

peu avec un fil de platine; puis on sèche le résidu de charbon à 100° dans un courant d'air sec. Si le poids du charbon est un peu plus élevé que la différence entre le poids du mélange de salpêtre et de charbon et celui du salpêtre trouvé directement, c'est parce que le charbon pur retient plus fortement l'eau que quand il est mélangé avec de l'azotate de potasse. Cette petite différence (0<sup>re</sup>,001 à 0<sup>re</sup>,0015) doit être considérée comme de l'eau adhérente au charbon, et il faudra la retrancher de l'eau qu'on trouvera, si l'on fait l'analyse élémentaire du charbon.

Pour brûler le charbon, on le mélange dans le tube avec un peu de chromate de plomb, on coupe la pointe, on mélange le tampon d'asbeste avec la masse, de façon qu'un courant d'air puisse facilement circuler; on introduit le tout dans un tube à combustion convenablement disposé et renfermant de la tournure de cuivre oxydée, puis on achève la combustion comme à l'ordinaire dans un courant d'oxygène (\*). On calcule ensuite sur la masse totale le carbone, l'oxygène et l'hydrogène, ainsi que la petite quantité de cendres.

(\*) Fresenius, *loc. cit.*, p. 584-588.

### CHAPITRE III.

#### PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA POUDRE.

Nous décrirons d'abord, dans ce chapitre, les phénomènes généraux de l'inflammation et de la combustion de la poudre. Nous étudierons ensuite ce qui se rapporte à la pression intérieure développée par les gaz, à la force et au potentiel de la poudre. Enfin, nous donnerons les formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes à feu, déduites des principes généraux de la thermo-dynamique

#### § I.

##### INFLAMMATION.

##### I. CONDITIONS DE L'INFLAMMATION.

L'inflammation de la poudre peut se produire soit par le choc, soit par une élévation de température, soit par le contact de corps enflammés ou de corps en ignition. Dans tous les cas, l'état physique de la matière exerce, comme nous le verrons (p. 449), une influence considérable sur la rapidité du phénomène.

##### a) Par le choc.

Les expériences d'Aubert, de Lingke et de Lampadius ont établi que l'inflammation de la poudre se produit par le choc de fer sur fer, de fer sur laiton, de laiton sur laiton, moins facilement par le

choc de fer sur cuivre ou de cuivre sur cuivre. D'après des expériences anglaises, la poudre s'enflamme encore par le choc de bronze sur cuivre, de fer sur marbre, de quartz sur quartz, de plomb sur plomb et de plomb sur bois (par exemple, en envoyant une balle de plomb sur un pendule en bois recouvert de poudre). L'explosion se produit très-rarement par le choc de cuivre sur bois, et jamais par le choc de bois sur bois. L'interposition d'une simple feuille de papier ou d'un gravier entre les deux corps soumis au choc suffit pour favoriser l'inflammation.

Des expériences exécutées au Bouchet, en 1852, au sujet des dangers d'explosion que présentent les usines à meules, ont donné les résultats suivants. En faisant tourner une meule en fonte sur une piste en fonte à la vitesse de 20 tours par minute et en interposant soit de la poudre, soit des morceaux de galette dure, avec des morceaux de fer ou de cuivre ou avec des tasseaux en sapin, on n'a jamais produit d'explosion; mais la poudre s'enflammait immédiatement par l'interposition d'un peu de matière siliceuse suffisamment fine, d'un morceau de verre à vitre, de cristal ou de brique; les plâtras ne donnaient rien. Enfin, une meule en bronze, roulant sur une piste en bois, n'a produit qu'au bout de 5000 tours l'explosion d'une petite quantité de poudre mélangée de 20 p. 100 de matière siliceuse.

b) Par une élévation de température.

Des expériences récentes de Horsley ont fixé la température d'inflammation de la poudre à  $315^{\circ} \frac{5}{9}$ . Pour faire cette détermination, Horsley place la poudre dans une petite capsule sur un bain d'huile où plonge un thermomètre.

