1 partie de toluène avec 1,5 parties d'acide nitrique en versant le premier dans le second; on agite et on maintient la température sous + 15°. Il se forme surtout l'orthonitrotoluène. Au bout de dix heures on verse dans l'eau. Il se sépare une huile ayant l'odeur de la nitrobenzine, on peut par des distillations fractionnées, extraire de cette huile l'orthonitrotoluène pur.

Si l'on introduit 1 partie de toluène dans 3 à 4 parties d'acide nitrique à 1,5, chauffé à 30° c., on obtient une huile jaune contenant surtout du paranitrotoluène. L'huile soumise à des distillations fractionnées, les portions qui passent au-dessus de 225°, laissent déposer par le refroidissement des cristaux de paranitrotoluène.

*Dinitrotoluène.*

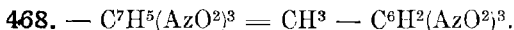


On attaque le toluène par l'acide sulfo-nitrique.

C'est un corps solide, cristallisé en aiguilles, fusible à 71°, bouillant à 300° en se décomposant en partie, insoluble dans l'eau.

Dans cette fabrication il y a en réalité trois dinitrotoluènes ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) isomères.

*Trinitrotoluène.*

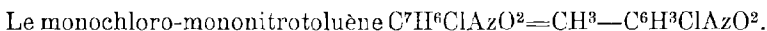


On maintient le dinitrotoluène en ébullition pendant plusieurs jours avec le mélange sulfo-nitrique.

C'est un corps solide incolore, fusible à 82°, soluble dans l'alcool et l'éther.

*Dérivés chloronitrés du toluène.*

Nous citerons :



Le dichloro-nitrotoluène  $C^7H^5Cl^2AzO^2 = CH^3 - C^6H^2Cl^2AzO^2, etc.,$  comme la benzine.

*Dérivés bromo-nitrés.*

**469.** — Analogues aux précédents.

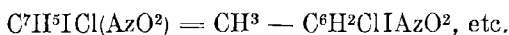


*Dérivés iodonitrés.*

470. — Analogues aux précédents.

*Dérivés iodochloronitrés.*

471. — Monoiodo-monochloro-mononitro-toluène.



*Dérivés bromoiodonitrés.*

472. — Nitrobromoiodotoluène. —  $C^7H^5BrIAzO^2$ .

§ 2. — PHÉNOL TOLUIDIQUE ET DÉRIVÉS NITRÉS.

473. — *Synonymes* : Crésylol, phénol crésylique.

*Composition* :  $C^7H^7 \cdot OH$ .

*Préparation.* — On l'extrait des créosotes de goudron de houille, on l'isole des portions distillant entre 200° et 210°.

C'est un liquide incolore, réfringent, ayant une odeur de créosote.

*Dérivés nitrés du crésylol.*

474. — Nous citerons :

L'acide mononitrocrésylique  $C^7H^6(AzO^2)OH$ .

„ binitrocrésylique  $C^7H^5(AzO^2)^2OH$ .

„ trinitrocrésylique  $C^7H^4(AzO^2)^3OH$ .

*Acide trinitrocrésylique et ses sels.*

475. — *Synonyme* : Trinitrocrésol.  $C^7H^4(AzO^2)^3OH$ .

On forme d'abord l'acide sulfocrésylique qu'on chauffe ensuite avec de l'acide nitrique concentré. (La préparation est tout à fait analogue à celle de l'acide picrique.)

*Propriétés.* — C'est un corps solide jaune, cristallisé en aiguilles, peu soluble dans l'eau froide ( $\frac{1}{449}$ ), plus dans l'eau bouillante ( $\frac{1}{123}$ ), soluble dans l'alcool et l'éther. Teint bien la soie et la laine. Il fond

vers 100° en une huile jaune, qui cristallise par le froid. Chauffé, il déflagre comme l'acide picrique.

**476. Sel de potassium.** —  $C^7H^4(AzO^2)^3OK$ .

On sature le trinitrocrésol par un sel de potassium.

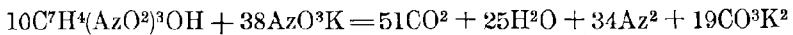
Ce corps se présente en petites aiguilles, très solubles, qui détonent par la chaleur.

**Sel d'ammonium.** —  $C^7H^4(AzO^2)^3O \cdot AzH^4$ .

Il cristallise en petites aiguilles, solubles dans l'eau. Il détone par la chaleur.

*Poudre à l'acide crésylique nitraté.*

**477.** — *Formule de combustion totale :*



Ce qui donne :

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| Acide crésylique. . . . . | 2430  |
| Salpêtre . . . . .        | 3838. |

Soit pour 1 kilogramme :

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Acide crésylique. . . . . | 334. |
| Salpêtre . . . . .        | 666. |

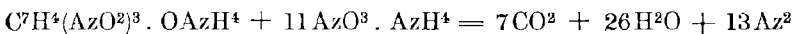
L'acide crésylique et les crésylates peuvent être mélangés avec des nitrates et des chlorates et donner une grande variété de poudres très violentes.

L'acide trinitrocrésylique peut donner, avec le nitrate d'ammonium, une poudre sans fumée.

La formule de combustion totale est :



Il en est de même du crésylate d'ammonium :



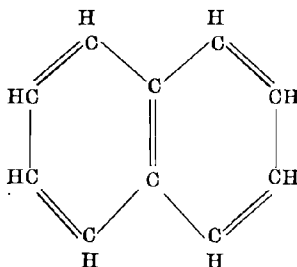
**478. Crésylite.** — C'est l'acide trinitrocrésylique fondu : en usage dans les torpilles. On le manie exactement comme l'acide picrique. On l'obtient impur en traitant la créosote par l'acide sulfo-nitrique.

## CHAPITRE V.

### NAPHTALINE ET SES DÉRIVÉS NITRÉS.

#### § 1. — NAPHTALINE.

479. — Cet hydrocarbure a pour formule :  $C^{10}H^8$ ; on le considère comme formé par la soudure de deux noyaux de benzine, ayant en commun deux atomes de carbone à double soudure.



On l'obtient dans la distillation du goudron de houille; on recueille à part les parties riches en naphthaline, qui distillent entre  $180^{\circ}$  et  $220^{\circ}$ . L'industrie prépare une grande quantité de naphthaline.

C'est un corps solide, blanc, d'une odeur persistante désagréable, goudronneuse; elle se présente en lamelles brillantes. Elle fond à  $79^{\circ}$ , bout à  $220^{\circ}$ .

Elle brûle avec une flamme excessivement fuligineuse. Elle est insoluble dans l'eau froide, très soluble dans l'alcool et l'éther.

La naphthaline sert de matière première à la fabrication de nombreuses couleurs pour la teinture.

*Dérivés nitrés de la naphthaline.*

**480. Mononitronaphtaline.** —  $C^{10}H^7(AzO^2)$ .

On introduit, dans un ballon de 8 litres, 1 kilogramme de naphthaline avec 5 kilogrammes d'acide nitrique du commerce (1,40), on chauffe à 100° au bain-marie. La naphthaline fond, surnage d'abord le liquide, puis devient plus dense et gagne le fond. Au bout d'une demi-heure, l'opération est finie. Dans l'industrie, au lieu de traiter le mélange de naphthaline et d'acide nitrique à chaud, on l'abandonne dans des pots en grès pendant 4 à 5 jours. On décante, et la partie huileuse est jetée dans l'eau froide, où elle se fige. On lave bien à l'eau tiède jusqu'à neutralisation.

*Propriétés.* — C'est un corps solide, cristallisant en prismes à 6 faces terminés par des pyramides aiguës, d'une couleur jaune de soufre. Il fond à 58° sans se décomposer; par une chauffe rapide, il se décompose brusquement.

La nitronaphtaline est neutre, insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool, l'éther.

Densité : 1,341.

**481. Binitronaphtaline.** —  $C^{10}H^6(AzO^2)^2$ .

On fait un mélange de 1 partie d'acide azotique et de 2 parties d'acide sulfurique, les acides concentrés; on ajoute, à 4 parties de ce mélange, 1 partie de naphthaline; on chauffe à 65° c. L'opération est terminée en une heure. On lave à l'eau, on sèche et on pulvérise.

On peut aussi ajouter de la mononitronaphtaline (1 partie) à de l'acide azotique (50° B) (4 parties) froid; elle s'y délite et se prend en une masse cristalline homogène. Il faut éviter un trop grand échauffement. On lave à l'eau.

Il existe, en réalité, trois binitronaphtalines isomères.

*Propriétés.* — C'est un corps solide, fusible à 185°, très peu soluble dans l'éther et dans l'alcool, bien soluble dans l'essence de térébenthine. Il se dissout dans l'alcool ammoniacal en le colorant en rouge.

**482. Trinitronaphtaline.** —  $C^{10}H^5(AzO^2)^3$ .

Il y a plusieurs isomères.

On traite la binitronaphtaline par de l'acide azotique concentré bouillant, pendant plusieurs jours.

C'est un corps solide, fondant à 214°; très peu soluble dans l'alcool et l'éther.

**483. Tétranitronaphtaline.** —  $C^{10}H^4(AzO^2)^4$ .

On connaît deux isomères.

On fait bouillir, pendant plusieurs heures, 1 partie de dinitronaphtaline avec un mélange de 10 parties d'acide azotique et de 10 parties d'acide sulfurique fumant. On précipite par l'eau et on fait cristalliser dans de l'acide acétique glacial.

Ce corps est en aiguilles très longues, minces, flexibles, fusibles à 220°.

## § 2. — PHÉNOLS NAPHTALIQUES NITRÉS.

**484. Phénol naphtalique**  $C^{10}H^7$ . OH ou **naphtol.** —

Griess, le premier, signala le phénol naphtalique. Il l'obtient en soumettant à l'action de l'eau bouillante l'azotate de diazonaphtol :



Il donne :

**485. Le nitronaphtol.** —  $C^{10}H^6(AzO^2)OH$ .

**Le binitronaphtol.** —  $C^{10}H^5(AzO^2)^2OH$ , c'est une belle couleur jaune d'or, qui teint la laine et la soie sans mordant.

**Le trinitronaphtol.** —  $C^{10}H^4(AzO^2)^3OH$ .

Ces naphtols nitrés fournissent des sels qui constituent des matières colorantes d'une grande valeur.

### *Dérivés chloro, iodo, bromonitrés de la naphthaline.*

**486.** — Ils sont très nombreux; nous nous contentons de constater leur existence.

## CHAPITRE VI.

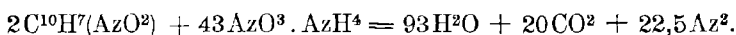
### POUDRES A BASE D'HYDROCARBURES NITRÉS. — EXPLOSIFS FAVIER.

**437.** — Ce sont des mélanges de mononitronaphtaline, de binitronaphtaline avec du nitrate d'ammonium ou de sodium.

Voici quelques mélanges proposés par M. Favier :

|    |   |                               |      |
|----|---|-------------------------------|------|
| 1° | { | Nitrate d'ammoniaque. . . . . | 94   |
|    | { | Naphtaline . . . . .          | 6    |
| 2° | { | Nitrate d'ammoniaque. . . . . | 90   |
|    | { | Mononitronaphtaline . . . . . | 10   |
| 3° | { | Nitrate d'ammoniaque. . . . . | 87,5 |
|    | { | Binitronaphtaline . . . . .   | 12,5 |
| 4° | { | Nitrate de sodium . . . . .   | 72   |
|    | { | Binitrobenzine . . . . .      | 28   |
| 5° | { | Naphtaline . . . . .          | 11   |
|    | { | Nitrate de sodium . . . . .   | 89   |

La formule de la combustion complète avec le nitrate d'ammonium est :



Ce qui donne :

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Mononitronaphtaline. . . . . | 9,14  |
| Nitrate d'ammonium. . . . .  | 90,86 |

M. Favier fait usage d'un hydrocarbure faiblement nitré qui n'est pas explosif par lui-même, ce qui fait que son mélange avec un nitrate donne un explosif d'une grande sécurité de maniement.

**438. Fabrication des explosifs Favier, à l'usine de Vilvorde.**

— 1° *Dessiccation du nitrate d'ammonium.* — Le nitrate est versé

au moyen d'une trémie dans deux augets métalliques inclinés, dans lesquels se meuvent deux vis d'Archimède. Les augets sont logés dans un caniveau en maçonnerie et chauffés par des tubes à ailettes dans lesquels circulent de la vapeur d'eau. Les vis entraînent les sels d'un bout à l'autre des augets, la circulation dure deux heures à la température de 80° c.

Le nitrate est immédiatement porté sur la piste d'un broyeur à table tournante; cette piste est chauffée par une circulation de vapeur d'eau. Le broyage se fait au moyen de deux meules en fonte, une parfaitement cylindrique, l'autre cannelée. Leur poids est de 700 à 800 kilogrammes.

Lorsque le nitrate est parfaitement broyé, on ajoute la binitro-naphtaline, et le malaxage dure environ deux heures.

La matière est alors comprimée sous la forme d'un cylindre creux; l'appareil de compression est lui-même chauffé. Les cartouches sont de suite plongées dans de la paraffine fondue; le creux est chargé du détonateur qui est composé de la matière pulvérulente. Ce détonateur peut être une dynamite à faible teneur de nitroglycérine et de coton-poudre. Les deux côtés de la cartouche sont fermés au moyen de deux petits disques de fer blanc, l'un est plein, l'autre est muni d'une ouverture par laquelle on fait passer la capsule d'amorce.

Finalement la cartouche est recouverte d'une enveloppe de papier, et on paraffine une dernière fois. Densité 1,6.

**489. Propriétés.** — Cet explosif est remarquable par la sécurité de son maniement. Nous avons eu l'occasion d'assister à des expériences curieuses faites en 1888 dans les carrières de Lessines.

Les cartouches peuvent être jetées dans un foyer ardent sans détoner; elles brûlent avec flamme. On peut les traverser par un fer rouge, il y a dégagement de flammes qui cessent dès que le fer est retiré.

La matière résiste au choc du marteau sur une enclume, d'un mouton pesant tombant d'une grande élévation, au choc des balles d'un fusil de guerre à bout portant.

Les cartouches ont été placées sur des rails et écrasées par le passage de wagons lourdement chargés. Des caisses ont été projetées d'une hauteur de plus de soixante mètres sur le sol pierreux.

Une cartouche mise à l'air libre a été amorcée au moyen d'une capsule au fulminate de mercure, la capsule seule détone en dispersant la matière.

Cet explosif est donc à l'air libre d'une inertie absolue au choc et à la chaleur.

Son explosion ne peut être obtenue que lorsqu'il se trouve enfermé en un vase clos d'une grande solidité; il développe alors une force comparable à celle des explosifs les plus énergiques. En fait, elle se rapproche de celle du coton-poudre et de la dynamite. Pour l'amorçage, on enfonce une mèche dans la capsule en pinçant celle-ci comme nous l'avons indiqué précédemment, on pousse ensuite la capsule dans la cartouche de façon à la noyer dans la matière pulvérulente. A l'aide du bourroir on pousse au fond du trou de mine; on bourre bien serré, à l'argile ou au plâtre, et on met le feu à la mèche.

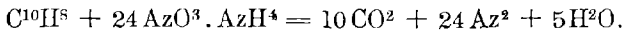
L'innocuité au choc désigne cette matière pour le chargement des projectiles creux, des torpilles, etc.

L'emploi du nitrate d'ammonium et du nitrate de sodium rend le mélange extrêmement hygroscopique.

La facilité à la détonation est fonction du peu de densité de la matière comprimée; on peut donner une compression telle, que la cartouche éclate à l'air libre comme la dynamite ou le coton-poudre.

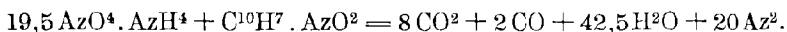
**490.** — Les données relatives à la force des divers mélanges Favier sont :

1° Mélange de 94 parties de nitrate d'ammonium et 6 parties de naphthaline :



| $\omega$ | $Q_{mv}$ | $Q_{kv}$ | t     | f    | $\alpha$ |
|----------|----------|----------|-------|------|----------|
| 2048     | 1928,8   | 941,8    | 2075° | 8327 | 0,937.   |

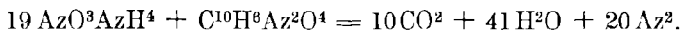
2° Mélange de 90 parties d'azotate d'ammonium et 10 parties de mononitronaphtaline :



| $\omega$ | $Q_{mv}$ | $Q_{kv}$ | t     | f    | $\alpha$ |
|----------|----------|----------|-------|------|----------|
| 1688     | 1618,7   | 959,6    | 2180° | 8898 | 0,958.   |

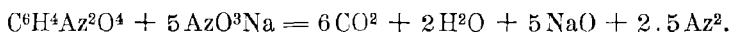


3° Mélange de 87,5 parties d'azotate d'ammonium et de 12,5 parties de binitronaphtaline :



| $\omega$ | $Q_{mv}$ | $Q_{kv}$ | t    | f    | $\alpha$ |
|----------|----------|----------|------|------|----------|
| 1738     | 1701,8   | 979      | 2163 | 8405 | 0,912.   |

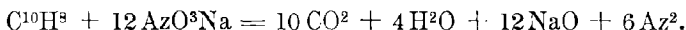
4° Mélange de 72 parties de nitrate de soude et 28 parties de binitrobenzine :



| $\omega$ | $Q_{mv}$ | $Q_{kv}$ | t    | f    | $\alpha$ |
|----------|----------|----------|------|------|----------|
| 593      | 370,9    | 625,5    | 2060 | 3489 | 0,395.   |

Ce mélange est moins énergétique.

5° Mélange de 10 parties de naphthaline et 89 parties de nitrate de soude :



| $\omega$ | $Q_{mv}$ | $Q_{kv}$ | t    | f    | $\alpha$ |
|----------|----------|----------|------|------|----------|
| 1148     | 483,2    | 420,9    | 1470 | 2565 | 0,388.   |

Il est encore moins énergétique.

Pour le sautage des mines, on calcule aisément les charges en se basant sur les proportions suivantes :

1° Pour 1 de dynamite n° 1 prendre 1 d'explosif Favier.

2° " 1 de poudre comprimée prendre  $\frac{1}{3}$  à  $\frac{1}{2}$  id.

3° " 1 de poudre en grains prendre  $\frac{1}{4}$  à  $\frac{1}{3}$  id.

**491. Bellite.** — Elle est due à Karl Lamm, de Stockholm.

C'est un mélange de :

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| Nitrate d'ammonium. . . . . | 1   |
| Nitrobenzine . . . . .      | 1,9 |

Ou bien :

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Nitrate d'ammonium. . . . . | 1    |
| Binitrobenzine. . . . .     | 2,57 |

Lamm donne :

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Azotate d'ammonium . . . . . | 80 |
| Binitrobenzine. . . . .      | 20 |

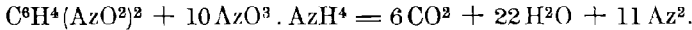
Ce mélange détone complètement en vase clos; à l'air libre, il détone incomplètement avec une capsule de 1<sup>re</sup>5 de fulminate.

Ou encore :

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Nitrate d'ammonium. . . . .  | 1    |
| Trinitronaphtaline . . . . . | 2,57 |

Les mélanges s'opèrent dans des malaxeurs chauffés jusqu'au point de fusion de l'hydrocarbure nitré et avant refroidissement on moule en cartouches.

La formule de combustion complète est, par exemple, avec la binitrobenzine :



Ce qui donne comme proportions théoriques :

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Binitrobenzine. . . . .     | 1,68 |
| Nitrate d'ammonium. . . . . | 8,00 |

Cette formule donne pour les éléments de la force de ce mélange :

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| $\omega$ = 968   | W = 428060       |
| $Q_{mp}$ = 952,7 | $V_k$ = 899,25   |
| $Q_{mv}$ = 975   | $t$ = 2220°      |
| $Q_{kp}$ = 984   | $f$ = 8533,9     |
| $Q_{kv}$ = 1007  | $\alpha$ = 0,899 |

**Romite** (Sjoberg, de Stockholm). — C'est un mélange de nitrate et de carbonate d'ammonium, de nitronaphtaline, de paraffine et de chlorate de potassium.

**Roburite** (de Roth). — Ce sont des mélanges de naphtaline nitrée et de chlorate de potassium ou bien de produits chloronitrés obtenus en traitant le goudron par l'acide nitrique et l'acide chlorhydrique et additionnés de nitrates :

1° Une partie de naphthaline est chauffée avec 5 parties d'azotate de sodium et 6 parties d'acide sulfurique ; on ajoute 0,8 de chlorate de potassium, puis graduellement de l'acide chlorhydrique (5 parties), on chauffe le tout au bain-marie.

2° On mêle graduellement 5 p. de goudron avec 15 parties d'acide azotique ( $D = 1,5$ ) et 12 p. d'acide chlorhydrique ; on chauffe ensuite doucement et le mélange pâteux est additionné de 5 p. de nitrate de potassium et de 15 parties d'acide sulfurique.

**Sécurité** (F. Schoenewegg). — On dessèche à  $80^{\circ}$  c. une solution de nitrate d'ammonium avec des oxalates d'ammonium ou de potassium en mélangeant avec 10 parties de nitrobenzine ou 20 parties de binitrobenzine.

**Carbonite.** — C'est un mélange de Kieselguhr et de nitrobenzine avec des sels oxydants.

## CHAPITRE VII.

### DÉRIVÉS NITRÉS DE L'ACIDE BENZOÏQUE.

**492.** — L'acide benzoïque  $C^7H^6O^2 = C^6H^5CO.OH$  est extrait du benjoin par distillation sèche ou des urines putréfiées des herbivores.

*L'acide mononitrobenzoïque*  $C^6H^4(AzO^2)CO.OH$  se fabrique comme suit : on mélange 2 parties d'acide sulfurique et 1 partie d'acide azotique à leur maximum de concentration, on y introduit peu à peu de l'acide benzoïque, puis on chauffe pendant une  $\frac{1}{2}$  heure. On jette dans de l'eau froide.

On obtient une masse grenue formée de petits cristaux incolores. L'acide nitrobenzoïque est peu soluble dans l'eau froide, plus soluble dans l'eau chaude, très soluble dans l'alcool et l'éther. Il fond à  $127^\circ$ .

La chaleur de formation est de 63 calories pour 167 grammes.

La chaleur de combustion totale vaut 761,5 calories pour 167 gr. soit 3772 calories par kilogramme.

**493. Nitrobenzoates.** — L'acide nitrobenzoïque est un acide énergique. Les nitrobenzoates sont généralement cristallisables, solubles dans l'eau. Ils se décomposent avec explosion.

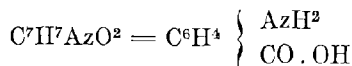
**494. Acide binitrobenzoïque.** —  $C^6H^3(AzO^2)_2CO.OH$ .

Il se fabrique par l'action de l'acide sulfo-nitrique sur l'acide benzoïque fondu.

Il donne naissance à de nombreux binitrobenzoates.

#### *Acide diazobenzoïque.*

**495.** — Il provient de l'acide amidobenzoïque.



On obtient l'acide amidobenzoïque en saturant d'hydrogène sulfuré et d'ammoniaque une solution alcoolique d'acide nitrobenzoïque, on fait bouillir.

Le liquide verdit, se trouble, redevient limpide après précipitation de soufre. On décante, on concentre jusqu'à consistance sirupeuse et on acidifie par l'acide acétique concentré. L'acide amidobenzoïque se précipite; on dissout dans l'eau bouillante et on filtre sur du charbon animal.