Leygue et Champion ont proposé une autre méthode (1871), fondée sur la loi de répartition de la chaleur le long d'une barre métallique dont on chauffe l'une des extrémités. La barre était en cuivre et avait  $0^{\text{m}},025$  de diamètre sur  $0^{\text{m}},60$  de longueur : à des intervalles égaux étaient pratiquées de petites cavités, remplies d'huile ou d'un alliage Darcet, dans lesquelles plongeait un thermomètre destiné à indiquer la température intérieure de la barre; ces cavités se succédaient tous les décimètres à partir de l'extrémité froide de la barre. Dès que la température des thermomètres était devenue constante, on plaçait sur la barre les substances soumises à l'épreuve, et on les rapprochait peu à peu de la source de chaleur, jusqu'à la division

où elles éprouvaient la modification voulue (décomposition ou inflammation). Un écran, interposé entre l'appareil et la source de chaleur, éliminait l'influence de la chaleur rayonnante sur la température de la barre. — Par cette méthode, Leygue et Champion ont enflammé la poudre de chasse à  $288^{\circ}$ , et la poudre à canon à  $295^{\circ}$ . D'après ces auteurs, si l'on élève progressivement la température de la poudre au-dessus du point d'ébullition de l'eau, les grains se collent les uns aux autres par suite de la fusion du soufre, et celui-ci commence à entrer en vapeurs. Si l'on élève encore la température, la vaporisation du soufre se poursuit très-rapidement, et, si l'on a soin de ne pas monter jusqu'à la température d'ébullition de ce corps, on peut ainsi chasser tout le soufre sans produire l'explosion de la poudre.

Violette a également déterminé les températures d'inflammation des diverses poudres, en opérant successivement sur des matières en grains anguleux et sur des matières pulvérisées : à cet effet, il projetait la poudre à la surface d'un bain d'étain, dans lequel plongeait la boule d'un thermomètre. Il a ainsi obtenu les résultats suivants :

ESPÈCE DE POUDRE.	TEMPÉRATURE D'INFLAMMATION.	
	Poudre en grains anguleux.	Poudre pulvérisée.
Mine . . . . .	270°	263°
Guerre . . . . .	276	266
Chasse fine . . . . .	280	268
Chasse extrafine . . . . .	320	270

Violette attribue à l'influence du dosage la divergence des températures d'inflammation des poudres en grains anguleux : dans cette hypothèse, on s'expliquerait difficilement que cette influence devint à peu près nulle pour les matières pulvérisées, et que la poudre de chasse extrafine, faite à 9 p. 100 de soufre et avec du charbon très-roux, fût notablement moins inflammable que la poudre de chasse fine, dont le charbon était noir et qui contenait 10 p. 100 de soufre. Il paraît plus naturel d'admettre que les poudres les moins inflammables sont celles dont la trituration est la plus parfaite : l'enveloppe de salpêtre, qui s'est graduellement déposée sur les

particules de soufre et de charbon, les garantit d'autant mieux de l'inflammation que la trituration a été plus prolongée, et, s'il ne survenait ni éclatement ni fusion de cette enveloppe, la déflagration ne se produirait pas avant 400°, température de décomposition du salpêtre par le charbon (p. 164). Pour les poudres mal triturées, au contraire, et surtout pour les poudres détériorées par la pulvérisation, les températures observées se rapprochent de 250°, température d'inflammation du soufre à l'air libre (p. 119).

c) Par le contact de corps enflammés.

Les corps enflammés ne produisent l'explosion de la poudre que s'ils sont portés à une haute température.

Une flamme gazeuse peut rester au contact de la poudre pendant quelques secondes sans en provoquer la déflagration. Du coton-poudre, enflammé au-dessus d'une couche de poudre en grains lissés, la laisse intacte, à cause de l'excessive rapidité de sa combustion. De l'amadou n'enflamme la poudre que par le contact prolongé du charbon incandescent.

d) Par le contact de corps en ignition.

Le mode d'inflammation le plus pratique de la poudre consiste à la mettre au contact de corps en ignition. Nous insisterons particulièrement, à ce sujet, sur l'emploi de l'électricité.

L'étincelle de la machine électrique ne peut provoquer l'inflammation de la poudre que si la décharge est retardée par l'interposition d'un corps mauvais conducteur, ce qu'on réalise, dans les essais de laboratoire, en plaçant dans le circuit une simple ficelle mouillée; on a, depuis peu, fabriqué des cartouches spéciales, destinées à produire rapidement et sûrement l'explosion des charges de poudre par ce procédé. On attache, dans les opérations militaires, une assez grande importance à ce mode d'inflammation, parce que la machine électrique est d'un transport et d'un maniement plus faciles que les appareils à électricité galvanique. Toutefois, au point de vue de la sûreté des opérations, la batterie de Volta semble préférable à la machine électrique, car, d'après des expériences exécutées à Chatham, celle-ci ne peut fonctionner que dans une atmosphère chaude et sèche, tandis que la batterie se conserve parfaitement par les temps de pluie et de neige. Les premiers essais

d'application de l'électricité galvanique à l'inflammation de la poudre furent faits en 1838, à Philadelphie, par le docteur Hare.

Le contact d'un fil fin de platine ou de fer, rougi par le passage du courant, suffit également pour provoquer l'inflammation. Mais, s'il s'agit de produire simultanément en plusieurs points l'explosion de mines différentes, comme il est arrivé, par exemple, pour la roche du Round-Down, dite *roche de Shakespeare*, où l'on fit sauter en un coup 1 000 000 de tonnes de roche carbonatée par l'explosion de 9 000<sup>l</sup> de poudre, on ne peut se servir que de forts courants d'induction, tels que ceux de la bobine de Rhumkorff.

II. VITESSE D'INFLAMMATION.

La vitesse d'inflammation d'une charge de poudre dépend essentiellement de la pression exercée à l'intérieur de la charge: de nombreuses expériences ont montré que l'inflammation ne se propage pas dans le vide. Nous insisterons sur ce point à propos de la vitesse de combustion (p. 457).

a) A l'air libre.

Piobert a étudié l'influence de divers éléments sur la vitesse d'inflammation de la poudre à l'air libre, au moyen de demi-cylindres creux en fer, ayant 20<sup>mm</sup>, 14<sup>mm</sup> et 10<sup>mm</sup> de diamètre, qu'il a successivement remplis, pour chaque échantillon, de 120<sup>gr</sup>, 60<sup>gr</sup>, 30<sup>gr</sup> et 15<sup>gr</sup> de poudre par mètre courant de longueur.

Il est ainsi arrivé aux conclusions suivantes :

1° La poudre en poussier brûle beaucoup plus lentement que la poudre en grains.

2° La vitesse d'inflammation des traînées de grains de différentes grosseurs est, à très-peu près, en raison inverse des racines quatrièmes des diamètres de ces grains, pour toutes les espèces de poudre, et varie, pour les anciennes poudres de guerre, de 1<sup>m</sup>,48 à 3<sup>m</sup>,40 par seconde.

3° La rapidité d'inflammation est moins grande pour les poudres à charbon roux que pour les poudres à charbon noir, pour les poudres lissées et denses que pour les poudres non lissées et légères.

4° Le dosage et la durée de la trituration paraissent sans influence appréciable.

5° Les poudres conservées pendant plus d'un siècle semblent n'avoir rien perdu de leur inflammabilité.

b) Dans des tubes résistants.

Piobert a également étudié la vitesse d'inflammation de la poudre dans des tubes fermés par une de leurs extrémités. Il se servait d'un canon placé verticalement, dont la longueur d'âme était de 0<sup>m</sup>,455 et le calibre de 0<sup>m</sup>,019 : la poudre y était versée lentement et légèrement tassée, puis on mettait le feu à la bouche du canon.

Divers essais exécutés sur les poudres de guerre et de chasse des pilons ont donné les résultats suivants :

ÉLÉMENTS DE L'EXPÉRIENCE.	POUDRES DE GUERRE.				POUDRE de chasse superfine.
	à canon.	à mousquet.	grains fins.		
Diamètre des grains en millimètres.	2,5 à 1,4	1,4 à 1,0	1,4 à 0,6	0,6 à 0,4	0,5 à 0,2
Nombre de grains au gramme. . .	259	1696	2466	3166	30000
Densité gravimétrique. . . . .	0,861	0,817	0,825	0,804	0,914
Densité gravimétr. dans le canon.	0,890	0,875	0,875	0,852	1,030
Durée de la combustion. . . . .	0 <sup>m</sup> ,3	0 <sup>m</sup> ,5	0 <sup>m</sup> ,5	0 <sup>m</sup> ,9	1 <sup>m</sup> ,5
Vitesse d'inflammation. . . . .	1 <sup>m</sup> ,517	0 <sup>m</sup> ,910	0 <sup>m</sup> ,910	0 <sup>m</sup> ,505	0 <sup>m</sup> ,303