*Acide diazoamidobenzoïque.*

496. —  $C^{14}H^{11}Az^3O^4$ .

Dans une solution alcoolique froide d'acide amidobenzoïque on fait barboter un courant d'acide azoteux.

On obtient une poudre cristalline jaune orange.

*Azotate d'acide diazobenzoïque.*

497. —  $C^7H^4Az^2O^2$ ,  $AzO^3H$ .

On dirige un courant d'acide azoteux dans une solution aqueuse ou alcoolique d'acide amidobenzoïque contenant de l'acide nitrique.

*Acide diazobenzoïque.*

On traite l'azotate d'acide diazobenzoïque par les alcalis. Il se sépare de l'acide diazobenzoïque. Ce corps est jaune, instable; il se décompose avec violence par la chaleur.



# SIXIÈME PARTIE.

Explosifs divers.

# CHAPITRE I.

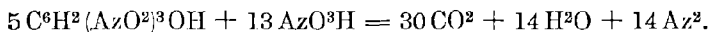
## EXPLOSIFS ACIDES DE SPRENGEL.

**498.** — Au lieu de *combiner* l'acide nitrique avec des corps organiques ou autres, Hermann Sprengel a proposé de *mélanger* simplement de l'acide nitrique monohydraté avec des substances combustibles. Il faut faire usage d'acide fumant rouge, l'acide blanc, d'après les observations de M. Turpin, ne donnant pas d'explosif.

Ces mélanges, qui peuvent se faire au moment de l'emploi, détonent par une forte capsule au fulminate de mercure; ils ne sont naturellement pas très nombreux, puisqu'il faut éliminer toutes les matières organiques attaquables par l'acide nitrique; celui-ci enflamme la plupart des matières combustibles non nitrifiées.

On peut employer, entr'autres, tous les dérivés nitrés de la série aromatique. Soit, par exemple, le mélange acide picrique et acide nitrique.

**499. Mélange acide picrique et acide nitrique.** — La formule de combustion totale est :



Le calcul donne :

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Acide picrique. . . . .  | 583 |
| Acide azotique . . . . . | 417 |

*Force du mélange :*

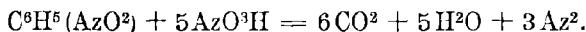
D'après l'équation précédente on a :

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| $\omega = 1964$   | $V_m = 1294,56$   |
| $Q_{mp} = 2848,5$ | $V_k = 659,14$    |
| $Q_{mv} = 2881,6$ | $t = 3284$        |
| $Q_{kp} = 1450,3$ | $f = 8909$        |
| $Q_{kv} = 1467,2$ | $\alpha = 0,659.$ |
| $W = 623650$      |                   |



La force de ce mélange se rapproche de très près de celle de la nitroglycérine.

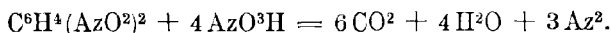
**500. Mélange mononitrobenzine et acide azotique. —**



Soit :

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Nitrobenzine . . . . .   | 281 |
| Acide azotique . . . . . | 719 |

*Acide azotique et binitrobenzine.*



Soit :

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Binitrobenzine . . . . . | 400   |
| Acide nitrique . . . . . | 600   |
|                          | <hr/> |
|                          | 1000  |

Tous ces mélanges constituent des matières explosives extrêmement énergiques.

*Hellhoffite.*

**501.** — C'est un mélange de binitrobenzine et d'acide nitrique fumant rouge. La binitrobenzine est mêlée à une fois et demie ou deux fois son poids d'acide azotique. C'est un liquide brun rouge dégageant des vapeurs acides. Il exige pour détoner des amorces très fortes contenant au moins un gramme de fulminate. L'explosif se met dans une enveloppe en verre.

*Hellhoffite-guhr.*

L'emploi d'un liquide acide comme celui qui constitue la Hellhoffite est incommode. On a imaginé de le faire absorber par du kieselguhr; ce mélange ne se fait que peu de temps avant l'emploi. L'explosif est introduit dans une enveloppe en plomb mince.

## CHAPITRE II.

### PANCLASTITES DE TURPIN.

(Panclastites =  $\pi\alpha\nu$  = tout, brise-tout.)

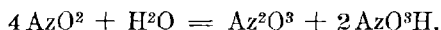
M. Turpin en 1881 a proposé des mélanges de peroxyde d'azote ( $AzO^2$ ) avec des substances combustibles inattaquables par ce corps.

**502. Peroxyde d'azote ou anhydride hypoazotique.** —  $AzO^2$ .

Ce corps se prépare en calcinant le nitrate de plomb; celui-ci doit être préalablement débarrassé de son eau d'interposition en le pulvérisant et en le calcinant légèrement.

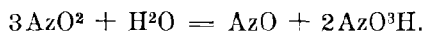
Le nitrate de plomb est versé dans une cornue de porcelaine ou de terre, à laquelle on adapte un tube en U plongé dans un mélange réfrigérant. Le peroxyde d'azote se condense. Quelquefois le liquide est vert ou bleu : cela provient de la présence de l'eau.

Le peroxyde d'azote est un liquide rougeâtre, qui bout à  $22^\circ$  et se solidifie à  $-9^\circ$  c. Il est décomposé par une petite quantité d'eau en acide azotique et en anhydride azoteux qui le colore en vert puis en bleu :



C'est cette coloration qui apparaît quand la nitroglycérine et le coton-poudre humides se décomposent spontanément; il faut se hâter de les détruire.

Une plus grande quantité le décompose en acide azotique et bioxyde d'azote avec effervescence :



C'est un corps doué de propriétés oxydantes très énergiques; il est décomposé par tous les corps réducteurs, il est très corrosif et détruit

la peau en la colorant en jaune; il produit une inflammation très vive des organes de la respiration et peut même provoquer la mort; il n'attaque pas le fer, le cuivre, l'étain à la température ordinaire.

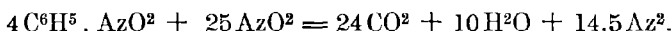
Il dissout le pétrole, le sulfure de carbone, la nitrobenzine, sans élévation de température.

Sa densité à l'état liquide est égale à 1,42, à l'état gazeux 1,72. Chaleur de formation + 1,7 liquide; — 2,6 gazeux; on voit que la combinaison de Az + O<sup>2</sup> se fait avec perte de peu d'énergie et le peroxyde représente, à ce point de vue, presque de l'oxygène liquide.

*Panclastites diverses.*

503. — Les mélanges de peroxyde d'azote et de substances combustibles ne détonent pas directement, mais ils le font sous l'influence de la détonation d'une capsule au fulminate de mercure. Le choix des substances combustibles est encore limité par la condition qu'ils ne soient pas attaqués par le peroxyde d'azote.

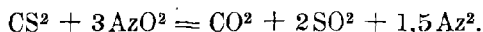
504. 1<sup>o</sup> **Mélange de peroxyde d'azote et de nitrobenzine liquide.** —



Ce qui donne les proportions :

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Mononitrobenzine . . . . . | 1   |
| Peroxyde d'azote . . . . . | 2,3 |

505. 2<sup>o</sup> **Mélange de peroxyde d'azote et de sulfure de carbone.**



Ce qui donne les proportions :

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Sulfure de carbone . . . . . | 1    |
| Peroxyde d'azote . . . . .   | 1,81 |

*Force du mélange :*

|                     |                  |
|---------------------|------------------|
| $\omega = 214$      | $V_m = 100^440$  |
| $Q_{mp} = 219,6$    | $V_k = 469,345$  |
| $Q_{mv} = 222,175$  | $t = 3354^\circ$ |
| $Q_{kp} = 1026,168$ | $f = 6455$       |
| $Q_{kv} = 1038,200$ | $\alpha = 0,469$ |
| $W = 441235$        |                  |

Ce mélange a des propriétés Brisantes comparables à celles de la nitroglycérine et supérieures à celles de la dynamite à 75 %. Il détone aussi facilement que la nitroglycérine, ce qui fait qu'on ne saurait l'employer dans les arts militaires.

**506.** — On a donné plusieurs autres compositions de panclastites :

- 1 volume de sulfure de carbone + 1 volume de peroxyde d'azote.
- 2 " " " + 1 " " "
- 3 " " " + 5 " " "
- 1 " d'essence de pétrole + 1 "  $AzO^2 + \frac{1}{10}$  volume  $CS^2$ .
- 2 " " " + 1 "  $AzO^2 + \frac{1}{10}$  volume  $CS^2$ .

Les panclastites au pétrole offrent une grande résistance au choc.

Le mélange d'essence de pétrole et de peroxyde d'azote ne détone sûrement que lorsqu'on y ajoute un peu de sulfure de carbone.

En fait, les panclastites équivalent comme force aux explosifs les plus énergiques. Le mélange des matières se fait avec une sécurité relative et sans élévation de température; mais il y a lieu de signaler les dangers de manipulation des matières inflammables et délétères dont les panclastites sont composés.

**507. Usages des panclastites.** — On en a proposé l'usage pour le chargement des obus-torpilles et des études approfondies ont été faites dans ce but en Allemagne.

On introduisait dans l'obus deux vases de verre épais séparés des parois au moyen de cubes en caoutchouc; le culot pouvait se dévisser afin de faciliter la mise en place. Un des vases renfermait le peroxyde d'azote, l'autre le sulfure de carbone; ils étaient scellés à la

lampe. Par le choc au départ, les verres se cassent et par le mouvement de rotation de l'obus le mélange parfait s'opère.

La mise à feu est provoquée, soit par une fusée à temps, soit par une fusée à percussion.

Tant que les liquides ne sont pas mélangés, l'explosif n'existe pas. Le maniement de ces obus n'est pas dangereux, la chute du projectile d'une assez grande hauteur, sur le sol, ne provoque pas la casse des flacons.

On a cependant renoncé en Allemagne à ces obus, à cause du maniement incommode d'un liquide dont les vapeurs sont si corrosives et si dangereuses à respirer.

On peut faire absorber les liquides par des corps solides et obtenir des *panclastites-guhr*.

## CHAPITRE III.

### SUBSTANCES EXPLOSIVES SPÉCIALES.

#### *Composés minéraux explosifs.*

Nous allons examiner quelques substances explosives curieuses et qui, à cause de leur caractère de grande instabilité, de leur extrême sensibilité au choc et à la friction, n'ont pu recevoir des applications militaires et industrielles.

#### *Chlorure d'azote.*

508. — *Formule* :  $\text{AzCl}^3$ .

Le chlorure d'azote est réputé l'un des corps les plus dangereux à manier à cause de la facilité avec laquelle il détone.

*Préparation.* — On remplit de gaz chlore une éprouvette que l'on renverse sur une capsule renfermant une solution concentrée de chlorure d'ammonium; le gaz est peu à peu absorbé et le liquide monte dans l'éprouvette. Il se forme à la surface du liquide de l'éprouvette, des gouttelettes huileuses qui bientôt tombent au fond de la capsule. La réaction se fait surtout bien à 30° c.

On peut aussi agir par voie d'électrolyse. Dans un vase en verre on place une solution saturée de chlorure d'ammonium; on plonge dans le liquide deux lames de platine qui communiquent avec les deux pôles d'une forte pile. Dès que le courant passe, il se forme le long d'une des lames de platine, du chlorure d'azote; afin d'éviter le danger, on recouvre la surface liquide d'une très faible couche d'essence de térébenthine; dès que le chlorure d'azote, entraîné vers le haut par les bulles gazeuses, touche la térébenthine, il éclate.

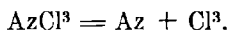
M. V. Meyer désirant montrer les effets violents et cependant sans danger du chlorure d'azote, opère dans un vase et au sein d'un liquide de la manière suivante :

Dans une fiole de verre soufflé, très mince, d'un litre environ, on prépare le chlorure d'azote par l'électrolyse du chlorure d'ammonium. Lorsqu'il s'en est rassemblé une certaine quantité à la surface, on porte la fiole sous une cage en verre à doubles parois, ou verte du côté opposé à l'auditoire et on adapte un bouchon laissant passer un tube plongeur. On met ce tube en relation, par un caoutchouc muni d'une pince, avec un entonnoir renfermant une solution de chlorure d'ammonium, surmontée d'une couche d'essence de térébenthine.

L'opérateur ouvre la pince et se range de côté; au bout de quelque temps, l'essence arrive au contact du chlorure d'azote; la détonation a lieu avec une vive lueur. La fiole est brisée en morceaux de moyenne grosseur; il est bon de la déposer au début de l'expérience dans une capsule de plomb qui reçoit le liquide lors de l'explosion. Tout le chlorure d'azote ne détone pas simultanément; une partie est projetée sur la capsule en sorte que l'explosion principale est suivie pendant une minute environ d'un feu roulant de crépitations secondaires.

L'auteur recommande, lorsqu'on fait détoner une goutte de chlorure d'azote dans une capsule de plomb, de déposer celle-ci non dans une capsule de porcelaine, mais dans une seconde capsule de plomb.

*Propriétés.* — C'est un liquide oléagineux jaune, d'une odeur irritante; il détone avec une violence inouïe au contact de la chaleur (95°), du phosphore, de l'huile d'olive, de l'essence de térébenthine; la lumière vive détermine aussi son explosion. Il se décompose en ses éléments :



Soit 370,4 litres par kilogramme. La chaleur dégagée est mal connue. Ce corps peut être regardé comme le type des explosifs brisants. Les gaz produits par la réaction sont simples, il n'y a donc aucune chaleur absorbée, dans le principe, par le travail de la dissociation, ni aucune chaleur restituée par la recombinaison des corps

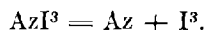
simples séparés. Toute la chaleur produite sert ainsi exclusivement à augmenter le volume gazeux; les pressions vont croître avec une rapidité excessive et elles décroîtront sans que rien ne puisse modérer la chute des pressions; la matière agit dès lors avec une grande brusquerie et l'on comprend que le chlorure d'azote pulvérise tous les corps au contact desquels il fait explosion; cette qualité est encore accentuée par le temps extrêmement court, instantané, que la substance liquide met à se transformer en gaz.

*Iodure d'azote.*

AzI<sup>3</sup>

**509. Préparation.** — Dans un mortier de porcelaine, on introduit de l'iode qu'on pulvérise finement; on ajoute de l'ammoniaque liquide de façon à bien noyer l'iode et on mélange avec le pilon. On abandonne pendant  $\frac{1}{4}$  d'heure. On décante le liquide, on lave le corps solide et on le place par petites portions sur les feuilles de papier à filtrer; celui-ci absorbe l'humidité et la dessiccation se fait spontanément. On peut la hâter en versant sur l'iodure d'azote quelques gouttes d'alcool.

*Propriétés.* — C'est un corps brun, qui étant sec détone avec la plus grande facilité sous l'influence du moindre attouchement; on jette dessus quelques grains de sable et l'explosion se produit avec beaucoup de violence. Il est impossible de le manier à l'état sec et il est même dangereux à l'état humide. Les vapeurs rouge-violacées qu'il dégage sont dues à l'iode mis en liberté :



Il se décompose par la lumière. Si l'on place de l'iodure d'azote dans un petit ballon rempli d'eau, il dégage des bulles d'azote dès qu'il se trouve placé à la lumière blanche. On a proposé cette substance comme actinomètre en photographie; la quantité d'azote dégagée étant proportionnelle à la quantité de lumière, il suffit de mesurer le volume gazeux obtenu en un temps fixe donné.

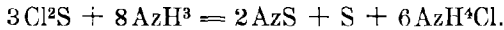
*Sulfure d'azote.*

AzS.

**510. Préparation.** — On fait barboter du gaz ammoniac dans un mélange de : une partie de chlorure de soufre et de 8 à 10 parties



(en volumes) de sulfure de carbone. Il se forme d'abord du chlorure d'ammonium qui se dépose, la liqueur fonce, puis elle redevient jaune orange; on s'arrête, sinon le sulfure d'azote formé se décompose. Le flacon est alors porté à l'ébullition pour dissoudre le sulfure d'azote. On évapore le liquide filtré au bain-marie, on évapore au  $\frac{1}{3}$  et le sulfure d'azote cristallise; en cet état il n'est pas pur, il renferme du soufre et du chlorure d'ammonium; on enlève le premier par des digestions et décantations dans le sulfure de carbone, puis le second par l'eau distillée :



*Propriétés.* — Ce corps se présente en cristaux transparents jaune dorés, insolubles dans l'eau, peu solubles dans l'alcool, l'éther. Le meilleur dissolvant est le sulfure de carbone.

Le sulfure d'azote est stable à la température ordinaire à l'air sec, à l'air humide.

La densité égale 2.22. Chaleur de formation — 32.2 pour une molécule (46 gr.).

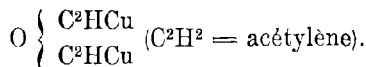
Il détone avec violence sous le choc du marteau; il déflagre à 207°. Il est moins vif que le fulminate de mercure, tant à cause de la densité moindre, que de la durée plus grande de sa décomposition.

Les pressions obtenues par des crushers sont très voisines de celles données par le fulminate de mercure; mais les effets de choc sont moindres.

#### *Acétylure de cuivre.*

511. — L'acétylène donne dans la solution ammoniacale de chlorure cuivreux un précipité rouge-marron; c'est une réaction caractéristique de l'acétylène.

La composition de l'acétylure de cuivre est :



L'acétylure de cuivre détone par le choc, par la chaleur à 100° environ, en présence du chlore, du brome, de l'iode. Le mélange d'acétylure de cuivre et de chlorite de plomb détone au moindre frottement. Le corps est peu stable.

On a signalé des explosions de tuyaux à gaz en cuivre contenant de l'acétylure. Celui-ci provient de l'action de l'acétylène, qui existe toujours dans le gaz d'éclairage, sur le cuivre. Il est donc dangereux de nettoyer sans précaution ces genres de tuyaux.

*Azoture d'argent.*

$\text{Ag}^3\text{Az}^2$ .

**512.** — C'est une poudre noire d'une composition problématique, excessivement explosible, le contact d'une barbe de plume suffit.

Pour le préparer, on fait digérer pendant quelques heures de l'ammoniaque concentrée avec de l'oxyde d'argent fraîchement précipité et humide. On décante et on répartit la poudre humide sur des morceaux de papier buvard ; on laisse sécher spontanément.

*Azoture de mercure.*

$\text{Hg}^3\text{Az}^2$ .

**513.** — On soumet à l'action du gaz ammoniac de l'oxyde de mercure fraîchement précipité et séché ; après saturation à froid on chauffe au bain d'huile à  $130^\circ$ , tout en faisant passer le gaz jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'eau :



On purifie en faisant digérer avec de l'acide azotique étendu et froid ; celui-ci enlève un peu de mercure métallique et d'oxyde de mercure.

C'est une poudre brun-foncé, qui détone avec violence par le choc, le frottement ou la chaleur, l'acide sulfurique.

*Séléniure d'azote.*

**514.** —  $\text{AzSe}^2$ .

C'est une poudre rouge-orange, amorphe, dangereuse à manier. Elle détone par un choc faible ; une goutte d'acide sulfurique lui fait faire explosion, ainsi qu'une température de  $230^\circ$ .

## CHAPITRE IV.

### POUDRES SANS FUMÉE.

**515.** — La fumée, dans l'explosion d'une poudre, est la conséquence de la formation de corps solides. Si l'on envisage le cas de la poudre noire, on peut admettre, que dans les premiers moments de son explosion dans une arme à feu, tous les produits de la réaction sont à l'état gazeux ou dissociés.

La température s'abaisse rapidement par suite de la détente, du contact des parois de l'arme, de l'air atmosphérique; les corps solides se forment instantanément dans un état d'extrême division et sont entraînés dans l'air sous la forme d'un nuage plus ou moins opaque.

Une matière, qui dans le phénomène de l'explosion, n'abandonne aucune substance solide, mais des gaz non condensables à la température ordinaire et dans des conditions atmosphériques spéciales, constituera une poudre sans fumée dans le sens absolu du mot.

Les poudres absolument sans fumée sont extrêmement rares; presque toutes donnent naissance à de la vapeur d'eau, accompagnée de gaz incolores.

Si le temps est sec et chaud, la vapeur d'eau se dissout aussitôt dans l'air et la poudre est sans fumée; si le temps est humide, la vapeur d'eau formera un véritable brouillard. La plupart des poudres, dites sans fumée, en donneront ou n'en donneront pas suivant l'état hygrométrique de l'air.

Nous avons eu l'occasion d'étudier, dans les pages précédentes, un grand nombre de matières explosives sans fumée; la plupart des substitutions nitrées sont dans ce cas.

**516.** — C'est à partir de 1884 que l'on chercha, en France, les moyens de remplacer, dans les canons de tous les calibres, la poudre noire par les explosifs azotés à grande puissance.

Tandis que, depuis très longtemps, la dynamite, le coton-poudre comprimé, etc. étaient employés comme poudres de rupture dans les torpilles, les mines, etc., leur allure brisante avait rendu vaines toutes les tentatives de leur emploi dans les fusils et les canons.

Les poudres sans fumée actuelles sont, pour la plupart, à base de coton-poudre seul ou associé à la nitroglycérine.

Dès l'invention du coton-poudre (1845), on songea à l'appliquer au tir des armes à feu.

À partir de 1846, on institua dans presque tous les pays, de nombreuses expériences de tir au coton-poudre; on constata bien vite la supériorité du produit nouveau sur la poudre noire au point de vue de la diminution de la charge, de l'absence de fumée, de l'encrassement moindre, mais on dut bientôt y renoncer à cause de son action brisante sur les parois de l'arme et des vitesses initiales irrégulières qu'il donnait aux projectiles; cela provenait de la forme physique de l'explosif employé sous forme de fils; cet état, en effet, ne permet pas une densité uniforme et une combustion lente.

Le général Autrichien de Lenck créa même, de 1852 à 1865, des batteries d'artillerie au coton-poudre. Elles furent abandonnées à la suite de l'explosion des magasins de Simmering (1862), qui avait été précédée, dans d'autres pays, d'explosions formidables spontanées, et aussi par la crainte de produire dans les bouches à feu des pressions dangereuses.

Pelouze proposa de carder le coton-poudre avec du coton ordinaire, mais les résultats furent mauvais.

En 1868, on reprit, en Angleterre, les études avec le coton-poudre comprimé d'Abel; les pressions dans les armes à feu rayées furent encore trouvées trop exagérées.

Enfin, en France, en 1884, le laboratoire central des poudres et salpêtres trouva la méthode générale de régler le mode de combustion des explosifs azotés et de l'approprier à une arme de calibre déterminé; elle est fondée sur l'emploi des explosifs sous la forme

colloïdale, que l'on obtient généralement par la dissolution du coton-poudre dans l'éther acétique, l'alcool éthéré, l'acétone.

Les expériences françaises de 1884 permirent d'établir le type de la poudre du fusil modèle 1886 dès l'année 1885 : ce type a permis d'accroître de 100 mètres, pour les mêmes pressions, les vitesses réalisées dans ce fusil avec la poudre noire.

Dans tous les pays, on fit des recherches et des études dans le même sens, et l'on peut dire aujourd'hui, que la poudre noire est définitivement remplacée partout et avantageusement, pour le tir des armes portatives et des bouches à feu, par les nouvelles poudres chimiques.