La grosseur des grains paraît donc faciliter l'inflammation de la poudre dans les tubes fermés. Piobert a, en outre, constaté que les poudres des meules à charbon roux, et surtout celles dont les grains étaient généralement plats, ont un désavantage marqué au point de vue de la vitesse d'inflammation.

Pour ce qui se rapporte aux moyens d'empêcher l'inflammation de la poudre par l'interposition de poussier ou d'autres substances pulvérisées, nous renvoyons à ce que nous en avons dit plus haut (p. 327).

III. PROCÉDÉS D'INFLAMMATION.

Nous avons vu (p. 448) qu'on se sert le plus souvent, pour enflammer la poudre, soit de l'étincelle électrique, soit d'un fil de platine

ou de fer porté au rouge par le passage du courant; ce dernier procédé tend à devenir d'un usage général. Souvent aussi l'effet calorifique est produit par le passage de l'électricité à travers un mélange chimique rendu conducteur par l'addition d'un sel de cuivre. De là les différents types de fusées électriques, qui seront décrits dans la troisième partie de ce traité.

Pour les ouvrages considérables, et notamment pour les sautages à effectuer sous l'eau, qui exigeaient autrefois l'emploi du potassium, on a fabriqué des cartouches spéciales en caoutchouc vulcanisé, renfermant du fulminate de mercure : les extrémités du fil qui y plongent sont écartées de 0<sup>m</sup>,002. La petite cartouche qui contient le fulminate est ouverte sur un côté, remplie de bonne poudre et entourée d'une cartouche plus grande en caoutchouc vulcanisé, également remplie de poudre. Le courant électrique est transmis à l'ensemble du système par deux gros fils, reliés à des fils plus fins qui aboutissent aux différentes cartouches à travers les puits et les galeries de la mine.

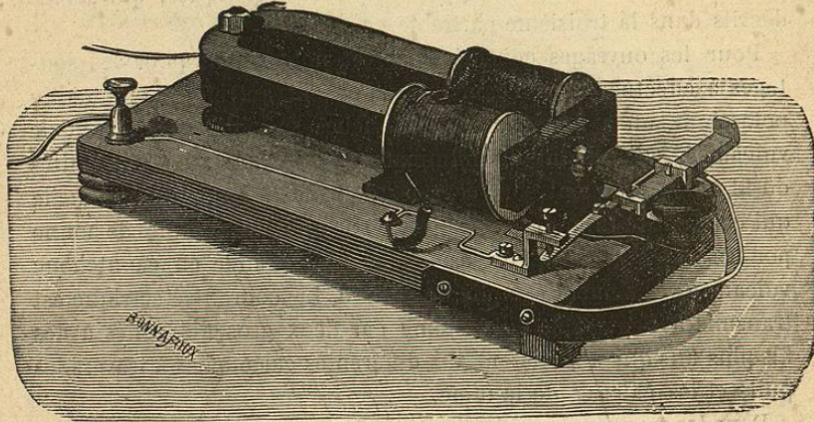
Pour les travaux de moindre importance, on se sert aussi, concurremment avec les procédés électriques, de mèches Bickford qui brûlent avec une vitesse déterminée (4 ou 5<sup>m</sup> par minute). Certains types de mèches Bickford, enveloppées de gutta-percha, peuvent sans inconvénient être placés dans des flaques d'eau.

Quant aux sources d'électricité, nous avons cité la bobine d'induction de Rhumkorff, qui est l'une des plus puissantes : pour la plupart des ouvrages militaires, on a intérêt à se servir d'appareils moins puissants et plus portatifs. Nous décrirons, à ce sujet, l'exploseur magnéto-électrique de Bréguet (fig. 45).