### **517. Généralités sur la fabrication des poudres sans fumée.**

-- Depuis quelques années de très nombreuses combinaisons ont été essayées, et les inventeurs ont donné libre cours à leur fertile imagination. Partout, on est actuellement d'accord sur ce point, que les poudres sans fumée doivent être à base de coton-poudre pur ou à base de coton-poudre et de nitroglycérine mélangés. La nitroglycérine excite cependant de la méfiance au point de vue de sa conservation indéfinie; aussi, y a-t-il une tendance générale à l'écartier, d'autant plus que sa fabrication et que son maniement dans les différentes opérations de malaxage avec le coton-poudre offrent de graves dangers. La fabrication de la poudre sans fumée à base de coton-poudre pur, au contraire, est exempte de ces défauts; la matière ne saurait faire explosion par le fait des appareils mécaniques bien construits, car elle reste constamment d'une inertie remarquable aux chocs, chose due, soit à son état humide, soit à son état colloïdal. Sa fabrication offre certainement moins de dangers que celle de la poudre noire.

Voici comment généralement on fabrique la poudre à base de nitrocellulose. On mêle à celle-ci, bien séchée et pulvérulente, une petite quantité d'éther acétique pur ou d'acétone; pour le coton-poudre octonitrique, on peut faire usage d'alcool éthéré; la masse blanche pulvérulente se transforme petit à petit, par malaxage, en une matière colloïdale mi-transparente. La masse sera d'autant plus ferme que la quantité de liquide est moindre; si celui-ci est en excès,

la dissolution se fait complètement. Le malaxage se fait mécaniquement dans des appareils hermétiquement clos pour éviter l'évaporation du liquide; les malaxeurs sont assez semblables à ceux employés pour la fabrication du mortier : un cylindre debout, dans lequel se meut un axe vertical armé de bras horizontaux, ou bien une hélice qui se meut dans un cylindre; la disposition des malaxeurs peut du reste varier beaucoup.

La pâte est ensuite laminée à diverses reprises pour lui donner une homogénéité parfaite; elle est enfin grenée.

Pour le grenage, on fait usage d'un grand nombre de méthodes. Dans certaines usines, on lamine la pâte sous la forme de feuilles d'épaisseur donnée, puis on les découpe en petits carrés au moyen d'un emporte-pièce; ailleurs, les feuilles passent dans un laminoir cannelé qui les découpe en bandes ou même du coup, en petits carrés; on refoule aussi la matière plastique dans un cylindre, dont le fond est percé de trous; elle sort sous la forme de fils plus ou moins gros; un couteau coupe tout le faisceau à intervalles rapprochés. Les procédés de grenage peuvent être extrêmement variés.

La grosseur et la forme des grains sont déterminées d'après les principes admis pour la poudre noire, la forme généralement adoptée est la forme des grains plats Castan.

Les grains deviennent durs dès que les dissolvants sont évaporés; ils conservent pendant assez longtemps l'odeur d'éther acétique ou d'acétone. Il est bien certain que, tant que cette odeur persiste, la poudre ne se trouve pas, si on peut le dire, à l'état rassis. Les vitesses données aux projectiles, et les pressions développées dans les armes à feu sont influencées par la présence de ces corps inertes volatils; la poudre ancienne évaporée doit avoir d'autres effets que la poudre fraîche.

On ajoute parfois au mélange coton-poudre et éther acétique ou acétone, des matières destinées à tempérer les pressions : de la résine, de la poix noire (brai), etc.; très souvent aussi, on lisse au graphite.

Cette addition de matières carbonées semble, au premier abord, être irrationnelle; on sait que le coton-poudre est à combustion incomplète et qu'il dégage de l'oxyde de carbone; on peut trans-

former celui-ci en acide carbonique par l'addition d'oxydants; la quantité de chaleur augmente et le potentiel de l'explosif s'accroît. Si cela est désirable dans les trous de mine, cela a un inconvénient très sérieux dans les bouches à feu; celles-ci, au bout d'un nombre peu élevé de coups s'échauffent tellement que le tir doit être interrompu. En ajoutant du carbone au coton-poudre, on provoque un dégagement considérable d'oxyde de carbone et l'on sait que la formation de celui-ci absorbe beaucoup de chaleur; le volume des gaz est un peu augmenté, de sorte qu'il y a une compensation qui se fait au point de vue des pressions et des vitesses initiales, mais cette poudre échauffe beaucoup moins les armes. Sous ce rapport les poudres à combustion complète (coton-poudre et nitroglycérine) sont inférieures.

Nous allons passer en revue quelques poudres sans fumée en usage ou en essai.

*Poudre Vieille.* — Elle est en usage dans l'armée française. Sa composition est tenue secrète. C'est vraisemblablement de la nitrocellulose dissoute dans de l'éther acétique. Elle se présente sous la forme de petits carrés plats, de couleur brunâtre, à odeur d'éther acétique; elle ne remplit pas entièrement la douille de la cartouche. Les charges sont environ le tiers des charges anciennes. L'artillerie française emploie la même poudre, mais à grains plus gros. Poudre sans fumée B. C.

*Blättchen-Pulver.* — Cette poudre analogue à la précédente a été en usage en Allemagne. Lamelles plates de 4 mm. à 10 mm.

*Poudre papier de Wetteren.* — Nitrocellulose et éther acétique; c'est une imitation de la poudre Vieille.

*Poudre Wolf* (Walsrode). — Fulmi-coton en grains à la surface desquels on forme un vernis protecteur au moyen de l'éther acétique.

Les grains sont plats, roux et lisses. Les derniers échantillons sont sans doute obtenus par la méthode générale.

*Poudre Maxim.* — On soumet le coton-poudre à l'action des vapeurs d'éther acétique; quand il est bien imprégné et dans un état de demi ramollissement, on le comprime, on laisse évaporer le dissolvant, puis on granule ou on pulvérise.

*Poudre Troisdorf.* — Nitrocellulose pure; les grains sont plats, roux, graphités. En usage en Suisse.

*Poudre à faible fumée autrichienne* (Major Schwal). — Nitrocellulose pure, grenée et lissée au graphite; grains de 0 mm. 75 pour les fusils. Charge 2 gr. 75; vitesse initiale 600 m. avec la balle de 15 gr. 8; pression 3.000 atmosphères.

*Poudre Libbrecht* (Wetteren). — Nitrocellulose.

Canon de 8 c. 7.

| Charges.             | Vitesse à 25 mètres. | Pressions en atmosphères. |
|----------------------|----------------------|---------------------------|
| 700                  | 442                  | 1348                      |
| 750                  | 514                  | 1784                      |
| 800                  | 550                  | 2273                      |
| 850                  | 569                  | 2536                      |
| 1500 (poudre noire). | 456                  | 2200                      |

Cette poudre a été modifiée et améliorée. (Voir poudre L<sub>3</sub>.)

*Poudre Abel.* — En 1886, sir Frédéric Abel prit un brevet pour une poudre sans fumée (Smokeless powder). C'est un mélange de coton-poudre et de nitrate d'ammonium; on ajoute de l'huile ou de l'essence de pétrole; on pétrit soigneusement et on moule en blocs, prismes ou grains; on chauffe pour éliminer le liquide.

La composition finale est :

|                              |                                     |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Nitrocellulose . . . . .     | 100                                 |
| Nitrate d'ammonium . . . . . | 10 à 25 (élément d'hygroscopicité). |

*Poudre Turpin.* — (Brevet de 1888). C'est de la nitrocellulose dissoute dans un liquide convenable et additionnée de camphre, de paraffine, etc.; pour ralentir la combustion. La matière est comprimée, desséchée et finalement découpée en grains de grosseur convenable.

*Poudre Gaëns.* — (Brevet de 1889).

Voici sa composition :

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Nitrocellulose . . . . .       | 25 |
| Nitrate de potassium . . . . . | 60 |
| Sel ammoniac . . . . .         | 15 |



Ce n'est pas une poudre sans fumée.

*Poudre dynamite Nobel.* — C'est de la gélatine explosive telle que nous l'avons étudiée ou légèrement modifiée. On dissout de la nitrocellulose dans de la nitroglycérine; parfois on y ajoute de l'amidon nitré ou de la nitrodextrine, du camphre, suivant les effets balistiques à obtenir. Quand la proportion de nitroglycérine dépasse  $\frac{2}{3}$ , la matière est visqueuse et ne peut être granulée; si la proportion de coton-poudre dépasse  $\frac{2}{3}$ , la substance est sèche, dure et cassante. Il faut maintenir un juste milieu.

Voici les détails de la fabrication :

On ajoute à une température de 6 à 8° c., une partie de coton-poudre collodion (coton-poudre octonitrique) à 6 ou 8 parties de nitroglycérine. Ce mélange est placé dans un vase dans lequel on peut faire le vide au moyen d'une pompe pneumatique, ce qui permet un contact intime des matières. On exprime ensuite la nitroglycérine au moyen d'une presse ou par la force centrifuge. Le gâteau obtenu est mis en morceaux, qu'on porte à la température de 60 à 90° c., à laquelle la nitroglycérine dissout le collodion; puis on convertit la masse en minces lamelles en maintenant toujours la même température. Plusieurs lamelles sont placées les unes sur les autres et passées au laminoir chaud de façon à obtenir des plaques plus ou moins épaisses. Le produit doit être parfaitement homogène et également transparent partout. L'épaisseur des plaques est réglée suivant la grosseur des grains de poudre à fabriquer; la forme des grains est cubique ou parallépipédique plate.

L'explosif proposé pour les armes à feu est fabriqué comme suit :

On dissout 20 à 30 parties de coton-poudre pulvé dans 100 parties de nitroglycérine et 20 parties de camphre; on ajoute ensuite 100 parties d'amidon nitré à la teneur de 12,5 % d'azote et 200 parties de nitrodextrine à la même teneur d'azote. Le tout est pétri à la température de 60° c., on opère le mélange en faisant passer la pâte entre des rouleaux chauffés; on lamine enfin en feuilles minces et on découpe en morceaux de grosseur convenable.

On peut incorporer à cette pâte, des nitrates, des chlorates, des picrates, etc.

On fait aussi dissoudre 5 parties de camphre dans la nitroglycérine, on ajoute 100 parties de benzine, puis 25 parties de coton-poudre. On évapore à basse température la benzine, et la masse obtenue est divisée en petits cubes.

*Explosif Abel-Dewar.* — Pour fabriquer la poudre Nobel précédente ou la gélatine-explosive, on dissout le coton octonitrique dans la nitroglycérine chauffée à 60° c. Les variétés de coton-poudre plus fortement nitrées ne sont pas solubles dans ce liquide; de plus la stabilité du coton-poudre est d'autant plus grande qu'il est plus nitré; il y aurait donc grand avantage à trouver le moyen de dissoudre le coton-poudre à son maximum de nitration dans la nitroglycérine, au double point de vue de la conservation et de la force du mélange. On arrive à ce but en faisant usage d'agents gélatinisateurs, tels que l'éther acétique, l'acétone.

Voici comment on procède :

On emploie des poids égaux de coton-poudre sec et de nitroglycérine. Celle-ci est mélangée de  $\frac{1}{6}$  de son poids d'éther acétique, puis on incorpore peu à peu le coton-poudre et on le malaxe à froid, ou à la température de 25°, jusqu'à ce que la masse ait pris une consistance gélatineuse épaisse. Le malaxage doit se faire en vase clos pour empêcher la volatilisation de l'éther acétique.

La matière pâteuse est ensuite transformée par laminage en feuilles plus ou moins épaisses qu'on peut grener en cubes, cordons, etc.; l'éther acétique en s'évaporant abandonne une matière de consistance ferme. On peut naturellement faire varier les proportions de fulmicoton et de nitroglycérine; on peut encore ajouter du graphite, du noir de fumée, etc.

*Balistine italienne.* — C'est de la poudre Nobel (gélatine explosive). Mélange à parties égales de coton-poudre et de nitroglycérine.

*Poudre Rothweil* (poudre Nobel modèle 1889).

Il fut fait, au moyen de cette poudre, des essais à Brasschaet (août et septembre 1889).

700 grammes de cette poudre de 4<sup>mm</sup> de côté donnent la même vitesse que 1500 gr. de poudre noire 6-10; la pression est plus faible de 700 atmosphères.

Cette poudre paraît se comporter très régulièrement; à des variations de charges de 10 gr. correspondent des accroissements de vitesse et de pression respectivement égaux à 5 m. et à 25 atm. environ.

La mise à feu par l'étopille réglementaire est défectueuse, elle donne des ratés ou des longs feux; on amorce à la poudre de chasse.

Cette poudre ne produit pas de fumée, ne donne pas d'encrassage; à l'ouverture de la culasse il s'échappe du canon, des vapeurs de peroxyde d'azote.

Après conservation d'un mois la vitesse initiale diminue de 10 mètres

*Cordite Abel.* — En usage en Angleterre.

Les grains ont l'aspect de brins de corde de violon. La cordite est à base de nitroglycérine et de coton-poudre, mais elle diffère de la poudre Nobel en ce que dans sa fabrication on emploie au lieu de coton-poudre soluble, du coton-poudre insoluble à son maximum de nitration. C'est l'explosif Abel-Dewar grené d'une façon spéciale.

On dissout du coton-poudre fort dans de l'éther acétique ou dans de l'acétone; on y ajoute certaines matières destinées à modérer l'explosion : graphite, résines, hydrocarbures solides (brai), huile, graisse, tannin, cellulose, dérivés nitrés des hydrocarbures, etc.; puis la nitroglycérine; on obtient alors un explosif d'une consistance gélatineuse que l'on transforme en filaments d'un diamètre donné.

Voici le détail :

On prend des poids égaux de nitroglycérine et de coton-poudre sec, on commence par ajouter à la nitroglycérine,  $\frac{1}{6}$  de son poids d'éther acétique ou d'acétone, puis on ajoute le coton-poudre et, s'il y a lieu, la substance pulvérulente. Le tout est introduit dans un mélangeur jusqu'à ce que la matière prenne une consistance uniforme ressemblant à une gelée épaisse.

On peut également gélatiniser d'abord le coton-poudre dans le dissolvant et y ajouter ensuite la nitroglycérine.

Lorsque le mélange est bien intime, la masse est chargée dans une machine à comprimer, forcée à travers une matrice et coupée à longueur voulue.

Les bouts ainsi obtenus sont ensuite convertis en fils flexibles au moyen d'une machine analogue à celle qui sert à fabriquer les balles par emboutissage. Elle se compose d'un fort cylindre fixé sur un châssis et dans lequel se meut un piston. Le fond du cylindre est percé d'un petit orifice du diamètre voulu.

Quand on donne la pression, la cordite sort de l'appareil en forme de corde; elle est conduite sur une bobine autour de laquelle elle s'enroule. Dès que l'enroulement est terminé, on porte la bobine dans un séchoir, constitué par un cylindre entouré d'une circulation d'eau chaude ou de vapeur et traversé par un courant d'air continu.

Après séchage, la cordite est prête pour le chargement des cartouches. Cette poudre a la consistance et l'aspect de la corne, elle s'enflamme vers 180°, sa densité est 1,60; elle s'écrase sous le choc du marteau; après plusieurs coups, elle éclate au point touché. Elle se conserve dans l'air humide, même dans l'eau pendant un temps assez long; elle résiste aux températures comprises entre 0° et 93° C.

**Essais faits en Belgique.** — Il a été mis au concours un assez grand nombre de poudres sans fumée. La poudre adoptée provisoirement est la poudre-coton L<sub>3</sub> de Wetteren.

Voici sa composition :

Fulmi-coton fort (n = 11)

mis sous forme colloïdale par un dissolvant volatil.

Laminé en feuilles qui sont découpées en grains plats. La fabrication se fait d'après la méthode générale.

Avec une charge de 2<sup>re</sup>5, la vitesse de la balle de notre fusil Mauser atteint 600 mètres avec une pression de 2000 atmosphères.

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| Densité gravimétrique. . . . .       | 0,680. |
| Densité au mercure. . . . .          | 1,479. |
| Nombre de grains au gramme . . . . . | 842.   |

Pour le canon de 8<sup>re</sup>7 une charge de 1<sup>re</sup>050 donne une vitesse moyenne de 552 mètres avec une pression de 1800 atmosphères.

La poudre noire donne dans ce même canon, avec la charge

réglementaire de 1<sup>45</sup> une vitesse moyenne de 410<sup>m</sup> avec une pression de 1500 atmosphères.

*Poudre pour le tir en blanc.* — Cette poudre est plus brisante que la précédente, et cela dans le but de briser la balle creuse en bois qui ferme la douille de la cartouche en blanc. Les grains sont ronds et blancs. Pression : 650 atmosphères. Composition :

Coton-poudre.

Nitrates alcalins.

### *Conclusions.*

Il existe un nombre très considérable de formules proposées pour les poudres sans fumée; nous n'avons donné que celles qui se sont montrées pratiques aux épreuves. La fabrication des poudres nouvelles est donc basée actuellement sur l'emploi du coton-poudre et de la nitroglycérine; comme nous avons eu l'occasion de le dire, il y a une tendance générale à exclure la nitroglycérine. Celle-ci étant volatile, très peu il est vrai, il est presque certain que les poudres dans lesquelles elle intervient, éprouveront des variations dans leur puissance balistique.

Quoi qu'il en soit, les résultats acquis sont extrêmement favorables à l'adoption universelle de la poudre sans fumée : suppression de la fumée et de l'encrassage, diminution du poids des charges, grandes vitesses initiales et tensions modérées. Si ces poudres offrent quelques inconvénients encore, il est hors de doute qu'on parviendra à les supprimer dans l'avenir et à rendre les nouveaux explosifs balistiques parfaits.

La question si importante de la conservation prolongée des poudres sans fumée est en relation intime avec la pureté des produits.

Le coton-poudre, sous ce rapport, a fait ses preuves; il est d'une conservation sûre dans les diverses conditions de chaleur et d'humidité atmosphériques. Il faudra seulement dans la fabrication exercer une surveillance incessante, afin d'éloigner les risques de décomposition spontanée; les explosifs chimiques ont une constitution délicate qui nécessite une pureté absolue et des conditions spéciales de conservation dans les magasins.



SEPTIÈME PARTIE.  
Pyrotechnie.

## Compositions d'artifices.

**518.** — La pyrotechnie est l'art de composer les feux d'artifices. Nous nous contenterons de jeter un coup d'œil sur les fusées et les artifices.

Les artificiers font usage de certains mélanges pyrotechniques ou compositions d'artifices. Ce sont des mixtures composées de corps combustibles, tels que le soufre, le charbon de bois, etc.; et de corps oxydants comme les nitrates et les chlorates. Ces mélanges dégagent plus ou moins de gaz, de lumière, de chaleur, dans un temps plus ou moins long.

Règle générale, il ne faut employer dans les compositions pyrotechniques ni excès du corps combustible, ni du corps comburant; la réaction entre les matières doit pouvoir se traduire par une équation chimique, sinon il y a diminution dans l'effet total et formation de résidus surabondants, nuisibles à la régularité de la marche de la combustion.

Cependant, dans la pratique, on est plus près de l'empirisme que de la théorie, parce qu'il faut tenir compte de certaines conditions parmi lesquelles nous pouvons citer : 1° le prix de revient doit être bas, ce qui oblige parfois de faire usage de matières qui ne sont pas tout à fait pures; 2° la confection des engins doit être rapide et faite dans des ateliers souvent exigus; 3° il faut tenir compte des manipulateurs, quelquefois peu exercés, des laboratoires d'artillerie; 4° il faut avoir égard aux dangers de la fabrication, de transport et de l'emploi des mélanges.

En résumé, il faut en pyrotechnie préférer, en général, le bon au parfait, qu'on ne peut espérer atteindre, mais surtout le simple au compliqué.



*Mixtures fondamentales.*

519. — Ces mixtures sont au nombre de trois :

- 1° Le pulvérin ;
- 2° Le sulfo-nitre ;
- 3° La composition grise.

*Pulvérin.*

520. — Le pulvérin est obtenu par la pulvérisation de la poudre noire, au moyen d'un égrugeoir sur la table à égruger. Les artificiers fabriquent parfois, dans leurs ateliers, le pulvérin par le mélange de salpêtre, de soufre et de charbon de bois au moyen de tonnes; c'est du *poussier de tonneau*.

Les proportions du poussier de tonneau sont :

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Salpêtre . . . . . | 75,00  |
| Soufre . . . . .   | 12,50  |
| Charbon . . . . .  | 12,50  |
|                    | <hr/>  |
|                    | 100,00 |

Le tonneau des artificiers est en bois avec gobilles en plomb antimonieux ou en bronze. Les matières premières ont été préalablement triturées; on passe au tamis le mélange ternaire lorsqu'il est terminé.

Ce pulvérin, quelle que soit sa provenance, brûle avec une grande rapidité; il dégage un maximum de chaleur et de gaz.

On peut ralentir considérablement la vitesse de sa combustion par le battage et la compression. On met à profit cette propriété dans la fabrication des fusées en bois, des fusées métalliques à temps.

*Sulfo-nitre.*

521. — C'est un mélange de soufre et de salpêtre dans les proportions suivantes :

|                   |    |  |                  |    |
|-------------------|----|--|------------------|----|
| Salpêtre. . . . . | 75 |  | Soufre . . . . . | 25 |
|-------------------|----|--|------------------|----|

Ce mélange se fait à la tonne.

Cette mixture est d'une inflammation assez difficile; mais une fois

en déflagration, elle émet une flamme blanche éblouissante et des torrents d'anhydride sulfureux. Elle n'est guère employée seule; mêlée avec le pulvérin, elle constitue la plupart des compositions pyrotechniques. En effet, la combinaison des deux mixtures permet d'obtenir des effets très variés; est-il nécessaire de diminuer la vivacité du pulvérin, on y ajoute du sulfo-nitre; veut-on, au contraire, activer la combustion du sulfo-nitre, on l'additionne de pulvérin.

Le sulfo-nitre étant d'une inflammation assez difficile, on lui ajoute d'ordinaire 5 à 10 % de pulvérin pour lui donner une inflammabilité suffisante.

En artillerie, on faisait anciennement beaucoup usage de balles à éclairer et de balles à incendier lancées par les mortiers lisses.

Pour la balle à éclairer, la base était le sulfo-nitre à cause de sa flamme éclatante; pour la balle à incendier, il fallait une mixture donnant une haute température, elle était à base de pulvérin.

|                     | Balle à éclairer. | Balle à incendier. |
|---------------------|-------------------|--------------------|
| Pulvérin . . . . .  | 4                 | 27                 |
| Nitre . . . . .     | 20                | 3                  |
| Soufre . . . . .    | 8                 | 2                  |
| Antimoine . . . . . | 2                 | "                  |
| Cire jaune. . . . . | 4                 | 2                  |
| Étoupe. . . . .     | 0,25              | 0,25               |
| Colophane. . . . .  | 6                 | 10 (poix)          |

*Composition grise.*

522. — C'est du sulfo-nitre additionné de pulvérin :

|                       |     |    |       |
|-----------------------|-----|----|-------|
| Sulfo-nitre . . . . . | 100 | ou | 93,46 |
| Pulvérin . . . . .    | 7   |    | 6,54  |

Elle donne une flamme blanche éclairante, son inflammabilité est suffisante et la combustion n'est pas trop rapide.

*Matières combustibles.*

523. — Les artificiers mélangent très souvent aux mixtures fondamentales des substances végétales combustibles, telles que les

essences, les huiles, les résines, etc. La composition grise laisse après sa combustion un résidu assez considérable, épais et visqueux, qui nuit beaucoup à la régularité de la déflagration. Il faudrait ajouter du carbone sous forme de charbon de bois; malheureusement, celui-ci ne se bat pas bien et ne permet pas la fabrication facile d'artifices compacts. On ajoute alors des résines, des huiles, qui agissent en outre comme liants et ajoutent leur combustibilité propre : par exemple, dans les artifices incendiaires.

Il faut nécessairement tenir compte de la quantité de carbone que ces matières renferment, afin que l'élément oxydant soit en quantité suffisante; on agit pour cela d'une façon expérimentale en ajoutant de l'élément oxydant jusqu'à ce que le résidu soit blanc, ce qui indique la combustion complète du carbone.

#### *Mixtures chloratées.*

524. — Les artificiers remplacent souvent les nitrates par les chlorates. La combustion des mixtures est plus énergique, mais nous rappelons le danger de la confection et de l'emploi de ces mélanges chloratés très sensibles au choc et à la friction.

#### *Mèches et étoupilles.*

525. — Pour mettre le feu aux artifices on fait usage de mèches et d'étoupilles.

La pâte d'amorce est un mélange de pulvérin, de gomme et d'alcool.

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Pulvérin . . . . .       | 1000.  |
| Eau-de-vie . . . . .     | 570.   |
| Gomme arabique . . . . . | 16 (dissoute préalablement dans 140 p. d'eau). |

On imprègne 3 ou 4 fils de coton au moyen de cette pâte de pulvérin et l'on obtient la mèche à feu.

#### *Mèche azotique.*

526. — On soumet des fils de coton à l'action de l'acide sulfonitrique, qui les transforme en pyroxyle. Cette mèche sert à allumer

presque instantanément des cordons de lanternes vénitiennes, des feux de Bengale espacés, des bougies de lustres, etc.

### *Artifices.*

**527.** — Dans la fabrication des artifices, on peut poursuivre trois buts différents :

- 1° Produire de la lumière;
- 2° Produire des gaz;
- 3° Produire une flamme vive et chaude.

### *Production de lumière.*

**528.** — La base des mixtures à lumière éclatante est le sulfo-nitre, quelquefois avec addition de chlorate de potassium. La lumière est d'un blanc éclatant, elle est due à l'incandescence du sulfate de potassium entraîné par les gaz chauds de la réaction.

**529. Balle à éclairer.** — Nous en avons donné la composition précédemment (n° 52). Ces balles étaient enveloppées d'une carcasse en fer et elles étaient tirées au moyen de mortiers. Dans l'artillerie moderne elles sont remplacées par la lumière électrique.

**530. Feux colorés.** — Ils sont basés sur l'emploi de sels qui, sous l'influence de la chaleur développée, se volatilisent et colorent la flamme suivant diverses nuances. Ils constituent principalement les *flammes de Bengale*, les lances, les étoiles, etc.

Les sels les plus souvent employés sont :

- Pour la couleur rouge : les sels de strontium, de chaux (rouge clair), de lithine.
- „           jaune : les sels de sodium.
- „           bleue : les sels de cuivre.
- „           verte : les sels de baryum.

**531.** — Nous donnons ci-après quelques compositions de flammes de Bengale. Les mixtures pulvérulentes sont comprimées dans des enveloppes cylindriques de carton. Elles peuvent en temps de guerre servir comme feux de signaux. Nous les extrayons de l'ouvrage de M. PAUL TESSIER (*Chimie pyrotechnique ou Traité pratique des feux colorés*).

*Rouge.*

|   |    |
|---|----|
| Azotate de strontium desséché . . . . . | 15 |
| Soufre. . . . .                         | 5  |
| Noir de fumée léger . . . . .           | 1  |

*Bleu.*

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Azotate de baryum . . . . .     | 20 |
| Soufre. . . . .                 | 23 |
| Oxychlorure de cuivre . . . . . | 18 |
| Sulfate de potasse . . . . .    | 17 |
| Chlorure de plomb. . . . .      | 2  |
| Chlorate de potassium . . . . . | 64 |

*Vert.*

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Azotate de baryte . . . . .   | 27 |
| Soufre. . . . .               | 8  |
| Résine laque. . . . .         | 2  |
| Chlorure de plomb. . . . .    | 2  |
| Chlorate de potasse . . . . . | 9  |

*Jaune.*

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Nitrate de soude . . . . .    | 48 |
| Soufre. . . . .               | 16 |
| Sulfure d'antimoine . . . . . | 4  |
| Charbon pulvérisé . . . . .   | 1  |

*Blanc.*

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Azotate de potasse . . . . .  | 5 |
| Soufre. . . . .               | 2 |
| Sulfure d'antimoine . . . . . | 1 |

*Violet.*

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Alun . . . . .                 | 12 |
| Carbonate de potasse . . . . . | 12 |
| Chlorate de potasse . . . . .  | 60 |
| Soufre. . . . .                | 16 |

*Feux de Bengale picratés.*

*Rouge.*

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Azotate de strontiane . . . . . | 25 |
| Picrate d'ammonium . . . . .    | 5  |
| Noir de fumée léger . . . . .   | 1  |
| Paraffine . . . . .             | 1  |

*Vert.*

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Azotate de baryte . . . . .   | 64 |
| Picrate d'ammonium . . . . .  | 16 |
| Noir de fumée léger . . . . . | 1  |
| Paraffine . . . . .           | 2  |

*Jaune.*

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Azotate de baryte . . . . .   | 58 |
| "    de strontiane . . . . .  | 12 |
| Cryolithe . . . . .           | 7  |
| Noir de fumée léger . . . . . | 4  |
| Paraffine . . . . .           | 2  |
| Picrate d'ammonium . . . . .  | 20 |

*Production de gaz.*

**532.** — Nous citerons parmi les artifices destinés à produire du gaz les balles à éclairer dont nous avons donné la composition (n° 521). Elles dégagent énormément d'anhydride sulfureux dont la puissance asphyxiante est très grande.

*Production de flamme.*

**533.** — Ce sont des compositions incendiaires. Elles doivent brûler avec une flamme longue et très chaude, avoir de la durée.

La balle à incendier dont nous avons donné la composition peut servir de type.

On charge les obus à incendier de roche-à-feu.

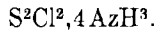
**534. Roche-à-feu.** — On fond une partie de suif de mouton avec une partie de térébenthine et on ajoute au mélange fondu 3 parties

de colophane, 4 de soufre, 10 de salpêtre et 1 de sulfure d'antimoine. La masse fondue est moulée en cylindres et amorcée par une mèche d'amorce.

*Compositions diverses.*

**535. Feu Lorrain** (Niklès). — On mêle du chlorure de soufre du commerce avec du sulfure de carbone tenant du phosphore en dissolution. Il en résulte un liquide jaune, fumant à l'air et qui se conserve bien en vase clos. Si on y laisse tomber quelques gouttes d'ammoniaque, il se produit une déflagration, une flamme intense et volumineuse, des vapeurs au nombre desquelles figurent de l'anhydride sulfureux, du chlorure d'ammonium, du chlorure de soufre, etc.

La réaction est due à la combinaison directe du chlorure de soufre et de l'ammoniaque :



**536. Nouveau feu liquide** (Guyot). — Lorsqu'on ajoute du brome à un excès de fleur de soufre et qu'on filtre sur l'amiante, on obtient un liquide rougeâtre : c'est du bromure de soufre. Traité par l'ammoniaque, il ne tarde pas à bouillir et à dégager des vapeurs blanches très épaisses. La solution du bromure de soufre dans le sulfure de carbone se comporte d'une façon analogue, sans s'enflammer; mais si le sulfure de carbone contient du phosphore l'inflammation a lieu.

Ce mélange possède sur le feu Lorrain l'avantage de ne s'enflammer qu'après une ou deux minutes.

**537. Composition à combustion spontanée.** — On fait dissoudre du phosphore dans du sulfure de carbone. Lorsque ce liquide est versé sur un corps quelconque, il provoque une inflammation spontanée. Le sulfure de carbone s'évapore et abandonne le phosphore à un état très divisé; il s'oxyde avec rapidité, s'échauffe et s'enflamme. Si en même temps que le phosphore on fait dissoudre d'autres matières combustibles telles que la poix, le soufre, la combustion spontanée peut provoquer la mise à feu du bois, de la paille, etc.





# HUITIÈME PARTIE.

Divers.

## CHAPITRE I.

### EMPLOI DES EXPLOSIFS EN PRÉSENCE DU GRISOU.

**538.** — Beaucoup d'explosions de grisou dans les houillères sont dues au tirage des mines. On a fait depuis quelques années des recherches sur le genre d'explosif qui serait à conseiller pour prévenir, dans de certaines mesures, les catastrophes amenées par le grisou.

La température d'inflammation de ce gaz est de 600 à 700° c. et la question est de trouver un explosif dont la température d'explosion soit inférieure à ces chiffres.

L'explosion du grisou peut provenir de l'allumage du coup de mine ou de la flamme qui jaillit de la mine elle-même. L'allumage du coup de mine par la mèche Bickford allumée à l'amadou et au briquet, le fêtu en usage dans nos mines, sont des moyens dangereux dans une atmosphère explosive. L'allumage électrique fait soigneusement seul est bon, mais à la condition qu'aucune étincelle ne jaillisse autre part que dans le trou de mine.

Des expériences faites en France (*Mémorial des poudres et salpêtres*, t. II, page 335), prouvent que la poudre de mine, les dynamites n° 1 de Vonges et le n° 0 de Paulilles, la dynamite à l'ammoniaque de Paulilles, le coton-poudre, la dynamite-gomme, la Hellhoffite, l'explosif Favier, la Bellite, etc., enflamment des mélanges de grisou et d'air.

On a recherché des explosifs nouveaux n'allumant pas le grisou.

On a mélangé de la dynamite n° 1 de Vonges avec du carbonate de soude cristallisé pulvérulent. Lorsque le mélange est fait à poids égaux, il n'allume plus le grisou en détonant sous enveloppe.

**539.** — Un mélange à parties égales de dynamite et de sulfate de soude à 10 équivalents d'eau jouit de la même propriété.

Il en est de même du mélange à poids égaux de dynamite et d'alun.

Ce résultat est obtenu par la chaleur absorbée par la volatilisation de l'eau de cristallisation des sels hydratés.

Si l'on fait usage d'un sel anhydre, mais qui par sa décomposition peut absorber de la chaleur, le but sera aussi atteint; c'est ainsi qu'un mélange à poids égaux de dynamite et de chlorhydrate d'ammonium n'enflamme pas le grisou.

Il résulte des expériences exécutées, qu'on peut, en mélangeant à un explosif des substances qui ne détonent pas par elles-mêmes, ou qui produisent des effets de détonation moindres que l'explosif lui-même, obtenir des mélanges suffisamment puissants, mais n'enflammant plus ou du moins rarement des mélanges grisouteux. MM. Mallard et Le Châtelier ont observé un retard considérable à l'inflammation que peuvent présenter les mélanges grisouteux. Il est donc possible de constater ce fait en apparence paradoxal, qu'un explosif dégageant une température de 2000° n'enflamme pas un mélange gazeux inflammable à 650°. Ce phénomène a lieu avec des explosifs qui détonent dans un temps très court; les gaz se forment subitement, se détendent et se refroidissent dans un temps moindre que le retard à l'inflammation du grisou.

**540.** — Nous donnons ci-contre les conclusions des intéressants et savants rapports faits par la commission (*Mémorial des poudres et salpêtres*, t. II, p. 502). « On sait que la température normale d'inflammation des mélanges grisouteux est de 500°, mais qu'il est nécessaire que l'action de cette température soit prolongée pendant un temps assez notable pour que l'inflammation se produise.

» Les nouvelles expériences, d'accord avec les anciennes, montrent que, grâce à ce retard à l'inflammation qui est caractéristique des mélanges grisouteux, grâce aussi au mélange presque instantané des gaz provenant de la détonation avec l'air ambiant et au refroidissement brusque qui en est la conséquence, les explosifs dont la température de détonation est inférieure à 2200° environ, sont

incapables d'enflammer les mélanges grisouteux, lorsqu'ils détonent dans les conditions normales de leur emploi, c'est-à-dire, dans des trous convenablement bourrés. Le bourrage fait avec soin doit toujours être rigoureusement prescrit comme une des conditions les plus essentielles de la sécurité.

» Les garanties de sécurité vont en diminuant, toutes choses égales, à mesure que le bourrage devient plus imparfait. A la limite, et lorsque la cartouche détone sans enveloppe, à l'air libre, les conditions de sécurité ne peuvent plus être formulées avec la même netteté.

» La sécurité serait sans doute encore complètement assurée si l'explosif pouvait être constitué par une substance unique, dont la détonation développerait une température suffisamment basse et ne donnerait que des produits incombustibles. Malheureusement, l'azotate d'ammoniaque est, jusqu'à présent, la seule substance connue qui réalise ces conditions, et l'aptitude à la détonation en paraît insuffisante.

» On est donc forcé de recourir à des mélanges au moins binaires et qui, quelles que soient les précautions prises, ne sont jamais absolument intimes. Or, si l'une des substances mélangées est combustible ou, en détonant isolément, est susceptible soit de développer une température supérieure à 2200°, soit de donner des produits gazeux combustibles, on peut toujours craindre qu'une parcelle de cette substance, placée à la surface de la cartouche, vienne au moment de la détonation, allumer le gaz. Telle est, sans doute, la cause des irrégularités qui se produisent dans l'allumage du grisou par la détonation de semblables mélanges à l'air libre.

» Ces allumages, en quelque sorte accidentels, sont d'autant plus à redouter que la substance qui peut les produire est en plus forte proportion, que le mélange est moins intime, et que la surface ou, ce qui revient à peu près au même, le poids de la cartouche est plus considérable.

» Le seul moyen que l'on ait de parer à cette cause de danger, heureusement secondaire, c'est d'assurer le mieux possible l'intimité du mélange, et de diminuer, autant qu'on le peut faire sans trop

abaisser l'aptitude à la détonation et la force de l'explosif, la proportion de la substance capable d'enflammer le gaz.

» Il importe, en outre, de remarquer que la sécurité dans l'emploi des explosifs au sein d'une atmosphère grisouteuse repose, comme on l'a vu plus haut, sur le mélange presque instantané des gaz de la détonation avec une masse d'air ambiant suffisante. Il serait donc dangereux de tirer des coups de mine dans un espace trop limité et avec un poids d'explosif assez grand pour que le volume de l'air ambiant soit comparable à celui des gaz de la détonation.

» Ces diverses considérations justifient la règle donnée par la Commission dans son précédent rapport et que nous croyons devoir rappeler textuellement :

« En raison de la complexité et du peu de fixité des phénomènes qui peuvent se produire dans la détonation à l'air libre, il sera toujours prudent d'éviter le tirage des coups de mine, même chargés avec un des explosifs considérés comme les plus sûrs, dans un point où le mélange d'air et de grisou est inflammable. Le choix de ces explosifs doit être considéré comme diminuant considérablement le danger de l'explosion, il ne doit pas être considéré comme le supprimant absolument. »

» Les mélanges binaires auxquels, dans l'état actuel de nos connaissances, on peut recourir pour constituer des explosifs propres à assurer la sécurité des mines à grisou, contiennent nécessairement l'azotate d'ammoniaque comme un de leurs éléments et peuvent se partager en deux catégories :

» I. On peut mélanger à l'azotate d'ammoniaque une substance détonant à haute température, mais donnant des produits incombustibles, la nitroglycérine, par exemple. La sécurité paraît convenablement assurée, lorsque la nitroglycérine étant employée à l'état de dynamite, la proportion de dynamite ne dépasse pas 30 pour 100. Deux cartouches de 200 grammes, contenant 30 dyn., 70 azot., ont détoné très franchement à l'air libre dans un mélange grisouteux sans l'allumer. Des cartouches de 50, 100, 200 gr. du mélange contenant 20 dyn., 80 azot. n'ont pas produit l'inflammation du grisou. Une cartouche de 50 gr. du même explosif a même pu détoner à l'air libre dans un mélange d'air et de gaz d'éclairage sans l'allumer.

» II. On peut aussi mélanger à l'azotate d'ammoniaque une substance combustible par elle-même ou donnant, en détonant, des produits combustibles.

**541.** — « Les mélanges de cette nature doivent satisfaire aux conditions suivantes :

» Développer une température de détonation aussi basse que possible et, dans tous les cas, inférieure à 2200°;

» Ne pas donner de gaz combustibles après la détonation complète;

» Posséder une force explosive suffisante pour qu'on ne soit pas conduit à employer des poids d'explosifs trop considérables;

» Présenter une aptitude à la détonation assez grande, au moins dans un trou bourré, pour que la proportion des coups ratés soit insignifiante;

» Pouvoir être préservés, pendant un temps suffisamment long, contre toute altération;

» Enfin pouvoir être livrés à l'industrie à un prix qui ne soit pas trop élevé.

» Parmi les nombreux mélanges à base d'azotate d'ammoniaque remplissant plus ou moins complètement toutes ces conditions et que la Commission a expérimentés, ceux qui semblent devoir être cités de préférence sont les suivants :

» 1° Les mélanges contenant au plus 75 pour 100 d'azotate cupro-ammoniaque; celui qui réalise ce maximum n'a, en détonant à l'air libre, enflammé ni le grisou avec des cartouches de 200 gr. (3 expériences), ni le gaz d'éclairage avec des cartouches de 100 gr. (2 expériences);

» 2° Le mélange contenant 6 pour 100 de naphthaline qui, détonant à l'air libre, n'a provoqué l'inflammation ni du grisou avec des cartouches de 200 gr. (2 expériences), ni du gaz d'éclairage avec des cartouches de 50 gr. (2 expériences), et qui n'a enflammé ce dernier gaz qu'avec des cartouches de 200 gr.;

» 3° Le mélange tenant 15 pour 100 de coton octonitrique qui, détonant à l'air libre, n'a pas enflammé le grisou avec des cartouches de 200 gr. (2 expériences);

» 4° Le mélange tenant 10 pour 100 de mononitronaphthaline qui,

détonant à l'air libre, n'a, sur 5 expériences faites avec des cartouches de 60 gr., 100 gr. et 200 gr., allumé qu'une fois le grisou avec une cartouche de 60 gr. ;

» 5° Le mélange tenant 10 pour 100 de binitrobenzine qui, détonant à l'air libre, n'a pas allumé le grisou avec des cartouches de 100 gr. (4 expériences) et, avec des cartouches de 200 gr., ne l'a allumé qu'une fois sur 3 expériences.

» Des essais pratiques, faits dans les mines, et qui se poursuivent actuellement, permettront seuls aux exploitants de faire un choix entre les divers explosifs dont nous venons d'indiquer le principe. »

## CHAPITRE II.

### DESTRUCTION DES MATIÈRES EXPLOSIVES.

Cette destruction doit être faite avec beaucoup de précautions par des personnes ayant la grande pratique du maniement des explosifs; elle sera toujours exécutée loin de toute habitation et de tout chemin.

#### *Poudres nitratées.*

**542.** — Ce sont les poudres noires et analogues :

1° On peut les répandre toutes sans exception sur le sol, à l'abri du vent, sous forme d'une longue traînée mince. On met le feu à l'une des extrémités au moyen d'une mèche ou d'un boute-feu quelconque. Si l'on a affaire à de la poudre de mine comprimée, on mettra les cartouches bout à bout (débarassées de leur enveloppe) et on mettra le feu avec la mèche. Il faut s'écarter d'une vingtaine de mètres, les cartouches de mine ayant une tendance à s'écarter du lieu d'inflammation.

2° Les poudres peuvent être jetées dans un baquet renfermant une quantité suffisante d'eau (8 à 10 fois le volume de la poudre). On renouvelle l'eau deux ou trois fois au bout de quelques heures, en remuant énergiquement la masse. Les eaux saturées de salpêtre sont répandues sur le sol; elles constituent un excellent engrais.

Le résidu insoluble est jeté dans un endroit sans culture.

3° On peut les jeter dans une rivière, un ruisseau, pour autant que cette opération ne soit pas nuisible aux hommes, aux animaux et aux poissons.



*Poudres chloratées.*

**543.** — Il faut les manier avec beaucoup de précaution. Il faut les détruire par le feu en trainée mince.

On peut aussi les noyer dans l'eau et agir, dans ce cas, comme avec les poudres nitratées. Les eaux de lavage, contenant le chlorate, doivent être versées dans des trous assez profonds. Il se pourrait qu'en temps de sécheresse il y eût sinon des inflammations des herbes, du bois par le passage d'une charrette et même de personnes.

On peut aussi les jeter dans une eau courante avec les restrictions connues.

*Destruction de la nitroglycérine.*

**544.** — Elle sera mélangée avec précaution de sable sec jusqu'à consistance pâteuse, puis on agira comme avec la dynamite.

*Destruction des dynamites.*

**545.** — Les cartouches seront ouvertes à leurs extrémités; on peut même les dépouiller entièrement de leur enveloppe. On examinera avec soin si elles ne contiennent pas de capsule, on les mettra ensuite bout à bout, et on mettra le feu à la première cartouche au moyen d'une mèche *sans capsule*.

On peut encore fragmenter les cartouches et jeter les morceaux dans un brasier.

Il ne faut jamais noyer les cartouches de dynamite, l'eau mettant la nitroglycérine en liberté.

On peut enfin faire détoner les cartouches une à une en les amorçant au moyen d'une capsule au fulminate de mercure (n° 300).

*Destruction du coton-poudre.*

**546.** — Les cartouches seront placées bout à bout et la première sera enflammée par la mèche. Si les cartouches sont trop volumineuses, on doit les fragmenter avant d'y mettre le feu.

On pourra les faire détoner l'une après l'autre au moyen de la capsule au fulminate de mercure.

Si le coton-poudre est humide, il faut le jeter par fragments dans un brasier; on peut aussi le faire détoner par l'amorce au coton-poudre sec.

*Destruction des poudres aux picrates.*

**547.** — On les détruira comme la poudre noire. Le mieux est de les enflammer par trainée mince. Il ne faut pas les jeter dans les ruisseaux, dont les eaux seraient empoisonnées.

*Explosifs Favier et similaires.*

**548.** — On les fragmente et on les jette dans un brasier.

**549.** REMARQUE. — Si les explosifs sont renfermés dans des récipients dont l'ouverture ne se fait pas facilement, on doit les faire détoner au moyen d'une matière explosive autre. C'est ainsi que l'on détruit, sans les remuer, les obus chargés au moyen d'une cartouche de dynamite.

S'il est nécessaire, dans un but quelconque, de connaître les matières explosives renfermées dans un récipient qu'on ne peut ouvrir qu'avec un certain effort, il faut prendre les plus minutieuses précautions pour procéder à l'ouverture. Il faut tout d'abord examiner si l'engin n'est pas muni de mèches, de capsules ou autres moyens de mise-à-feu. Si tel est le cas, on enlèvera les amorces, si c'est possible; sinon, on abandonnera l'engin dans l'eau, dans du pétrole, pendant quelques jours avant de procéder à son ouverture.

Il est difficile de donner des règles fixes pour ce travail spécial qui ne doit se faire que par un homme spécialiste en matières explosives et peu soucieux du danger.

## CHAPITRE III.

RÈGLEMENT DU 26 OCTOBRE 1881

SUR LES DÉPÔTS, LE DÉBIT ET LE TRANSPORT DES SUBSTANCES  
EXPLOSIVES.

(*Moniteur belge.*)

LÉOPOLD II, Roi des Belges,

A tous, présents et à venir, salut.

Vu la loi du 15 Octobre 1881 ;

Sur la proposition de Notre Ministre de l'Intérieur,

Nous avons arrêté et arrêtons :

Les dépôts et débits, ainsi que le transport par roulage et par eau des poudres à tirer, des dynamites et autres matières explosives seront désormais régis par les dispositions suivantes :

### TITRE PREMIER. — Poudre ordinaire.

#### SECTION PREMIÈRE. — *Dépôts.*

ARTICLE 1<sup>er</sup>. — Les dépôts ou débits de poudre ordinaire sont classés en deux catégories : 1<sup>o</sup> Ceux qui contiennent plus de 75 kg. de poudre ou d'artifices ; 2<sup>o</sup> ceux dont la quantité ne dépasse pas 75 kg.