Cet appareil, dit *coup de poing*, se compose d'un fort aimant, sur les deux branches duquel sont fixées deux bobines d'induction; une armature, toujours au contact des pôles de l'aimant, est portée par une pièce de laiton qui pivote autour d'un axe horizontal. Cette pièce présente un manche et un bouton ou tampon, sur lequel on frappe du poing pour produire l'arrachement de l'armature; un ressort ramène celle-ci au contact des pôles. L'arrachement de l'armature a pour effet de rapprocher les pôles des extrémités de l'aimant et de produire un courant d'induction dans le fil enroulé sur les bobines. Mais il y a avantage à ne se servir que de l'extra-courant produit dans le circuit, au moment de sa rupture, par l'induction du courant induit qui le traversait; cet extra-courant est de même sens

que le courant qui l'a produit, mais sa tension est beaucoup plus considérable. A cet effet, on a disposé sur le manche de l'armature un ressort, qui appuie sur l'extrémité d'une vis pendant une partie

Fig. 45.



du déplacement de l'armature et ne s'en détache que vers la fin du mouvement; au ressort et à la vis aboutissent les deux extrémités du fil des bobines. Tant que le contact de ces deux pièces dure, le circuit est fermé sur lui-même; dès qu'il est rompu, le courant d'induction et surtout l'extra-courant qui se produit dans le petit circuit sont envoyés sur la ligne. Un verrou peut se glisser sous le manche de l'armature quand l'appareil n'est pas en expérience. — Un exploseur destiné à faire partir 5 amorces à la fois ne pèse que 7<sup>k</sup>,5; les amorces offrant une résistance minimum de 8000 kilomètres de fil de fer de 4<sup>mm</sup>, chacune d'elles peut faire explosion dans un circuit de 32 000 kilomètres. On est ainsi arrivé à faire sauter des amorces de Paris à Rouen et même de Paris à Bordeaux (585 kilomètres).

A l'égard du tir des cartouches dans le fusil d'infanterie, on s'est souvent demandé s'il était préférable d'enflammer la charge en dessus, c'est-à-dire immédiatement en arrière du projectile, ou en dessous. Ce dernier mode d'inflammation, qui était autrefois généralement adopté, fut abandonné, en Prusse, au moment de la création des fusils à aiguille : l'aiguille était poussée par un ressort, à travers la poudre, dans l'amorce qui se trouvait entre la balle et la charge. La poudre est ainsi brûlée sur toute sa longueur de l'avant à l'arrière, tandis que, par une disposition inverse, une

partie notable de la charge pourrait être projetée hors de l'arme avant d'avoir été enflammée. Malgré cet avantage incontestable, on est revenu, pour les fusils prussiens du nouveau modèle, à l'ancien mode d'inflammation de la charge en dessous, qui est également le seul usité en France.

## § II.

## COMBUSTION.

## I. CIRCONSTANCES DE LA COMBUSTION.

L'inflammation de la poudre en détermine la combustion, quelquefois accompagnée d'explosion.

Si l'on enflamme sur du papier blanc de la poudre en grains peu denses et dont les composants ont été intimement mélangés, telle, par exemple, que les anciennes poudres de guerre, une vive déflagration se produit, et il s'élève une sorte d'épaisse fumée qui répand une odeur caractéristique de soufre et d'hydrogène sulfuré. Il ne doit pas rester de résidu sur le papier. Si l'on remarque des taches noires, c'est que la poudre contenait un excès de charbon ou du charbon mal trituré. Si les taches sont jaunes, la conclusion s'appliquera au soufre. Si l'on retrouve des grains non brûlés, cela peut indiquer soit un mélange imparfait des matières, soit l'impureté du salpêtre. Le papier ne doit pas non plus présenter de trous : la poudre serait alors ou trop humide ou de mauvaise qualité.

La combustion de la poudre en vase clos s'effectue sans aucun bruit; elle donne lieu à une production de gaz et à un dépôt de produits solides, qu'on peut recueillir en ouvrant le vase.

L'explosion proprement dite ou la détonation de la poudre se produit toutes les fois que la combustion s'effectue dans un récipient dont l'une des parties au moins ne présente pas une résistance suffisante à l'expansion des gaz qui en résultent.

## II. VITESSE DE COMBUSTION.

La poudre brûle avec une vitesse qui dépend essentiellement de la pression sous laquelle s'effectue la combustion. Nous examinerons