Les premiers sont assimilés aux établissements dangereux, incommodes ou insalubres de première classe et, comme tels, soumis aux règles déterminées par l'arrêté royal du 29 janvier 1863, ainsi qu'aux prescriptions spéciales relatives à l'emmagasinage des poudres.

Aucune autorisation n'est nécessaire aux négociants possédant une patente de débitant de poudre, pour établir les dépôts de la seconde catégorie.

ART. 2. — La poudre ou les artifices de dépôts de la seconde catégorie devront être conservés au grenier de l'habitation ou dans un local séparé de toute habitation.

Toutefois une quantité de 25 kg. au plus pourra se trouver au rez-de-chaussée pour la vente.

ART. 3. — Il est interdit à tout particulier non patenté d'avoir chez lui plus de 2 kg. de poudre.

## SECTION II. — *Transport.*

ART. 4. — Les transports de poudre à tirer, par la voie du roulage ou par eau, sont classés ainsi qu'il suit :

1<sup>re</sup> classe : A. Transports par quantité de 75 kg.

2<sup>e</sup> classe : B. Transports par quantité de 75 kg. à 300 kg. inclus.

3<sup>e</sup> classe : C. Transports par quantité de plus de 300 kg.

ART. 5. — Aucune autorisation n'est requise pour les transports ne dépassant pas 75 kg. de poudre.

Il est défendu toutefois de faire aucune expédition de ce genre par la voie des messageries, diligences ou autres voitures transportant des voyageurs.

ART. 6. — Un permis délivré par le gouverneur de la province est nécessaire pour transporter des quantités de poudre de plus de 75 kg. jusqu'à 300 kg.

Ce permis pourra être général et permanent.

Le permis n'est valable que dans la province pour laquelle il est délivré; il est toujours révoquant.

Les transports ainsi autorisés pourront se faire librement, en tout temps, moyennant l'observation des prescriptions formulées aux art. 15 et 16, sans qu'il soit nécessaire d'en donner avis aux autorités locales; ils devront être accompagnés d'une lettre de voiture datée et signée par l'expéditeur et mentionnant le permis en vertu duquel ils sont faits.

ART. 7. — Les transports de plus de 300 kg. ne pourront se faire qu'en vertu d'autorisations spéciales, à des moments et suivant un itinéraire déterminés à l'avance, et après avis aux autorités locales, le tout de la manière indiquée aux art. 8 et 14 ci-après. Il sera fait mention de l'autorisation sur les lettres de voiture.

ART. 8. — Tout fabricant ou débitant de poudre qui voudra obtenir l'autorisation de transporter une quantité de plus de 300 kg. devra en faire la demande au gouverneur de la province du lieu d'expédition. Ce fonctionnaire pourra accorder l'autorisation pour tout le trajet et communiquera à ses collègues des autres provinces traversées l'arrêté qu'il aura pris.

ART. 9. — La demande d'autorisation devra indiquer la quantité de poudre à transporter; le mode de transport qui sera employé, c'est-à-dire le nombre des voitures ou bateaux; la route à suivre, avec les principales localités à traverser et spécialement celles où l'on se propose de faire giter le transport; le lieu de destination, avec mention des magasins dans lesquels la poudre doit être placée

à l'arrivée, ou bien, lorsqu'il s'agit d'exportation par mer, l'endroit où la poudre sera transbordée sur navire; enfin le jour le plus rapproché à partir duquel on se propose de faire l'expédition, et la durée probable du voyage.

ART. 10. — La demande d'autorisation devra être remise au gouverneur de la province douze jours au moins avant le départ projeté. Toutefois, ce délai pourra être réduit s'il s'agit d'un transport à effectuer vers un lieu de destination situé dans la même province et suivant un itinéraire déjà parcouru précédemment.

ART. 11. — L'autorisation à accorder par le gouverneur pourra se rapporter, non à un seul transport, mais à une suite d'expéditions à effectuer de la même manière vers le même endroit. Cette autorisation générale fixera la quantité qui pourra être transportée en une fois. Elle sera toujours révocable.

ART. 12. — Tout expéditeur qui fera usage d'une autorisation de transporter des quantités de poudre dépassant 300 kg. devra se conformer aux prescriptions suivantes :

1<sup>o</sup> Prévenir l'autorité chargée de la police au lieu de départ, l'avant-veille au plus tard.

L'accomplissement de cette formalité sera constaté par un visa daté sur la lettre de voiture, signée par l'expéditeur et portant la date et l'heure probable du départ.

2<sup>o</sup> Donner avis à l'autorité du lieu d'arrivée, de manière que cet avis lui parvienne au moins deux jours avant le transport.

ART. 13. — Tout transport de plus de 300 kg., sauf en ce qui est dit ci-après, doit être accompagné d'une escorte militaire.

L'expéditeur fera les diligences nécessaires auprès du commandant militaire de la province du lieu d'expédition, pour que cette escorte se trouve au lieu du départ et puisse assister au chargement des voitures ou bateaux.

Toutefois, lorsque l'expéditeur en aura fait la demande au gouverneur, celui-ci pourra, dans son arrêté d'autorisation, permettre le remplacement de l'escorte militaire par une escorte civile, sous la direction d'un conducteur assermenté, qui sera le chef du transport.

Ce conducteur prêtera serment devant le juge de paix dans le ressort duquel l'expédition est préparée, et mention en sera faite sur sa commission.

ART. 14. — Le chef du transport sera chargé de veiller à l'exécution de toutes les prescriptions du présent règlement et de prendre toutes les mesures de précaution nécessaires, eu égard aux circonstances.

Il chargera l'un des hommes sous ses ordres de précéder le transport, autant que possible, de deux heures au moins, pour prévenir les autorités chargées de la police dans les parties agglomérées des localités à traverser, les gardes préposés aux passages à niveau des chemins de fer, ainsi que les éclusiers ou pontonniers, lorsqu'il s'agit d'un transport par bateau.

Le chef du transport devra toujours être muni d'une expédition de l'autorisation en vertu de laquelle le transport est effectué et d'un exemplaire imprimé du présent règlement.

ART. 15. — Les transports de poudre de la 2<sup>e</sup> et de la 3<sup>e</sup> classe devront toujours se faire isolément, sans aucune autre marchandise. Il n'est fait d'exception que pour les mèches de sûreté, dont le transport est permis avec la poudre de mine expédiée conformément aux art. 6 et 7.

ART. 16. — Les transports de poudre de la 2<sup>e</sup> classe s'effectuant, en vertu de l'art. 6, à volonté et sans avis aux autorités locales, ne pourront avoir lieu que dans des fourgons soigneusement fermés.

ART. 17. — A moins que les arrêtés d'autorisation n'en disposent autrement les transports de la 3<sup>e</sup> classe pourront avoir lieu au moyen de voitures non fermées, mais recouvertes de bâches bien assujetties.

Chaque voiture devra porter un écriteau blanc avec le mot *poudre* en lettres noires de 30 cm. de haut.

La charge en est limitée à un maximum à 3000 kg. qui ne pourra être dépassé qu'en vertu d'une autorisation spéciale.

Les voitures seront munies des outils, cordes et autres engins nécessaires pour pouvoir aux réparations urgentes à faire en route aux barils ou aux véhicules.

ART. 18. — Les transports de plus de 300 kg. par voiture se trouvant en route au moment de la fermeture des barrières pour cause de dégel pourront, par dérogation au droit commun, achever leur voyage, sauf réparation, par les expéditeurs, des dommages causés aux voies parcourues.

ART. 19. — Les bateaux servant aux transports de poudre de la 3<sup>e</sup> classe devront être des bateaux fermés. Ils ne seront lestés qu'avec des matières incombustibles.

Chaque bateau, outre l'écriteau prescrit à l'art. 17 pour les voitures, devra porter le pavillon rouge usité dans la navigation pour toute substance dangereuse.

Il ne pourra y avoir ni feu, ni lumière à bord. Toutefois, les bateaux qui doivent séjourner dans l'Escaut, à proximité d'Anvers, en attendant le transbordement de la poudre sur navire, pourront, si l'administration du pilotage le trouve opportun, être munis d'une lanterne-signal à globe fermé, fixée au mât du bateau. Cette lanterne sera alimentée à l'huile végétale; on l'allumera et on l'éteindra hors du bateau.

Chaque bateau sera pourvu d'un porte-voix et des outils nécessaires pour faire éventuellement les réparations urgentes aux barils et aux bordages.

ART. 20. — Les bateaux chargés de poudre auront droit de priorité de passage aux écluses.

Les autorisations accordées par les gouverneurs prescriront les avis à donner par les expéditeurs pour les transports auxquels ils se rapportent.

ART. 21. — Lorsque les expéditeurs en feront la demande, le remorquage ou le touage à vapeur sur les rivières ou canaux pourra être autorisé par le gouverneur, lequel aura la faculté de prescrire telles précautions qu'il jugera nécessaire.

En tous cas, les bateaux devront être remorqués et devront être maintenus à 50 m. au moins du remorqueur ou du toueur.

ART. 22. — Lorsque les voitures ou les bateaux chargés de poudre devront passer au-dessous d'un chemin de fer, ils ne pourront s'engager sous le viaduc ou le pont au moment du passage d'un train. Si la position de la voie, en courbe ou en tranchée, ou si toute autre circonstance accidentelle ne permet pas de voir venir le train à distance suffisante, le chef du transport sera tenu de s'assurer, auprès du garde de la voie le plus rapproché, qu'aucun train n'est attendu et que le passage peut ainsi avoir lieu sans danger.

ART. 23. — Les transports de la 3<sup>e</sup> classe ne pourront avoir lieu que le jour, à moins de circonstances imprévues, obligeant à prolonger le voyage après la tombée de la nuit pour gagner un gîte convenable.

Toutefois, pour les transports se faisant par bateaux sur les rivières qui subissent l'influence de la marée, il est permis de naviguer la nuit, afin de profiter de la marée et de ne pas interrompre le voyage, à condition que la nuit soit assez claire pour que l'on puisse naviguer sans danger et que l'on se conforme aux mesures prescrites par les autorités compétentes.

ART. 24 — Les poudres pour la consommation intérieure seront emballées en barils de 25 kg. ou en demi-barils de 12,5 kg.

Les barils ou demi-barils porteront une étiquette au nom du fabricant avec le mot *Poudre* en grands caractères et l'indication de la quantité soit 25, soit 12,5 kg.

Les douves de ces barils seront en chêne ou en hêtre; elles auront une épaisseur d'au moins 10<sup>mm</sup>.

Les poudres dont les grains ne peuvent traverser un tamis à mailles de  $\frac{8}{10}$  de millimètre pourront être emballées à nu. Celles dont les grains sont plus fins devront être préalablement renfermées dans un sac de toile serrée.

ART. 25. — Les poudres destinées à être chargées sur bateau à proximité des fabriques, pour être dirigées immédiatement vers un port d'exportation, pourront être emballées en barils sans étiquette ni sac.

La contenance des barils pourra varier, pourvu qu'elle reste inférieure à 25 kg. et que les barils soient solidement confectionnés en chêne ou en hêtre.

ART. 26. — Les cartouches de poudre comprimée pour l'usage des mines seront emballées dans des caisses contenant 25 kg. solidement construites et renforcées aux arêtes verticales.

Le bois seul entrera dans la construction de ces caisses, dont les différentes parties toutefois seront assemblées au moyen de pointes ou vis en cuivre ou en fer galvanisé ou étamé.

Le couvercle ne sera pas cloué sur la caisse, mais fixée par des vis.

Les caisses seront garnies intérieurement de papier, à moins que chaque cartouche ne soit elle-même enveloppée dans du papier.

ART. 27. — Le Ministre de l'Intérieur pourra, dans des cas spéciaux, déroger, par arrêté motivé, aux dispositions des art. 24, 25, 26, 33 et 34 relatifs à l'emballage des poudres et autres matières explosives.

ART. 28. — L'escorte militaire dont il est fait mention à l'art. 13 se composera d'un sous-officier, chef du transport, et de deux hommes pour une voiture ou un bateau, avec un homme de plus pour chaque voiture ou chaque bateau de plus.

Les frais d'escorte sont payés par l'expéditeur lors du départ, pour toute la durée prévue du voyage, en mains du sous-officier remplissant les fonctions de chef de l'escorte.

Il est compté au minimum un jour pour le chargement et un jour de plus pour le retour, toute journée commencée étant considérée comme entière.

Le tarif est de 6 fr. par jour pour le sous officier et de 3 fr. par jour pour chaque homme.

L'escorte n'a rien à réclamer de plus pour ses frais de route pendant le transport, ni pour les deux voyages à faire par elle pour se rendre au lieu du départ et pour revenir du lieu de destination du transport.

## TITRE II. — Poudre à base de Nitroglycérine, Dynamite.

### SECTION PREMIÈRE. — *Dépôt.*

ART. 29. — Les dépôts ou débits de dynamite sont divisés en 3 catégories, savoir :

1<sup>o</sup> Ceux qui contiennent plus de 75 kg. de dynamite ;

2<sup>o</sup> Ceux qui en contiennent de 5 à 75 kg. ;

3<sup>o</sup> Ceux qui en contiennent moins de 5 kg.

ART. 30. — Les dépôts ou débits de la première et de la deuxième catégorie sont respectivement assimilés aux établissements dangereux, insalubres ou incommodes de la première ou de la deuxième classe, soumis au régime de l'arrêté royal du 29 janvier 1863.

Aucune autorisation préalable n'est requise pour les dépôts ou débits de la troisième catégorie, établis par des négociants dont la patente mentionne qu'ils débitent de la dynamite.

ART. 31. — Les débitants pourront vendre en détail des cartouches de dynamite, mais il leur est interdit de les ouvrir ou de les fractionner.

Ils pourront vendre également des amorces et autres moyens d'inflammation des cartouches, mais ils doivent les tenir renfermés dans des locaux entièrement séparés des lieux où les cartouches sont déposées.

ART. 32. — Il est interdit à tout particulier non patenté d'avoir chez lui de la dynamite.



SECTION II. — *Transport.*

ART. 33. — La dynamite ne peut circuler ou être mise en vente que renfermée dans des cartouches recouvertes de papier parcheminé parfaitement imperméable, non amorcées et dépourvues de tout moyen d'ignition.

Ces cartouches doivent être emballées dans des caisses en bois, consolidées par des renforts également en bois.

Les pointes en cuivre réunissant les différentes parties doivent être à tête noyée de 2<sup>mm</sup> de profondeur et recouvertes de mastic.

Les caisses doivent toujours être maintenues soigneusement à l'abri de l'eau et de l'humidité, pour empêcher la séparation par exsudation d'une partie de la nitroglycérine.

ART. 34. — Chaque caisse ou baril ne pourra renfermer un poids net de dynamite excédant 25 kg.

Les emballages porteront, sur deux faces au moins, en caractères très visibles, les mots : *Dynamite (matière explosive)*.

Chaque cartouche sera munie d'une étiquette semblable.

ART. 35. — Le transport de la dynamite sur les rivières, les canaux et les routes de terre s'opérera conformément aux règles tracées par la Section 2 du Titre 1<sup>er</sup> ci-dessus, pour le transport de la poudre.

Toutefois les autorisations en vertu desquelles les transports auront lieu devront être délivrées spécialement pour la dynamite.

Un permis délivré pour la poudre ne pourra servir pour la dynamite et réciproquement.

ART. 36. — Il est interdit de transporter de la poudre et de la dynamite sur le même bateau ou la même voiture.

Il pourra toutefois être dérogé à cette interdiction pour des quantités totales ne dépassant pas 300 kg., dans des circonstances exceptionnelles et à des conditions à déterminer par le Ministre de l'Intérieur.

TITRE III. — AUTRES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

ART. 37. — Le Ministre de l'Intérieur assimilera à la poudre ordinaire ou à la dynamite proprement dite les autres substances explosives dont il jugera utile d'autoriser la mise en vente et la circulation, ainsi que l'emmagasinage.

ART. 38. — Tout transport de l'une de ces autres substances explosives est interdit, de quelque manière que ce soit, aussi longtemps qu'elle n'aura pas été reconnue officiellement et assimilée, soit à la poudre, soit à la dynamite, au point de vue du présent règlement.

Sur les lettres de voiture, le nom spécial de la substance devra être suivi des mots (*assimilé à la poudre*) ou (*assimilé à la dynamite*), mis entre parenthèses,

suivant les cas et suivant l'espèce de permis de transport dont il sera, par conséquent, fait usage.

ART. 39. — Lorsque les prescriptions du présent règlement paraîtront trop rigoureuses, eu égard à la nature de certaines substances explosives et au danger que présente aussi leur transport, le Ministre de l'Intérieur aura la faculté d'autoriser à l'égard de ces substances les dérogations qu'il jugera compatibles avec la sécurité publique.

#### TITRE IV. — POURSUITES DES INFRACTIONS ET PÉNALITÉS.

ART. 40. — Les fonctionnaires ou agents chargés, à un titre quelconque, en vertu de l'art. 14 de l'arrêté royal du 29 janvier 1863, de la haute surveillance des établissements dangereux, insalubres ou incommodes, ont le droit de rechercher et de constater, par des procès-verbaux faisant foi jusqu'à preuve du contraire, les infractions au présent règlement ainsi qu'aux autres règlements qui concernent les dépôts et débits de substances explosives.

ART. 41. — Les infractions aux dispositions qui précèdent seront punies des peines comminées par la loi du 15 octobre 1881.

#### TITRE V. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES ET TRANSITOIRES.

ART. 42. — Le présent règlement sera obligatoire le 1<sup>er</sup> janvier 1882.

ART. 43. — Les arrêtés royaux du 21 mars 1815, du 15 juillet 1859 et du 4 novembre 1869, concernant les transports de poudre et de dynamite cesseront d'être en vigueur à partir de la même date.

Les dispositions de l'arrêté royal du 21 juillet 1858, relatives à l'emmagasinage de la poudre, sont applicables à l'emmagasinage de la dynamite.

ART. 44. — Notre Ministre de l'Intérieur est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Donné à Bruxelles, le 26 octobre 1881.

LÉOPOLD.

PAR LE ROI :

*Le Ministre de l'Intérieur,*

G. ROLIN-JACQUEMYS.

## CHAPITRE IV.

### ÉTUDES SUR LES PROPRIÉTÉS DES MATIÈRES EXPLOSIVES.

**551. Détonations d'ordres différents des substances explosives.** — MM. Roux et Sarrau ont fait des observations très intéressantes sur les détonations d'ordres différents dont sont susceptibles la plupart des matières explosives (Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences de France, t. LXXIX, p. 757).

La dynamite enflammée par une violente percussion, telle que celle formée par le fulminate de mercure, fait explosion à l'air libre et produit si elle est confinée 10 fois plus d'effet que la poudre ordinaire.

Enflammée par tout autre moyen, sans percussion, elle peut encore faire explosion, mais cette explosion est d'une nature toute différente. Au lieu d'une *explosion de premier ordre ou détonation*, ce n'est plus qu'une *explosion de second ordre*, dont l'effet est tel que 1 de nitroglycérine correspond à 2 de poudre ordinaire.

Ces résultats ont été obtenus, en recherchant les charges de rupture, avec lesquelles on produit l'éclatement des bombes d'épreuves en fonte, présentant sensiblement la même résistance.

La charge de rupture pour la poudre de chasse était de 16 gr. Pour la dynamite n° 2 de Vonges, contenant 50 % de nitroglycérine, quand on la fait détoner par le fulminate, la charge de rupture est de 3 gr. 50; comme elle contient 1 gr. 75 de nitroglycérine le rapport des charges est  $16 : 1,75 = 9$ .

Si au lieu d'amorce fulminante on met un gramme de poudre, on a chargé jusqu'à la dose de 16 grammes de dynamite avant d'obtenir l'éclatement de la bombe. La dynamite a donc produit sous le

même poids un effet identique à celui de la poudre noire. La dynamite renfermant 50 % de nitroglycérine, on peut dire que 1 de nitroglycérine équivaut à 2 de poudre.

Des expériences variées confirment ces résultats; on peut affirmer en pratique :

1° Que la dynamite enflammée accidentellement et se trouvant, par exemple, dans un incendie ne détone pas (explosion du premier ordre).

2° Elle pourra produire une explosion du deuxième ordre, comme celle de la poudre noire.

3° Le maximum d'intensité de cette explosion, maximum qui se produit quand les parois sont résistantes, sera tel, que 1 de nitroglycérine équivaut à 2 de poudre noire.

C'est par une percussion suffisante qu'on obtient la détonation; ainsi, la charge de dynamite allumée avec la capsule au fulminate donne la rupture avec 4 grammes, à condition qu'elle se trouve maintenue dans un cornet de papier autour de l'amorce. Si la dynamite est répandue dans la bombe, tout en ayant soin que l'amorce touche la matière, on peut élever la charge jusque 12 grammes sans amener la rupture. Dans le premier cas il y a eu détonation, dans le second, la dynamite a fui sous le choc et ne s'est enflammée que par le contact des gaz comburés; il y a explosion du deuxième ordre.

Le fait de ces deux ordres d'explosions, permet de comprendre comment des matières contenant une même proportion de nitroglycérine peuvent avoir des forces très inégales pour amener la rupture.

Cette propriété remarquable de la dynamite appartient à la plupart des substances explosives. La nitroglycérine, le coton-poudre, l'acide picrique, etc.; détonent par le fulminate de mercure; enflammés de toute autre façon, ils donnent l'explosion du deuxième ordre.

La poudre à tirer en grains ou en poussier ne détone pas par le fulminate, mais en employant de la nitroglycérine comme détonateur auxiliaire excité lui-même par le fulminate, on obtient la détonation de la poudre, très différente de l'explosion simple, qui paraît se produire dans toutes les conditions où cette substance a été utilisée jusqu'ici.

Voici un tableau résumant les observations faites :

|                                | Force explosive.      |                        | Poids<br>des gaz. | Chaleur dégagée.       |                       |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
|                                | 2 <sup>e</sup> ordre. | 1 <sup>er</sup> ordre. |                   | 1 <sup>er</sup> ordre. | 2 <sup>e</sup> ordre. |
| Fulminate de mercure . . . . . | "                     | 9,28                   | "                 | "                      | 752                   |
| Poudre à fusil B . . . . .     | 1,00                  | 4,34                   | 0,414             | 731                    | 732                   |
| Nitroglycérine . . . . .       | 4,80                  | 10,13                  | 0,800             | 1720                   | 1777                  |
| Coton-poudre . . . . .         | 3,00                  | 6,46                   | 0,850             | 1056                   | 1060                  |
| Acide picrique . . . . .       | 2,04                  | 5,50                   | 0,892             | 828                    | 868                   |
| Picrate de potassium . . . . . | 1,82                  | 5,31                   | 0,740             | 787                    | 852                   |
| "  de baryum . . . . .         | 1,71                  | 5,50                   | 0,719             | 671                    | 705                   |
| "  de strontium . . . . .      | 1,35                  | 4,51                   | 0,624             | 637                    | 745                   |
| "  de plomb . . . . .          | 1,55                  | 4,94                   | 0,668             | 555                    | 663                   |

(La poudre à fusil B faisant explosion a été prise comme unité de force).

On voit que c'est la poudre noire qui gagne le plus à être excitée par une contagion explosive spéciale.

La poudre, servant d'absorbant à la nitroglycérine dans une dynamite à base active, détone lorsque la dynamite est amorcée à la capsule.

La connaissance de ces faits permet de supprimer les puissants récipients que l'on employait autrefois pour développer la force explosive d'une matière. La poudre ordinaire ne fait explosion d'une manière complète qu'à la condition d'être enfermée dans des parois résistantes, lorsqu'on la tire de la manière ordinaire sous l'eau : lorsqu'elle est enfermée dans un vase de verre, le récipient éclate au premier moment de l'inflammation de la charge et une grande partie de la poudre se disperse dans l'eau ; si l'on emploie au contraire une fusée détonante, la poudre fait complètement explosion et l'effet destructeur est pour le moins aussi grand que celui de la charge tirée dans un vase résistant par la méthode ordinaire.

**552.** — M. Berthelot (*Sur la force des matières explosives d'après la thermo-chimie*, t. I, p. 89), explique la diversité des modes d'explosion par les théories thermodynamiques permettant d'en rendre compte, par une analyse convenable des phénomènes du choc. La variété des phénomènes explosifs dépend de la vitesse avec laquelle la réaction se propage et des pressions plus ou moins intenses qui en résultent.

Lorsqu'un poids tombe d'une certaine hauteur sur une matière explosive, on ne peut admettre que l'arrêt brusque du poids puisse produire assez de chaleur pour porter *toute* la masse de l'explosif à la température nécessaire à son explosion; on peut accepter au contraire, que les pressions qui résultent du choc exercé à la surface de la matière explosive choquée, sont trop soudaines pour se répartir uniformément dans toute la masse et que, par suite, la transformation de la force vive en chaleur a lieu surtout dans les premières couches atteintes par le choc. Si celui-ci est assez violent, ces couches peuvent être portées subitement vers 200° et elles se décomposent aussitôt en donnant une grande quantité de gaz. La production des 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, produit un nouveau choc plus violent sans doute que le premier sur les couches situées en dessous. La force vive de ce nouveau choc se change en chaleur dans les couches qu'il atteint d'abord. Elle en détermine l'explosion et cette alternative entre un choc développant une force vive qui se change en chaleur, et une production de chaleur qui élève la température des couches échauffées jusqu'au degré d'une explosion nouvelle capable de produire un choc; cette alternative transmet la réaction de couche en couche dans la masse toute entière. La propagation de la déflagration a lieu en vertu de phénomènes comparables à ceux qui donnent naissance à l'onde sonore.

Il se forme une *onde explosive* qui chemine avec une vitesse infiniment plus grande, que celle d'une simple inflammation provoquée par un corps en ignition et opérée dans des conditions où les gaz se détendent librement au fur et à mesure de leur production.

La réaction provoquée par le premier choc se propage avec une vitesse qui dépend de l'intensité du premier choc; 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. Or l'intensité du premier choc varie beaucoup avec la manière de le produire.

Il résulte de là que l'explosion d'une masse solide ou liquide, peut se développer suivant une infinité de lois différentes dont chacune

est déterminée, toutes choses égales d'ailleurs, par l'impulsion originelle. Plus le choc initial sera violent, plus la décomposition qu'il provoque sera brusque et plus les pressions exercées pendant le cours entier de cette décomposition seront considérables. Une seule et même substance pourra ainsi donner lieu aux effets les plus divers suivant le procédé de mise de feu.

Les amorces ont donc une grande importance ; elles règlent par leur nature le caractère même du choc initial et par suite le caractère de l'explosion toute entière. Le fulminate de mercure est le plus puissant détonateur à cause de la brusquerie de sa décomposition, jointe à la grandeur extraordinaire de la pression qu'il développe en détonant dans son propre volume.

Les amorces les meilleures ne sont pas cependant celles dont la décomposition est la plus brusque ; il faut encore tenir compte de la grandeur du travail qu'elles peuvent développer ; ainsi le chlorure d'azote, bien plus brusque que le fulminate, ne sait pas faire détoner le coton-poudre, et cela à cause du peu de chaleur qu'il développe et par conséquent de travail.

En fait, les matières explosives peuvent éprouver une grande variété de modes d'explosion que M. Berthelot renferme entre deux limites extrêmes : 1° la détonation de la matière explosive dans son propre volume atteignant le maximum de température et de pression, et par conséquent le maximum de vitesse que comporte la réaction chimique dans ces conditions ; 2° la combustion progressive, se transmettant de proche en proche, dans des conditions où le refroidissement abaisse la température au degré le plus bas qui soit compatible avec la continuation de la réaction. On conçoit qu'entre ces deux limites il puisse se produire, suivant les circonstances, tous les modes intermédiaires de propagation de la réaction, la combustion tendant à se transformer plus ou moins vite en détonation.

Parmi les décompositions multiples d'une même substance, celles qui développent le plus de chaleur sont celles qui engendrent aussi les effets explosifs les plus violents, toutes choses égales d'ailleurs.

*Explosions par influence.*

**553.** — On sait qu'une matière explosive détonant dans le voisinage d'une autre matière explosive provoque la détonation de celle-ci, sans qu'il y ait eu transmission de flamme de l'une à l'autre. Il n'est pas nécessaire de placer des cartouches de coton-poudre ou de dynamite en contact les unes avec les autres pour que l'éclatement de l'une d'elles assure la détonation générale; on peut les séparer d'une certaine quantité, et faire ce qu'on appelle des charges allongées. Nous avons examiné ce point précédemment (n<sup>os</sup> 302).

M. Berthelot explique ce curieux phénomène par l'hypothèse de l'existence de l'onde explosive de la façon suivante :

Si la matière chimiquement inactive qui transmet le mouvement explosif est fixée dans une situation déterminée, à la surface du sol, ou bien à la surface du rail sur lequel la première cartouche a été posée, ou bien encore maintenue par la pression d'une masse d'eau profonde, au sein de laquelle on produit la première détonation, la propagation du mouvement dans cette matière ne saurait guère avoir lieu que sous la forme d'une onde d'ordre purement physique, onde dont le caractère est essentiellement différent de la première onde qui a présidé à l'explosion, celle-ci étant d'ordre chimique et physique à la fois, et développée dans le corps explosif lui-même. Tandis que la première onde, d'ordre chimique, se propage avec une intensité constante, la deuxième onde, d'ordre physique, transmet l'ébranlement, à partir du centre explosif, et tout autour de lui, avec une intensité qui décroît en raison inverse du carré de la distance. Au voisinage même du centre, les déplacements des molécules peuvent rompre la cohésion de la masse et la disperser ou la broyer, en agrandissant la chambre d'explosion, si l'on opère dans une cavité. Mais à une distance fort courte et dont la grandeur dépend de l'élasticité du milieu ambiant, ces mouvements, confus à l'origine, se régularisent pour donner naissance à l'onde proprement dite, caractérisée par des compressions et des déformations subites de la matière. L'amplitude de ces oscillations ondulatoires dépend de la grandeur de l'impulsion initiale. Elles cheminent avec une



vitesse extrême, tout en diminuant sans cesse d'intensité, et elles conservent leur régularité jusqu'aux points où le milieu est interrompu. Là ces compressions et déformations subites changent de nature et se transforment en un mouvement d'impulsion, c'est-à-dire, qu'elles reproduisent le choc. Si elles agissent alors sur une nouvelle cartouche, elles peuvent en déterminer l'explosion. Ce choc sera d'ailleurs atténué avec la distance, en raison du décroissement que celle-ci apporte dans l'intensité. Par suite, les caractères de l'explosion pourront être modifiés. Les effets diminueront ainsi jusqu'à une certaine distance de l'origine, distance au delà de laquelle l'explosion cessera de se produire.

*Vitesse de l'onde explosive.*

554. — MM. Berthelot et Vieille ont déterminé la propagation de l'explosion dans les gaz et diverses matières explosives.

Ils remplissent avec un mélange tonnant, sous une pression donnée, un tube d'une grande longueur; l'inflammation est déterminée à l'une des extrémités par l'étincelle électrique. La flamme interrompt deux courants électriques placés en des points du trajet dont l'intervalle est exactement mesuré. La durée écoulée entre les deux interruptions est évaluée par le chronographe Le Boulengé (Pour les détails des appareils voir : Berthelot : *Sur la force des matières explosives d'après la thermochimie*, t. I, p. 133).

On a pu, d'après les expériences, déterminer les caractères de l'onde explosive. Cette onde se propage uniformément avec une vitesse qui dépend essentiellement de la nature du mélange explosif. et qui est à peu près indépendante du diamètre des tubes, à moins que ceux-ci ne soient capillaires. Elle est également indépendante de la pression; c'est là une propriété fondamentale, car elle établit que la vitesse de propagation de l'onde explosive est régie par les mêmes lois générales que la vitesse du son. Enfin la force vive de translation des molécules du système gazeux produit par la réaction et renfermant toute la chaleur développée par celle-ci, est proportionnelle à la force vive du même système gazeux contenant seule-

ment la chaleur qu'il retient à zéro ; c'est là une relation essentielle que l'expérience confirme et qui permet de calculer la vitesse de l'onde explosive dans les mélanges les plus divers.

Il semble que dans l'acte de l'explosion un certain nombre de molécules gazeuses, parmi celles qui forment les tranches enflammées tout d'abord, soient lancées en avant, avec toute la vitesse répondant à la température maximum développée par la combinaison chimique. Leur choc détermine la propagation de celle-ci dans les tranches voisines, et le mouvement se reproduit de tranche en tranche avec une vitesse comparable à celle des molécules elles-mêmes.

La propagation de l'onde explosive est un phénomène tout à fait distinct de la combustion ordinaire. Elle a lieu seulement lorsque la tranche enflammée exerce la pression la plus grande possible sur la tranche voisine, c'est-à-dire, lorsque les molécules enflammées conservent la presque totalité de la chaleur développée par la réaction chimique. Cet état constitue le régime de détonation.

Au contraire, le régime de combustion ordinaire répond à un système dans lequel la chaleur est perdue en grande partie par rayonnement, conductibilité, détente, etc.; à l'exception de la très petite quantité indispensable pour porter les parties voisines à la température de combustion : l'excès de la chaleur tend ici à se réduire à zéro et par suite, la vitesse de translation des molécules, c'est-à-dire, l'excès de pression de la tranche enflammée sur la tranche voisine.

La vitesse de l'onde explosive peut être représentée par la même formule que la translation des molécules gazeuses d'après Clausius :

$$V = 29.354 \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

T, étant la température théorique de la réaction apportée au zéro absolu.

$\rho$ , densité du gaz par rapport à l'air.

Voici quelques vitesses, par seconde, qui ont été relevées :

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Hydrogène + oxygène (combustion complète) . . .                                   | 2810 mètres.                         |
| Oxyde de carbone + oxygène . . . . .  | 1089 "                               |
| Acétylène et oxygène . . . . .  | 2482 "                               |
| Oxyde de carbone et hydrogène . . . . .   | 2236 "                               |
| Protoxyde d'azote et hydrogène . . . . .  | 2884 "                               |
| Nitroglycérine . . . . .  | 1023 "                               |
| Coton-poudre à l'hydrocellulose . . . . .   | 6184 "                               |
| Coton-poudre pulvérulent comprimé (cubes de 4 <sup>mm</sup> ). . . . .            | 3903 à 4267 ( $\Delta = 0,9$ à 1,2). |
| Id.                   id.                   id. . . . .                           | 4818 à 6238 ( $\Delta = 1,4$ ).      |
| Id.                   id.                   id. . . . .                           | 5200 (moyenne générale).             |
| Coton-poudre granulé (tube de 2 <sup>mm</sup> ) . . . . .                         | 4770 ( $\Delta = 1,2$ ).             |
| Nitromannite pulvérulente comprimée . . . . .                                     | 6911 à 7082.                         |
| Dynamite n° 1 de Vonges (tubes de 3 <sup>mm</sup> ) . . . . .                     | 2333 à 2753.                         |
| Id.                   id.                   (tubes de 6 <sup>mm</sup> ) . . . . . | 1916 à 3180.                         |
| Panclastite (1 vol. CS <sup>2</sup> + 1 vol. AzO <sup>2</sup> ) . . . . .         | 4685.                                |

Un choc suffisamment intense provoque l'explosion d'un corps par suite de sa transformation en chaleur; celle-ci, on le sait, provoque infailliblement le phénomène explosif. On peut considérer un explosif chimique comme étant un agglomérat de molécules associées dans un état d'équilibre instable.

Les groupements des molécules sont faits d'une façon qui ne satisfait pas les affinités les plus fortes; leur association s'est faite avec perte de force vive, démontrée par un dégagement de chaleur, lequel est peu considérable.

Lorsqu'on chauffe un corps explosif, on lui restitue la force vive perdue et les molécules peuvent alors former de nouveaux groupements à affinités satisfaites; ces nouvelles combinaisons dégagent beaucoup de chaleur et sont la plupart gazeuses.

On doit, comme le dit M. Henri de Parville, considérer un explosif comme de l'énergie condensée à un degré très élevé. On peut assez exactement comparer un tel corps à un édifice dont la construction aurait exigé un labeur considérable et qui en s'écroulant tout à coup restituerait tout le travail dépensé pendant des années.

FIN.



# Table analytique des Matières.

## PREMIÈRE PARTIE.

### LA POUDRE NOIRE.

#### SECTION I.

##### ÉTUDE DES MATIÈRES PREMIÈRES.

#### CHAPITRE I.

##### SALPÊTRE.

###### § 1. — Généralités.

| Nos   | Pages |
|---|-------|
| 1. Composition chimique du salpêtre . . .                               | 3     |
| 2. Propriétés physiques; formes cristallines; formes commerciales . . . | 4     |
| 3. Action de la chaleur sur le salpêtre . . .                           | »     |
| 4. Solubilité du salpêtre aux différentes températures . . . . .        | »     |
| 5. Propriétés chimiques; décomposition par la chaleur. . . . .          | 6     |
| 6. Mélange de salpêtre et de charbon; formule de réaction . . . . .     | »     |
| 7. Calculs numériques relatifs à ce mélange . . . . .                   | 7     |
| 8. Influence de l'augmentation du carbone. . . . .                      | 8     |
| 9. Mélange de salpêtre et de soufre . . .                               | »     |
| 10. Mélange ternaire : salpêtre, soufre, carbone. . . . .               | 9     |
| 11. Températures de réaction entre les éléments de la poudre. . . . .   | »     |
| 12. Origines du nitre . . . . .   | »     |

| Nos   | Pages |
|---|-------|
| 13. Génération des nitrates naturels . . .                                    | 10    |
| 14. Théories de la nitrification . . . . .                                    | 11    |
| 15. Union directe de l'azote et de l'oxygène par l'étincelle électrique . . . | »     |
| 16. Action des effluves électriques . . . .                                   | 13    |
| 17. Nitrification de l'ammoniaque . . . .                                     | »     |
| 18. Nitrification par les ferments organisés. . . . .                         | 16    |
| Travaux de MM. Müntz et Schloesing. . .                                       | »     |
| 19. Travaux de M. Winogradsky . . . . .                                       | 17    |
| 20. Conditions de la nitrification . . . .                                    | 18    |

###### § 2. — Extraction du salpêtre brut.

|  |    |
|--|----|
| 21. Salpêtre de l'Inde . . . . .   | 19 |
| 22. Salpêtre de Ceylan . . . . .   | 20 |
| 23. Nitrières artificielles . . . . .  | »  |
| 24. Nitre du Chili; sa composition, recherches sur la formation des gisements. . . | »  |
| 25. Composition moyenne des sels extraits. . .                                     | 22 |
| 26. Exploitation du minerai . . . . .  | »  |
| 27. Analyses des nitrates de bonnes fabriques. . . . .                             | 23 |

###### § 3. — Conversion du nitre sodique.

|   |   |
|---|---|
| 28. Principes de la conversion . . . . .                    | » |
| 29. Conversion par le chlorure de potassium. . . . .        | » |
| 30. Gisements de chlorure de potassium à Stassfurt. . . . . | » |

| Nos   | Pages |
|---|-------|
| 31. Composition des couches. . . . .  | 24    |
| 32. Traitement de la carnalite . . . . .  | »     |
| 33. Opérations de la conversion. . . . .  | »     |
| 34. Lavage du salpêtre de conversion. . . . .                                     | 26    |
| 35. Chlorure de potassium de l'eau de la mer . . . . .                            | »     |
| 36. Chlorure de potassium des varechs . . . . .                                   | »     |
| 37. Conversion par le carbonate de potassium des vinasses de betteraves . . . . . | 27    |
| 38. Conversion par le carbonate de potassium du suint des laines . . . . .        | »     |
| 39. Extraction du salpêtre des sels d'osmose des fabriques de sucre. . . . .      | 28    |
| <br><b>§ 4. — Raffinage du salpêtre brut.</b>                                     |       |
| 40. But du raffinage, opérations principales. . . . .                             | 29    |
| 41. Dissolution du salpêtre brut. . . . .   | »     |
| 42. Collage. . . . .  | 30    |
| 43. Cristallisation . . . . .   | »     |
| 44. Lavage des cristaux . . . . .   | 31    |
| 45. Séchage . . . . .   | »     |
| 46. Produits du raffinage . . . . .   | »     |
| 47. Traitement des eaux-mères . . . . .   | 32    |
| 48. Traitement des écumes, boues, balayures . . . . .                             | 33    |
| 49. Degré de raffinage . . . . .  | 34    |
| <br><b>§ 5. — Analyses du salpêtre.</b>   |       |
| 50. But du dosage du salpêtre brut. . . . .                                       | »     |
| 51. Procédé Pelouze. . . . .  | »     |
| 52. Procédé Schloesing-Jean . . . . .   | 38    |
| 53. Dosage de l'eau . . . . .   | 41    |
| 54. Dosage des matières insolubles dans l'eau . . . . .                           | »     |
| 55. Dosage du chlore par précipitation . . . . .                                  | »     |
| 56. Dosage du chlore par voie volumétrique . . . . .                              | 42    |
| 57. Dosage de la chaux. . . . .   | 44    |
| 58. Dosage de la magnésie . . . . .   | 45    |
| 59. Recherche de l'azotate de sodium . . . . .                                    | 46    |
| 60. Essai du nitre raffiné à un titre donné. . . . .                              | »     |
| 61. Moyens de qualifier un nitrate . . . . .                                      | 48    |
| <br><b>§ 6. — Nitrates divers.</b>  |       |
| 62. Étude du nitrate de sodium. — Propriétés physiques et chimiques . . . . .     | »     |

| Nos   | Pages |
|---|-------|
| 63. Étude du nitrate d'ammonium. — Propriétés physiques et chimiques. . . . . | 50    |
| 64. Étude du nitrate de baryum. — Propriétés physiques et chimiques . . . . . | 51    |

## CHAPITRE II.

### CHARBON DE BOIS.

#### § 1. — Généralités sur les bois et le charbon de bois.

|  |    |
|--|----|
| 65. Constitution chimique du bois . . . . .  | 52 |
| 66. Composition élémentaire des diverses espèces de bois . . . . .                   | 53 |
| 67. Cendres du bois. . . . .   | »  |
| 68. Expériences de Violette relatives à la carbonisation du bois . . . . .           | 54 |
| 69. Influence de la température de carbonisation. . . . .                            | »  |
| 70. Nature du charbon obtenu à diverses températures . . . . .                       | »  |
| 71. Rendement . . . . .  | 55 |
| 72. Composition élémentaire du charbon de bois cuit à diverses températures. . . . . | »  |
| 73. Hygroscopicité des divers charbons de bois . . . . .                             | »  |
| 74. Conclusions pratiques. . . . .   | 56 |
| 75. Influence de la durée de la carbonisation . . . . .                              | »  |
| 76. Influence de la nature du bois . . . . .   | 57 |

#### § 2. — Carbonisation du bois.

|  |    |
|--|----|
| 77. Action de la chaleur sur le bois cuit en vase clos . . . . .         | »  |
| 78. Produits principaux de la distillation du bois . . . . .             | 58 |
| 79. Choix du bois . . . . .  | 59 |
| 80. Procédés de carbonisation . . . . .                                  | »  |
| 81. Carbonisation en cylindres . . . . .                                 | »  |
| 82. Travail des cylindres; avantages et défauts . . . . .                | 60 |
| 83. Perfectionnements apportés à la carbonisation en cylindres . . . . . | 61 |
| 84. Appareils Maurouard . . . . .  | »  |
| 85. Distillation par la vapeur d'eau surchauffée. . . . .                | »  |

| N <sup>os</sup>   | Pages |
|---|-------|
| 86. Appréciation des méthodes de carbonisation . . . . .      | 63    |
| 87. Inflammation spontanée du charbon de bois frais . . . . . | »     |
| <b>§ 3. — Propriétés générales des charbons de bois.</b>      |       |

|  |    |
|--|----|
| 88. Propriétés du charbon de bois roux . . . . .                                 | 64 |
| 89. Pourquoi le charbon roux donne des poudres vives. . . . .                    | »  |
| 90. Propriétés du charbon noir . . . . .   | 66 |
| 91. Substances qui peuvent remplacer le charbon de bois dans la poudre . . . . . | »  |

**§ 4. — Analyse du charbon de bois.**

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 92. Analyses diverses . . . . . | » |
|---------------------------------|---|

**CHAPITRE III.**

**SOUFRE.**

**§ 1. — Généralités sur le soufre.**

|   |    |
|---|----|
| 93. Etat naturel du soufre . . . . .                                  | 69 |
| 94. Propriétés physiques . . . . .                                    | 70 |
| 95. Action de la chaleur . . . . .                                    | »  |
| 96. Dissolvants du soufre. . . . .                                    | 71 |
| 97. Variétés de soufre . . . . .                                      | »  |
| 98. Propriétés chimiques . . . . .                                    | 72 |
| 99. Usages. . . . .   | 73 |
| 100. Emploi du soufre dans l'extinction des feux de cheminée. . . . . | »  |

**§ 2. — Industrie du soufre.**

|   |    |
|---|----|
| 101. Formation du soufre dans la nature. . . . .  | 74 |
| 102. Gisements principaux. . . . .  | 76 |
| 103. Classement du minerai . . . . .  | 77 |
| 104. Extraction du soufre des minerais par fusion . . . . .                               | »  |
| 105. Extraction du soufre des minerais par distillation . . . . .                         | »  |
| 106. Extraction du soufre des minerais par la méthode des calcaroni . . . . .             | 78 |
| 107. Extraction du soufre des minerais par le procédé de M. De la Tour Dubreuil . . . . . | 79 |

| N <sup>os</sup>  | Pages |
|--|-------|
| 108. Extraction du soufre des minerais par la vapeur d'eau . . . . .       | 79    |
| 109. Extraction du soufre des minerais par le sulfure de carbone . . . . . | »     |
| 110. Composition moyenne des sulfures bruts . . . . .                      | 80    |

**§ 3. — Extraction du soufre de ses combinaisons.**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 111. Pyrite de fer. . . . .      | 81 |
| 112. Gaz de houille . . . . .    | 82 |
| 113. Mares de soude. . . . .     | »  |
| 114. Sulfates naturels . . . . . | 84 |

**§ 4. — Raffinage du soufre.**

|  |    |
|--|----|
| 115. Appareil Lamy. Soufre en fleurs. Soufre en canons . . . . . | 85 |
| 116. Appareil de Court et Déjardin . . . . .                     | 86 |
| 117. Acidité du soufre en fleurs . . . . .                       | 87 |

**§ 5. — Analyse du soufre.**

|  |   |
|--|---|
| 118. Recherche de l'acidité . . . . .          | » |
| 119. Recherche des matières terreuses. . . . . | » |
| 120. Recherche de l'arsenic . . . . .          | » |

**SECTION II.**

**FABRICATION DE LA POUDRE NOIRE.**

**CHAPITRE I.**

**TRITURATION, MÉLANGE ET COMPRESSION DES MATIÈRES PREMIÈRES. GRENAGE, LISSAGE, SÉCHAGE ET ÉPOUSSETAGE.**

**§ 1. — Trituration, mélange et compression.**

|  |    |
|--|----|
| 121. Variation des proportions des matières premières . . . . .      | 91 |
| 122. Composition de la poudre noire dans différents pays . . . . .   | 92 |
| 123. Opérations successives de la fabrication de la poudre . . . . . | 93 |

| N <sup>os</sup>   | Pages |
|---|-------|
| 124. Procédé des pilons . . . . .   | 94    |
| 125. Procédé des meules. Meules en pierre, meules en fonte, meules suspendues . . . . . | 96    |
| 126. Modes de travail des meules . . . . .  | 98    |
| 127. Conduite du travail sous les meules. »   | »     |
| 128. Procédé des tonnes, dit révolutionnaire . . . . .                                  | 99    |
| 129. Procédé mixte des tonnes et des pilons . . . . .                                   | 100   |
| 130. Procédé mixte des tonnes et des meules . . . . .                                   | 101   |
| 131. Pulvérisation du soufre. . . . .   | »     |
| 132. Trituration des composés binaires dans les tonnes . . . . .                        | 102   |
| 133. Dosage des composés ternaires . . . . .  | 103   |
| 134. Trituration et mélange des composés ternaires dans les tonnes . . . . .            | »     |
| 135. Trituration, mélange et compression sous les meules . . . . .                      | 104   |
| 136. Méthode de fabrication simplifiée . . . . .  | »     |
| 137. Méthode des tonnes, meules et presse hydraulique . . . . .                         | 103   |
| 138. Presse hydraulique à chaud. . . . .  | 106   |
| <b>§ 2. — Grenage de la poudre.</b>   |       |
| 139. Influence du grenage sur la vivacité de la poudre . . . . .                        | 107   |
| 140. Grenoir Lefèvre . . . . .  | »     |
| 141. Grenoir congrève ou Grûson . . . . .   | 108   |
| 142. Grenage des poudres à gros grains . . . . .  | 109   |
| <b>§ 3. — Lissage de la poudre.</b>   |       |
| 143. Principe du lissage . . . . .  | 110   |
| 144. Tonnes lissoires . . . . .   | »     |
| 145. Travail du lissage. . . . .  | 111   |
| 146. Causes qui influent sur le lissage . . . . .                                       | »     |
| <b>§ 4. — Séchage de la poudre.</b>   |       |
| 147. Principes du séchage . . . . .   | 112   |
| 148. Séchage par la vapeur d'eau . . . . .  | »     |
| 149. Séchage par courant d'air chaud. . . . .   | »     |
| <b>§ 5. — Égalisage et époussetage.</b>   |       |
| 150. Appareil d'égalisage et d'époussetage . . . . .                                    | 113   |

## CHAPITRE II.

### POUDRES SPÉCIALES.

| N <sup>os</sup>                            | Pages |
|--|-------|
| 151. Poudres de chasse . . . . .           | 115   |
| 152. Poudres de mine . . . . .             | 116   |
| 153. Charges comprimées. . . . .           | 117   |
| 154. Principes des poudres progressives. » | »     |
| 155. Régularité des poudres. . . . .       | 119   |
| 156. Poudres à gros grains . . . . .       | »     |
| 157. Poudres moulées diverses . . . . .    | 120   |
| 158. Poudre brune dite chocolat . . . . .  | »     |

## SECTION III.

### PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES POUDRES.

## CHAPITRE I.

### PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

#### § 1. — Caractères physiques des poudres.

|   |     |
|---|-----|
| 159. Caractères généraux. . . . .                               | 123 |
| 160. Nomenclature et signalement des poudres belges . . . . .   | 124 |
| 161. Densités des poudres . . . . .                             | 128 |
| 162. Recherche de la densité par la méthode du flacon . . . . . | »   |
| 163. Densité au mercure; densimètre Mallet-Bianchi . . . . .    | 130 |
| 164. Densimètre Bode . . . . .                                  | 134 |
| 165. Densimètre Rieq . . . . .                                  | 134 |
| 166. Densité gravimétrique. Gravimètre. . . . .                 | 135 |

#### § 2. — Épreuves de réception des poudres.

|   |     |
|---|-----|
| 167. Aspect physique . . . . .            | 136 |
| 168. Grosseur des grains . . . . .        | »   |
| 169. Densité gravimétrique . . . . .      | »   |
| 170. Densité absolue . . . . .            | 137 |
| 171. Essai d'hygroscopicité . . . . .     | »   |
| 172. Combustion et inflammation . . . . . | »   |

## CHAPITRE II.

### ANALYSE DE LA POUDRE.

|  |     |
|--|-----|
| 173. Procédé réglementaire Chandelon . . . . . | 138 |
| 174. Dosage de l'humidité . . . . .            | »   |



| N <sup>os</sup>  | Pages |
|--|-------|
| 175. Dosage du salpêtre . . . . .                                  | 139   |
| 176. Dosage du soufre . . . . .                                    | 140   |
| 177. Dosage et analyse du charbon de bois.                         | 141   |
| 178. Méthode Chandelon simplifiée . . . . .                        | »     |
| 179. Critique de la méthode Chandelon . . . . .                    | »     |
| 180. Dosage de l'eau par le vide sec . . . . .                     | 142   |
| 181. Dosage du salpêtre par lévigation . . . . .                   | »     |
| 182. Dosage du salpêtre par la méthode<br>Schloesing . . . . .     | 143   |
| 183. Dosage du soufre par lévigation . . . . .                     | »     |
| 184. Dosage du soufre sous forme de<br>sulfate de baryum . . . . . | »     |

### CHAPITRE III.

#### THÉORIE CHIMIQUE DE LA COMBUSTION DE LA POUDRE.

|   |     |
|---|-----|
| 185. Température d'inflammation de la<br>poudre . . . . . | 143 |
|---|-----|

| N <sup>os</sup>  | Pages |
|--|-------|
| 186. Formule de décomposition de Che-<br>vreul . . . . .         | 143   |
| 187. Travaux de Bunsen et Schischkoff . . . . .                  | 146   |
| 188. Travaux de Linck et Kayrol. . . . .                         | 147   |
| 189. Recherches de Federow . . . . .                             | 149   |
| 190. Recherches de Nobel et Abel. . . . .                        | 150   |
| 191. Théorie de M. Berthelot . . . . .                           | 155   |
| 192. Chaleur dégagée par la combustion<br>de la poudre . . . . . | 158   |

### CHAPITRE IV.

#### POUDRES DIVERSES A BASE DE NITRATES.

|  |     |
|--|-----|
| 193. Compositions de quelques poudres<br>en usage dans les mines . . . . . | 159 |
|--|-----|

## DEUXIÈME PARTIE.

### CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA FORCE DES EXPLOSIFS.

#### CHAPITRE I.

##### ÉTUDES THÉORIQUES.

|   |     |
|---|-----|
| 194. Effets mécaniques produits par l'ex-<br>plosion . . . . .                                  | 164 |
| 195. Valeur du potentiel. . . . .   | »   |
| 196. Chaleur dégagée par l'explosion;<br>calorie . . . . .                                      | 165 |
| 197. Chaleurs spécifiques . . . . .   | 166 |
| 198. Chaleurs moléculaires. . . . .   | 167 |
| 199. Chaleurs spécifiques des gaz à pres-<br>sion constante. . . . .                            | »   |
| 200. Chaleurs spécifiques des gaz à<br>volume constant . . . . .                                | 168 |
| 201. Tableau des poids atomiques des<br>corps simples . . . . .                                 | »   |
| 202. Principes de thermo-chimie . . . . .   | »   |
| 203. Détermination théorique de la cha-<br>leur dégagée par l'explosion d'un<br>corps . . . . . | 169 |
| 204. Exemples de calculs numériques . . . . .   | 170 |

|   |     |
|---|-----|
| 205. Tableau des chaleurs de formation<br>des principales combinaisons chi-<br>miques . . . . .             | 171 |
| 206. Calcul numérique de la chaleur de<br>détonation de la nitroglycérine . . . . .                         | 173 |
| 207. Cas où le corps n'est pas à combus-<br>tion complète . . . . .   | 174 |
| 208. Expression de la chaleur dégagée<br>sous volume constant . . . . .                                     | 175 |
| 209. Recherche du volume des gaz<br>dégagés par une explosion au<br>moyen des poids spécifiques . . . . .   | 177 |
| 210. Recherche du volume des gaz<br>dégagés par une explosion au<br>moyen des volumes moléculaires. . . . . | 178 |
| 211. Poids du litre de quelques gaz . . . . .   | 179 |
| 212. Recherche de la température de l'ex-<br>plosion . . . . .  | 180 |
| 213. Calcul de la pression . . . . .  | 181 |
| 214. Définition de la force explosive . . . . .   | »   |
| 215. Expression algébrique de la force<br>explosive . . . . .   | »   |

| N <sup>os</sup>  | Pages |
|--|-------|
| 216. Calcul de la pression pour une densité de chargement donnée . . . . . | 182   |
| 217. Exemple de calcul complet de la force d'un explosif . . . . .         | 184   |
| 218. Cas où l'explosif abandonne des résidus solides. . . . .              | 185   |
| 219. Chaleurs spécifiques de quelques substances . . . . .                 | 186   |
| 220. Densités et volumes moléculaires de quelques corps . . . . .          | 187   |

| N <sup>os</sup>  | Pages |
|--|-------|
| <b>CHAPITRE II.</b>  |       |
| PROCÉDÉS EMPIRIQUES POUR L'ÉVALUATION DE LA FORCE DES MATIÈRES EXPLOSIVES. |       |
| 221. Méthode Abel basée sur l'emploi de blocs de plomb . . . . .           | 188   |
| 222. Méthode par écrasement de cylindres de plomb . . . . .                | 189   |
| 223. Méthode par cintrage de plaques d'acier . . . . .                     | »     |
| 224. Méthode par embouissage . . . . .                                     | »     |
| 225. Appareil Quinan . . . . .   | »     |

## TROISIÈME PARTIE.

### POUDRES D'AMORCES.

#### SECTION I.

##### POUDRES A BASE DE CHLORATE DE POTASSIUM.



#### CHAPITRE I.

##### MATIÈRES PREMIÈRES.

###### § 1. — Étude du chlorate de potassium.

|   |     |
|---|-----|
| 226. Préparation dans les laboratoires . . . . .                                  | 193 |
| 227. Préparation industrielle . . . . .   | 194 |
| 228. Propriétés physiques et chimiques. Essais du chlorate de potassium . . . . . | 196 |
| 229. Recherche du chlorure de calcium. . . . .                                    | 200 |
| 230. Recherche du salpêtre . . . . .  | »   |
| 231. Dosage du chlorate de potassium . . . . .                                    | »   |
| 232. Étude du chlorate d'ammonium. . . . .  | »   |

###### § 2. — Étude du sulfure d'antimoine.

|  |     |
|--|-----|
| 233. Propriétés physiques et chimiques. . . . .                        | 201 |
| 234. Essais du sulfure d'antimoine. — Recherche de l'arsenic . . . . . | »   |

|  |     |
|--|-----|
| 235. Recherche de la galène . . . . .    | 102 |
| 236. » du sulfure de fer . . . . .       | »   |
| 237. » du graphite . . . . .             | »   |
| 238. » du bioxyde de manganèse . . . . . | »   |

#### CHAPITRE II.

##### FABRICATION DE LA POUDRE MURIATIQUE.

|   |     |
|---|-----|
| 239. Poudre pour étoupilles et vis porte-feu . . . . .    | 203 |
| 240. Détails de fabrication . . . . .                     | »   |
| 241. Poudres d'amorces pour cartouches de fusil . . . . . | 204 |
| 242. Compositions fulminantes diverses. . . . .           | 205 |

#### CHAPITRE III.

##### GÉNÉRALITÉS SUR LES POUDRES AU CHLORATE DE POTASSIUM.

|   |     |
|---|-----|
| 243. Caractères brisants des poudres au chlorate de potassium . . . . .   | 207 |
| 244. Étude de la poudre de Berthollet . . . . .                           | »   |
| 245. Étude du mélange chlorate et carbone à combustion complète . . . . . | 210 |

| Nos  | Pages |
|--|-------|
| 246. Étude du mélange chlorate et soufre à combustion complète . . . . .       | 211   |
| 247. Étude du mélange chlorate, soufre, carbone, à combustion complète. »      | »     |
| 248. Étude du mélange chlorate et sucre à combustion complète . . . . .        | 212   |
| 249. Étude du mélange nitrate et carbone à combustion complète . . . . .       | »     |
| 250. Étude du mélange nitrate et soufre à combustion complète . . . . .        | 213   |
| 251. Étude du mélange nitrate, soufre, carbone à combustion complète . . . . . | »     |
| 252. Composition de quelques poudres au chlorate . . . . .                     | 214   |

### CHAPITRE IV.

#### ANALYSE DES MÉLANGES PYROTECHNIQUES.

|  |     |
|--|-----|
| 253. Essai qualitatif des mélanges pyrotechniques . . . . .  | 218 |
| 254. Essai quantitatif des mélanges pyrotechniques . . . . . | 220 |

### SECTION II.

#### POUDRES A BASE DE FULMINATE DE MERCURE ET SES DÉRIVÉS.

### CHAPITRE I.

#### FULMINATE DE MERCURE.

|  |     |
|--|-----|
| 255. Constitution chimique du fulminate de mercure . . . . . | 221 |
|--|-----|

| Nos   | Pages |
|---|-------|
| 256. Préparation industrielle . . . . .                                 | 221   |
| 257. Propriétés physiques et chimiques . . . . .                        | 223   |
| 258. Évaluation de la force du fulminate de mercure . . . . .           | 224   |
| 259. Fulminate de mercure mêlé de salpêtre . . . . .                    | 225   |
| 260. Poudre fulminante pour capsules . . . . .                          | 226   |
| 261. Poudre fulminante pour capsules à balle (tir de chambre) . . . . . | 227   |
| 262. Fulminate de mercure mêlé de chlorate de potassium . . . . .       | »     |
| 263. Compositions fulminantes diverses pour capsules . . . . .          | »     |
| 264. Capsules pour dynamites et coton-poudre . . . . .                  | 228   |

### CHAPITRE II.

#### EXPLOSIFS DIVERS DE LA SÉRIE CYANIQUE.

|  |     |
|--|-----|
| 265. Étude de l'acide isocyanurique . . . . .  | 229 |
| 266. Étude de la cyanodimopricrine . . . . .   | 230 |
| 267. Étude de la trinitracétonitrile . . . . . | »   |
| 268. Étude de la binitracétonitrile . . . . .  | 231 |
| 269. Étude du nitroforme . . . . .             | »   |

# QUATRIÈME PARTIE.

## LES EXPLOSIFS CHIMIQUES.

| Nos  | Pages | Nos   | Pages |
|--|-------|---|-------|
| <b>SECTION I.</b>  |       |   |       |
| CORPS EXPLOSIFS PROVENANT DES<br>HYDROCARBURES ET DE LEURS DÉRIVÉS<br>DE LA SÉRIE GRASSE<br>PAR SUBSTITUTIONS NITRÉES. |       |   |       |
| <b>CHAPITRE I.</b>   |       |   |       |
| DÉRIVÉS NITRÉS DES HYDROCARBURES.  |       |   |       |
| 270. Généralités sur les explosifs chimiques . . . . .   | 235   | 282. Éther glycol diazotique — préparation — propriétés — force . . . | 244   |
| 271. Nitroforme . . . . .  | 236   | <b>CHAPITRE IV.</b>   |       |
| 272. Formène bromonitré . . . . .  | »     | ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS<br>TRIVALENTS (GLYCÉRINES).              |       |
| 273. Formène tétranitré . . . . .  | »     | —   |       |
| <b>CHAPITRE II.</b>  |       | <b>§ 1. — Nitroglycérine.</b>   |       |
| ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS<br>MONOVALENTS.   |       |   |       |
| 274. Généralités sur les substitutions nitrées dans les alcools . . . . .  | 237   | 283. Composition chimique de la nitroglycérine. . . . .               | 246   |
| 275. Éthers azotiques des alcools proprement dits . . . . .  | 238   | 284. Préparation dans les laboratoires . . .                          | »     |
| 276. Chaleurs de formation des éthers nitriques en général . . . . .   | 239   | 285. Fabrication industrielle . . . . .                               | 248   |
| 277. Éthers nitriques des alcools monovalents — nomenclature des éthers nitriques . . . . .                            | »     | 286. Méthode de Sundström — regagnage des acides . . . . .            | »     |
| 278. Étude de l'éther méthylazotique — préparation — propriétés et force. . . . .                                      | 240   | 287. Méthode Boutny et Faucher . . . . .                              | 249   |
| 279. Étude de l'éther éthylazotique — préparation — propriétés et force. . . . .                                       | 241   | 288. Méthode Champion et Pellet . . . . .                             | 250   |
| 280. Étude de l'éther amylozotique — préparation — propriétés et force. . . . .  | 242   | 289. Propriétés de la nitroglycérine . . .                            | »     |
| <b>CHAPITRE III.</b>   |       | 290. Étude de la force de la nitroglycérine . . . . .                 | 252   |
| ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS<br>BIVALENTS (GLYCOLS).   |       |   |       |
| 281. Généralités sur les glycols . . . . .   | 244   | 291. Modes de décomposition de la nitroglycérine. . . . .             | »     |
|  |       | 292. Usages; dangers de l'emploi de la nitroglycérine . . . . .       | 254   |
|  |       | <b>§ 2. — Dynamites à bases inertes.</b>                              |       |
|  |       | 293. Composition de la dynamite . . . . .                             | »     |
|  |       | 294. Corps absorbants : kieselguhr, randanite, etc. . . . .           | 255   |
|  |       | 295. Observations sur le choix de la matière absorbante . . . . .     | 256   |
|  |       | 296. Préparation industrielle de la dynamite . . . . .                | 257   |
|  |       | 297. Propriétés de la dynamite . . . . .                              | 258   |
|  |       | 298. Explosion de la dynamite . . . . .                               | 259   |
|  |       | 299. Amorçage d'une cartouche de dynamite . . . . .                   | »     |
|  |       | 300. Tubes et cordons détonants. . . . .                              | 260   |

| N <sup>os</sup>   | Pages |
|---|-------|
| 301. Détonation de la dynamite par influence . . . . .                              | 261   |
| 302. Ratés de mines . . . . .   | »     |
| 303. Dynamite gelée; propriétés nouvelles . . . . .                                 | »     |
| 304. Dégel de la dynamite . . . . .   | 262   |
| 305. Force de la dynamite . . . . .   | 263   |
| <b>§ 3. — Dynamites à bases actives.</b>  |       |
| 306. Principe des dynamites à bases actives . . . . .                               | 264   |
| 307. Compositions diverses de dynamites à bases inertes et à bases actives. . . . . | »     |
| 308. Dynamites de Vonges . . . . .  | 265   |
| Dynamites Nobel . . . . .   | »     |
| Extradynamite Nobel . . . . .   | »     |
| Dynamites blanches . . . . .  | 266   |
| Dynamites rouges . . . . .  | »     |
| Dynamite cellulosée . . . . .   | »     |
| Dynamite noire . . . . .  | »     |
| Pandopollite . . . . .  | »     |
| Lithofracteurs . . . . .  | »     |
| Dynamite grise de Paullile . . . . .  | 267   |
| Dynamite Nobel à la baryte . . . . .  | »     |
| Carbodynamite . . . . .   | »     |
| Carbonite . . . . .   | »     |
| Colonia-powder . . . . .  | »     |
| Sébastine . . . . .   | 268   |
| New-Sébastine . . . . .   | »     |
| Explosifs Engels Jacobs . . . . .   | »     |
| Ammoniac Krut . . . . .   | »     |
| Dynamites de Matagne . . . . .  | 269   |
| Grisoutine M . . . . .  | »     |
| Grisoutine B . . . . .  | »     |
| Fulminatine . . . . .   | »     |
| Pâte explosive . . . . .  | »     |
| Mataziette . . . . .  | 270   |
| Poudre explosive de Brain . . . . .   | »     |
| Séranine ou poudre de Horsley . . . . .   | »     |
| Poudre Hercule . . . . .  | »     |
| Gélignite . . . . .   | »     |
| Carbodynamite . . . . .   | »     |
| Méganite . . . . .  | 271   |
| Oriasite . . . . .  | »     |
| Poudre de Cologne . . . . .   | »     |
| Dualine de Dittmar . . . . .  | »     |
| Paléine de Langfrey . . . . .   | »     |
| Poudre Vulcain . . . . .  | 272   |

| N <sup>os</sup>   | Pages |
|---|-------|
| Dualines américaines . . . . .  | 272   |
| Vigorite . . . . .  | »     |
| Fortis . . . . .  | »     |
| Fulgurite . . . . .   | »     |
| Poudre ternaire du laboratoire du comité autrichien . . . . .                           | 273   |
| Poudre Atlas . . . . .  | »     |
| Poudre Géant . . . . .  | »     |
| Rendrock . . . . .  | »     |
| Poudre Mica . . . . .   | »     |
| Glyoxiline . . . . .  | »     |
| <b>§ 4. — Dynamites au fulmi-coton</b>  |       |
| 309. Généralités sur les dynamites au fulmi-coton . . . . .                             | 274   |
| 310. Dynamite au fulmi-coton non soluble . . . . .                                      | »     |
| 311. Dynamite au fulmi-coton soluble . . . . .  | »     |
| 312. Dynamite-gomme; gomme explosive — fabrication — propriétés — force . . . . .       | 275   |
| Gélatine dynamite . . . . .   | 276   |
| Dynamite-gomme jaune . . . . .  | »     |
| Dynamite-gomme blanche . . . . .  | 277   |
| Gélatine explosive de guerre — composition — fabrication — propriétés — force . . . . . | »     |
| 313. Essais divers faits sur la gélatine explosive de guerre . . . . .                  | 279   |
| 314. Dynamites-gommes diverses . . . . .  | 281   |
| 315. Nitrogélatines . . . . .   | 282   |
| 316. Forcites de Lewin . . . . .  | »     |
| Forcite américaine . . . . .  | 283   |
| Nitrolite . . . . .   | »     |
| 317. Explosif Abel-Dewar . . . . .  | »     |
| <b>§ 5. — Réception, épreuves et analyses des dynamites.</b>                            |       |
| 318. Examen physique des cartouches . . . . .   | 284   |
| 319. Épreuve d'acidité . . . . .  | »     |
| 320. » d'hygroscopicité . . . . .   | »     |
| 321. Dosage de l'eau . . . . .  | »     |
| 322. Résistance au choc . . . . .   | »     |
| 323. Dosage de la nitroglycérine . . . . .  | »     |
| 324. Analyse du corps absorbant . . . . .   | 285   |
| 325. Détermination des substances grasses, résines, soufre . . . . .                    | »     |

| N <sup>os</sup>   | Pages |
|---|-------|
| 326. Dosage du coton-poudre collodion. . . . .                  | 286   |
| 327. Dosage du coton-poudre fort. . . . .                       | »     |
| 328. Épreuve de stabilité par la chaleur. . . . .               | »     |
| 329. Essai d'exsudation par pression. . . . .                   | 287   |
| 330. Essai d'exsudation par pression et<br>chaleur . . . . .    | »     |
| 331. Essai d'exsudation par l'eau . . . . .                     | »     |
| 332. Essai d'exsudation par le froid et la<br>chaleur . . . . . | »     |

### CHAPITRE V.

#### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS TÉTRAVALENTS.

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 333. Étude de l'Érythrite. . . . . | 288 |
|------------------------------------|-----|

### CHAPITRE VI.

#### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS PENTAVALENTS.

|   |     |
|---|-----|
| 334. Étude de la Pinite, de la Quercite et<br>des dérivés nitrés. . . . . | 289 |
|---|-----|

### CHAPITRE VII.

#### ÉTHERS NITRIQUES DES ALCOOLS HEXAVALENTS.

|  |     |
|--|-----|
| 335. Étude de la mannite . . . . .   | 290 |
| 336. Étude de la nitromannite — fabri-<br>cation — propriétés — force. . . . . | »   |
| 337. Mannitane . . . . .   | 291 |
| Nitromannitane . . . . .   | »   |
| 338. Dulcite et dérivés nitrés . . . . .                                       | 292 |

### SECTION II.

#### DÉRIVÉS NITRÉS DES HYDRATES DE CARBONE.

### CHAPITRE I.

#### DÉRIVÉS NITRÉS DES GLUCOSES ET DES SUCRES.

|  |     |
|--|-----|
| 339. Division des hydrates de carbone. . . . . | 293 |
|--|-----|

| N <sup>os</sup>  | Pages |
|--|-------|
| 340. Étude de la nitroglucose . . . . .                      | 294   |
| 341. Étude de l'inosite et de la nitro-<br>inosite . . . . . | »     |
| 342. Étude de la nitrosaccharose . . . . .                   | »     |
| 343. Étude de la nitrolactose . . . . .                      | »     |

### CHAPITRE II.

#### DÉRIVÉS NITRÉS DES POLYGLUCOSIDES.

##### § 1. — Nitrodextrine.

|  |     |
|--|-----|
| 344. Étude de la nitrodextrine . . . . . | 296 |
| 345. » de la nitrogomme . . . . .        | »   |
| 346. » des amidons nitriques. . . . .    | »   |
| 347. Xyloïdine de Braconnot . . . . .    | »   |
| 348. Amidon diazotique . . . . .         | »   |
| 349. Amidons tétranitrés. . . . .        | 297 |

##### § 2. — Cellulose nitrique. Coton-poudre.

|  |     |
|--|-----|
| 350. Constitution chimique des cellu-<br>loses nitriques. . . . .                          | »   |
| 351. Généralités sur les celluloses ni-<br>triques . . . . .                               | »   |
| 352. Préparation industrielle du coton-<br>poudre par la méthode Abel . . . . .            | 300 |
| 353. Avantages de la méthode Abel . . . . .  | 302 |
| 354. Fabrication du coton-poudre à la pou-<br>drerie du Moulin-Blanc (France). . . . .     | 304 |
| 355. Hydrocellulose — préparation . . . . .  | 305 |
| 356. Propriétés de l'hydrocellulose . . . . .  | 306 |
| 357. Nitrohydrocellulose ou pyroxyle<br>friable . . . . .                                  | »   |
| 358. Propriétés du coton-poudre . . . . .  | 307 |
| 359. Stabilité du coton-poudre. . . . .  | 310 |
| 360. Détonation du coton-poudre . . . . .  | 311 |
| 361. Force du coton-poudre de guerre. . . . .  | 312 |
| 362. Force du coton-poudre octonitrique . . . . .  | »   |
| 363. Coton-poudre humide; ses pro-<br>priétés spéciales . . . . .                          | 313 |
| 364. Influence des liquides et des solides<br>sur la susceptibilité de détonation. . . . . | 314 |
| 365. Coton-poudre paraffiné. . . . .   | 315 |
| 366. Usages du coton-poudre . . . . .  | 317 |
| 367. Emploi dans les armes à feu . . . . .   | »   |
| 368. Chargement des torpilles . . . . .  | »   |
| 369. Chargement des obus . . . . .   | »   |

| Nos  | Pages |
|--|-------|
| 370. Emploi comme poudre de rupture dans les arts militaires . . . . | 317   |
| 371. Emploi du coton-poudre dans les mines. . . . .                  | 324   |
| 372. Coton-poudre collodion . . . .                                  | »     |
| <b>§ 3. — Coton-poudre nitraté et chloraté.</b>                      |       |
| 373. Étude du fulmi-coton au nitrate d'ammonium . . . . .            | 228   |
| 374. Étude du fulmi-coton au nitrate de potassium . . . . .          | 326   |
| 375. Tonite ou coton-poudre au nitrate de baryum . . . . .           | »     |
| 376. Fulmi-coton chloraté . . . . .                                  | »     |
| <b>§ 4. — Poudres diverses à base de cellulose nitrée.</b>           |       |
| 377. Poudre blanche de Schültze; fabrication; propriétés . . . . .   | 327   |
| 378. Poudres de chasse sans fumée dites pyroxylées . . . . .         | 328   |
| Poudre Bändisch. . . . .   | »     |
| Bois pyroxylé . . . . .  | »     |
| 379. Poudre de bois de Wetteren . . . .                              | 329   |
| 380. Tonite anglaise de Faversham . . .                              | 330   |
| 381. Paléine ou fulmi-paille de Langfrey. »                          | »     |
| Papier fulminant. . . . .  | 331   |
| Fulmi-son . . . . .  | »     |
| Poudre blanche Lannoy . . . . .                                      | »     |
| Potentite . . . . .  | »     |
| Kinénite . . . . .   | »     |
| 382. Celluloïd . . . . .   | 332   |
| Sa préparation . . . . .   | »     |
| Ses propriétés. . . . .  | »     |
| Ses usages . . . . .   | 333   |

| Nos  | Pages |
|--|-------|
| <b>§ 5. — Épreuves et analyses du coton-poudre.</b>                  |       |
| 383. Épreuves de réception des cartouches de coton-poudre . . . .    | 333   |
| 384. Examen physique . . . . .                                       | 334   |
| 385. Mesure de la densité . . . . .                                  | »     |
| 386. Épreuve d'humidité. . . . .                                     | »     |
| 387. Épreuve d'incinération. . . . .                                 | »     |
| 388. Épreuve de solubilité . . . . .                                 | »     |
| 389. Épreuve d'alcalinité. . . . .                                   | 335   |
| 390. Épreuve de chaleur. . . . .                                     | 336   |
| 391. Détermination du taux d'azote dans les cotons-poudres . . . . . | 337   |
| Méthode Schloesing au mercure. . .                                   | »     |
| 392. Première modification . . . . .                                 | 338   |
| 393. Deuxième modification . . . . .                                 | 339   |
| 394. Table pour la réduction des volumes gazeux . . . . .            | 340   |
| 395. Exemple de l'emploi de ces tables. .                            | 341   |

### SECTION III.

#### ETHERS PERCHLORIQVES.

|   |     |
|---|-----|
| Constitution des éthers perchloriques . . . . .   | 347 |
| 396. Étude de l'acide perchlorique . . .          | »   |
| 397. Étude de l'acide hypochlorique. . .          | »   |
| 398. Étude de l'éther méthylperchlorique. . . . . | 348 |
| 399. Étude de l'éther éthylperchlorique. »        | »   |

# CINQUIÈME PARTIE.

## LES EXPLOSIFS AROMATIQUES.

| N <sup>os</sup>  | Pages                                  | N <sup>os</sup>                            | Pages                                  |
|--|--|--|--|
| <b>SECTION I.</b>  |  |  |  |
| CORPS EXPLOSIFS PROVENANT<br>DES HYDROCARBURES AROMATIQUES<br>ET DE LEURS DERIVÉS<br>PAR SUBSTITUTIONS NITRÉS. |  |  |  |
| — — — — —  |  |  |  |
| <b>CHAPITRE I.</b>   |  |  |  |
| BENZINE ET SES DERIVÉS NITRÉS.   |  |  |  |
| 400.   |  | 413.                                       | Étude du chromate de diazobenzol. 363  |
|  |  | 414.                                       | Étude du bromure de diazobenzol. »     |
|  |  | 415.                                       | Étude du sulfate de diazobenzol. . . » |
|  |  | 416.                                       | Étude du diazoamidophénol . . . 364    |
|  |  | 417.                                       | Diazobromophénol . . . . . »           |
|  |  | 418.                                       | Nitrate de diazobromophénol . . . »    |
|  |  | 419.                                       | Bromure de diazobromophénol . . . »    |
|  |  | 420.                                       | Diazochlorobenzol . . . . . »          |
|  |  | 421.                                       | Azotate de diazochlorobenzol. . . . »  |
|  |  | 422.                                       | Diaziobenzol . . . . . »               |
| 401.   | Étude de la benzine. . . . . 353       | <b>CHAPITRE III.</b>                       |  |
|  | Principaux hydrocarbures de la         | PHÉNOLS NITRÉS.                            |  |
|  | série aromatique . . . . . »           | —  |  |
| 402.   | Étude de la mononitrobenzine . . . »   | <b>§ 1. — Généralités sur les phénols.</b> |  |
| 403.   | Étude de la binitrobenzine . . . 356   | 423.                                       | Étude du phénol benzinique. . . 365    |
| 404.   | Étude de la trinitrobenzine . . . 357  | 424.                                       | Étude du mononitrophénol (formes       |
| 405.   | Remarques sur les substitutions ni-    |  | isomériques) . . . . . 366             |
|  | trées de la benzine . . . . . 358      | 425.                                       | Étude de l'orthonitrophénol . . . 367  |
| 406.   | Chaleurs de formation des dérivés      | 426.                                       | » du paranitrophénol . . . 368         |
|  | nitrés de la série aromatique. . . 359 | 427.                                       | » du métanitrophénol . . . . »         |
| 407.   | Principaux dérivés chloro-nitrés de    | 428.                                       | » des dinitrophénols. . . . . »        |
|  | la benzine . . . . . »                 | 429.                                       | » Constitution des trinitro-           |
| 408.   | Principaux dérivés bromo-nitrés de     |  | phénols . . . . . 369                  |
|  | la benzine . . . . . »                 | <b>§ 2. — Acide picrique.</b>              |  |
| 409.   | Principaux dérivés iodo-nitrés de la   | 430.                                       | Étude de l'acide picrique ou trinitro- |
|  | benzine . . . . . »                    |  | phénol . . . . . »                     |
| <b>CHAPITRE II.</b>  |  |  |  |
| DERIVÉS DIAZOÏQUES DE LA PHÉNYLAMINE.  |  |  |  |
| 410.   | Généralités sur les amines . . . 360   | 431.                                       | Action de la chaleur sur l'acide       |
| 411.   | Dérivés diazoïques des amines pri-     |  | picrique . . . . . 370                 |
|  | maires . . . . . »                     | 432.                                       | Force de l'acide picrique . . . . 373  |
| 412.   | Étude du nitrate de diazobenzol. . 361 | 433.                                       | Usages de l'acide picrique. . . . »    |
|  |  | 434.                                       | Poudres diverses à base d'acide        |
|  |  |  | picrique . . . . . 374                 |
|  |  |  | Poudre Borlinetto . . . . . »          |
|  |  |  | Poudre verte . . . . . »               |



| N <sup>o</sup>                    | Pages |
|-----------------------------------|-------|
| Hérakline . . . . .               | 374   |
| Explosif Turpin . . . . .         | »     |
| 435. Mélénite ou Lyddite. . . . . | »     |
| Emmensite. . . . .                | 375   |
| Oxonite . . . . .                 | »     |

**§ 3. — Picrates.**

|  |     |
|--|-----|
| 436. Préparation générale des picrates . . . . .                   | »   |
| 437. Étude du picrate de potassium ; force . . . . .               | 376 |
| 438. Poudres au picrate de potassium nitrate ; force . . . . .     | 377 |
| 439. Poudres Dessignoles . . . . .                                 | 378 |
| 440. Poudre au picrate de potassium chloraté ; force. . . . .      | »   |
| 441. Étude du picrate de sodium ; force. . . . .                   | 379 |
| 442. Étude du picrate d'ammonium ; force . . . . .                 | »   |
| 443. Poudre au picrate d'ammonium et nitrate de potassium. . . . . | »   |
| 444. Poudre au picrate d'ammonium et nitrate d'ammonium. . . . .   | 380 |
| 445. Picrate d'ammonium chloraté . . . . .                         | 381 |
| 446. Poudre pierique Brugère . . . . .                             | »   |
| 447. Feux pyrotechniques picratés . . . . .                        | 382 |

**§ 4. — Phénols nitrés complexes.**

|  |     |
|--|-----|
| 448. Phénols chloronitrés . . . . .                          | 382 |
| 449. Phénols bromonitrés . . . . .                           | »   |
| 450. Phénols iodonitrés . . . . .                            | 383 |
| 451. Phénols nitroamidés . . . . .                           | »   |
| 452. Généralités sur les nitroamido-phénols . . . . .        | »   |
| 453. Étude du dinitramidophénol ou acide picramique. . . . . | »   |
| 454. Étude du nitrodiamidophénol . . . . .                   | 384 |
| 455. Étude du nitrochloroamidophénol . . . . .               | »   |

**§ 5. — Dérivés azoïques des amidophénols.**

|  |     |
|--|-----|
| 456. Étude du diazonitrophénol . . . . . | »   |
| 457. » du diazodinitrophénol. . . . .    | 385 |
| 458. » diazonitrochlorophénol . . . . .  | »   |

**§ 6. — Nitrophénols bivalents et trivalents.**

|   |   |
|---|---|
| 459. Résorcine . . . . .                      | » |
| 460. Étude de la mononitrorésorcine . . . . . | » |

| N <sup>o</sup>   | Pages |
|--|-------|
| 461. Étude de la trinitrorésorcine ou acide oxypierique. . . . . | 385   |
| 462. Oxypierates . . . . .                                       | »     |
| 463. Phloroglucine. . . . .                                      | 386   |
| 464. Trinitrophloroglucine . . . . .                             | »     |

**CHAPITRE IV.**

**TOLUÈNE ET SES DÉRIVÉS NITRÉS.**

**§ 1. — Toluène.**

|   |     |
|---|-----|
| 465. Généralités sur le toluène. . . . .          | 387 |
| 466. Étude du mononitrotoluène . . . . .          | »   |
| 467. Étude du dinitrotoluène . . . . .            | 388 |
| 468. Étude du trinitrotoluène . . . . .           | »   |
| Dérivés chloronitrés du toluène. . . . .          | »   |
| 469. Dérivés bromonitrés du toluène. . . . .      | »   |
| 470. Dérivés iodonitrés du toluène . . . . .      | 389 |
| 471. Dérivés iodochloronitrés du toluène. . . . . | »   |
| 472. Dérivés bromiodonitrés du toluène. . . . .   | »   |

**§ 2. — Phénol toluidique.**

|   |     |
|---|-----|
| 473. Étude du phénol toluidique ou crésylo . . . . .        | »   |
| 474. Dérivés nitrés du crésylo . . . . .                    | »   |
| 475. Étude de l'acide trinitrocrésylique. . . . .           | »   |
| 476. Étude des sels de l'acide trinitrocrésylique . . . . . | 390 |
| 477. Poudre à l'acide crésylique nitraté. . . . .           | »   |
| 478. Crésylite . . . . .                                    | »   |

**CHAPITRE V.**

**NAPHTALINE ET SES DÉRIVÉS NITRÉS.**

**§ 1. — Naphtaline.**

|  |     |
|--|-----|
| 479. Généralités sur la naphtaline. . . . .    | 391 |
| 480. Étude de la mononitronaphtaline . . . . . | 392 |
| 481. » de la binitronaphtaline . . . . .       | »   |
| 482. » de la trinitronaphtaline . . . . .      | »   |
| 483. » de la tétranitronaphtaline . . . . .    | 393 |

| N <sup>os</sup>   | Pages |
|---|-------|
| <b>§ 2. — Phénols naphthaliques nitrés.</b>                           |       |
| 484. Phénol naphthalique ou naphtol . . .                             | 393   |
| 485. Dérivés nitrés. . . . .  | »     |
| 486. Dérivés chloro, iodo, bromonitrés<br>de la naphthaline . . . . . | »     |

### CHAPITRE VI.

#### EXPLOSIFS DIVERS A BASE D'HYDROCARBURES NITRÉS.

|  |     |
|--|-----|
| 487. Explosifs Favier . . . . .                                    | 394 |
| Mélanges divers proposés . . . . .                                 | »   |
| 488. Fabrication des explosifs Favier . . . . .                    | »   |
| 489. Propriétés . . . . .  | 395 |
| 490. Données relatives à la force des<br>divers mélanges . . . . . | 396 |
| 491. Bellite . . . . .   | 397 |

| N <sup>os</sup>     | Pages |
|---------------------|-------|
| Romite . . . . .    | 398   |
| Roburite . . . . .  | »     |
| Sécurité. . . . .   | 399   |
| Carbonite . . . . . | »     |

### CHAPITRE VII.

#### DÉRIVÉS NITRÉS DE L'ACIDE BENZOÏQUE.

|  |     |
|--|-----|
| Acide benzoïque . . . . .                          | 400 |
| 492. Étude de l'acide mononitrobenzoïque . . . . . | »   |
| 493. Nitrobenzoates . . . . .                      | »   |
| 494. Étude de l'acide binitrobenzoïque . . . . .   | »   |
| Binitrobenzoates. . . . .                          | »   |
| 495. Acide diazobenzoïque . . . . .                | »   |
| 496. Acide diazoamidobenzoïque . . . . .           | 401 |
| 497. Azotate d'acide diazobenzoïque . . . . .      | »   |

## SIXIÈME PARTIE.

### EXPLOSIFS DIVERS.

#### CHAPITRE I.

##### EXPLOSIFS ACIDES DE SPRENGEL.

|   |     |
|---|-----|
| 498. Principe des explosifs acides. . . . .                           | 404 |
| 499. Étude du mélange acide picrique<br>et acide nitrique . . . . .   | »   |
| 500. Étude du mélange mononitrobenzine<br>et acide nitrique . . . . . | 405 |
| 501. Hellhoffite . . . . .  | »   |
| Hellhoffite-guhr . . . . .  | »   |

#### CHAPITRE II.

##### PANCLASTITES DE TURPIN.

|   |     |
|---|-----|
| 502. Étude du peroxyde d'azote . . . . .                                  | 406 |
| 503. Composition des panclastites . . . . .                               | 407 |
| 504. Étude du mélange peroxyde d'azote<br>et mononitrobenzine. . . . .    | »   |
| 505. Étude du mélange peroxyde d'azote<br>et sulfure de carbone . . . . . | »   |

|  |     |
|--|-----|
| 506. Compositions diverses de panclastites . . . . . | 408 |
| 507. Usages des panclastites . . . . .               | »   |
| » Panclastites-guhr . . . . .                        | 409 |

#### CHAPITRE III.

##### SUBSTANCES EXPLOSIVES SPÉCIALES.

|  |     |
|--|-----|
| 508. Étude du chlorure d'azote . . . . .   | 410 |
| 509. » de l'iodure d'azote . . . . .       | 412 |
| 510. » du sulfure d'azote . . . . .        | »   |
| 511. » de l'acétylure de cuivre . . . . .  | 413 |
| 512. Étude de l'azoture d'argent . . . . . | 414 |
| 513. » de l'azoture de mercure . . . . .   | »   |
| 514. » du séléniure d'azote . . . . .      | »   |

#### CHAPITRE IV.

##### POUDRES SANS FUMÉE.

|   |     |
|---|-----|
| 515. Formation de la fumée dans le tir<br>des armes à feu . . . . . | 415 |
|---|-----|

| N <sup>os</sup>   | Pages | N <sup>os</sup>                       | Pages |
|---|-------|---------------------------------------|-------|
| 516. Historique des recherches faites pour remplacer la poudre noire. | 416   | Poudre Libbrecht . . . . .            | 420   |
| 517. Composition et fabrication des poudres sans fumée . . . . .      | 417   | » Abel . . . . .                      | »     |
| Poudre Vieille. . . . .   | 419   | » Turpin . . . . .                    | »     |
| » Abel . . . . .  | »     | » Goëns. . . . .                      | »     |
| » Turpin . . . . .  | »     | » dynamite Nobel . . . . .            | 421   |
| » papier de Wetteren . . . . .  | »     | Explosif Abel-Dewar . . . . .         | 422   |
| » Gaëns . . . . .   | »     | Balistine italienne . . . . .         | »     |
| » Wolf . . . . .  | »     | Poudre Rothweil. . . . .              | »     |
| » Maxim. . . . .  | »     | Cordite Abel . . . . .                | 423   |
| » Troisdorf. . . . .  | 420   | Essais faits en Belgique . . . . .    | 425   |
| » à faible fumée autrichienne . . . . .                               | »     | Poudre pour le tir en blanc . . . . . | »     |
|   |       | Conclusions . . . . .                 | »     |

## SEPTIÈME PARTIE.

### PYROTECHNIE.

|   |     |   |     |
|---|-----|---|-----|
| 518. Généralités sur les compositions d'artifices . . . . . | 428 | 529. Balle à éclairer . . . . .                   | 432 |
| 519. Mélanges fondamentales . . . . .                       | 429 | 530. Feux colorés . . . . .                       | »   |
| 520. Pulvérin . . . . .                                     | »   | 531. Principe des feux dits de Bengale . . . . .  | »   |
| 521. Sulfo-nitre. . . . .                                   | »   | 532. Mélanges colorés spéciaux . . . . .          | 434 |
| 522. Composition grise . . . . .                            | 430 | 533. Production de gaz . . . . .                  | »   |
| 523. Matières combustibles des artifices. . . . .           | »   | 534. Production de flammes incendiaires . . . . . | »   |
| 524. Mélanges chloratés . . . . .                           | 431 | 535. Roche-à-feu . . . . .                        | »   |
| 525. Mèches et étoupilles . . . . .                         | »   | 536. Feu Lorrain . . . . .                        | »   |
| 526. Mèche azotique . . . . .                               | »   | 537. Nouveau feu liquide. . . . .                 | »   |
| 527. Artifices. . . . .                                     | 432 | Composition à combustion spontanée. . . . .       | »   |
| 528. Artifices de production de lumière. . . . .            | »   |   |     |

## HUITIÈME PARTIE.

### DIVERS.

| N <sup>os</sup>  | Pages | N <sup>os</sup>  | Pages |
|--|-------|--|-------|
| <b>CHAPITRE I.</b>   |       | <b>CHAPITRE III.</b>   |       |
| <b>EMPLOI DES EXPLOSIFS EN PRÉSENCE DU GRISOU.</b>             |       | <b>CHAPITRE IV.</b>  |       |
| 538. Causes des explosions du grisou dans les mines . . . . .  | 438   | <b>ÉTUDES SUR LES PROPRIÉTÉS DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.</b>  |       |
| 539. Principe des explosifs n'allumant pas le grisou . . . . . | 439   | 551. Étude de MM. Sarrau et Roux sur les détonations d'ordres différents des matières explosives . . . . . | 455   |
| 540. Expériences faites en France . . . . .                    | »     | 552. Théorie de M. Berthelot sur l'onde explosive . . . . .  | 457   |
| 541. Résultats acquis . . . . .                                | 442   | 553. Explosions par influence . . . . .  | 460   |
| <b>CHAPITRE II.</b>  |       | 554. Vitesse de l'onde explosive . . . . .   | 461   |
| <b>DESTRUCTION DES MATIÈRES EXPLOSIVES.</b>                    |       |  |       |
| 542. Destruction des poudres nitratées . . . . .               | 444   |  |       |
| 543. » » chloratées . . . . .                                  | 445   |  |       |
| 544. » de la nitroglycérine . . . . .                          | »     |  |       |
| 545. » des dynamites . . . . .                                 | »     |  |       |
| 546. » du coton-poudre . . . . .                               | »     |  |       |
| 547. » des poudres aux picrates . . . . .                      | 446   |  |       |
|  |       | 548. Destruction des explosifs Favier et similaires . . . . .  | 446   |
|  |       | 549. Destruction des explosifs renfermés en vases clos . . . . .   | »     |