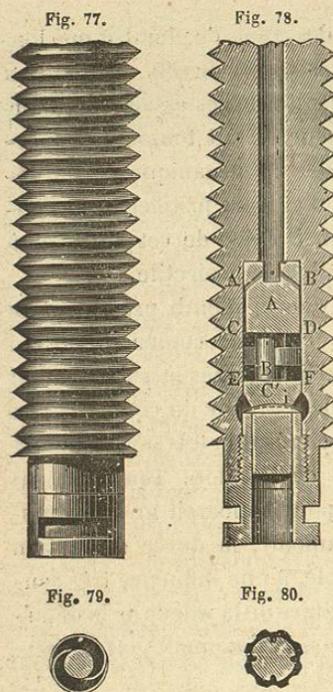


Un petit ressort spiral (*fig. 79*) sert à centrer le cylindre à l'intérieur de la chambre; la tête du piston est cannelée (*fig. 80*), de même que l'enclume. Quatre longs orifices A'B' sont en communication avec un large canal central qui traverse la partie supérieure de la vis. L'extrémité inférieure du piston C'est garnie d'un obturateur en cuivre rouge à fermeture hermétique.



Au moment de l'expérience, on met en place le cylindre B et l'on visse l'appareil dans la paroi du tube: les gaz de la poudre pressent sur la face inférieure du piston et écrasent le cylindre contre l'enclume; une table dressée à l'avance permet de déduire de la mesure de cet écrasement celle de la pression exercée. Pour le canon prussien de 8 pouces se chargeant par la bouche, la base du cylindre de cuivre avait 1/2 pouce carré anglais (3<sup>es</sup>, 225) et la surface de pression du piston 1/6 pouce carré (1<sup>er</sup>, 075). Le tarage s'effectue, comme pour le poinçon, en soumettant à des efforts de compression croissants et mesurés des cylindres de cuivre de dimensions convenables et en observant leurs écrasements successifs.

Cet appareil est beaucoup moins volumineux que le poinçon Rodman et peut se placer plus aisément dans le voisinage de l'âme, ce qui permet d'éviter l'une des causes d'erreur que nous avons indiquées (p. 566); en outre, l'écrasement du cylindre est plus régulier que la pénétration du poinçon, attendu que les résistances passives, qui croissent avec les surfaces en contact, varient plus rapidement avec ce dernier appareil; enfin la construction du crusher, qui ne présente que des surfaces planes parallèles, est aussi notablement plus facile. Aussi l'usage de cet appareil est-il devenu tout à fait général, sauf en Russie, où l'on conserve encore le poinçon Rodman. En Italie, on a été conduit, d'après des idées théoriques

que nous avons déjà signalées (p. 568), à amener préalablement les cylindres de cuivre à un état de compression parfaitement déterminé et voisin de celui que l'on suppose devoir être produit par l'action des gaz.

b) Expériences de Noble et Abel (1871-1874).

Noble s'est servi du crusher pour répéter les expériences de Rumford sur la combustion de la poudre en vase clos (1871): il a déterminé la courbe des pressions en fonction de la densité des produits de l'explosion, et constaté que la pression maximum due à la poudre ne doit pas dépasser 6100<sup>atm</sup>. Ces expériences ont été reprises sur une plus grande échelle par Noble et Abel (1874).

L'appareil employé pour la combustion de la poudre en vase clos a été déjà décrit (p. 474). Le crusher se vissait dans un orifice disposé latéralement. Les cylindres étaient le plus souvent en cuivre, quelquefois en étain.

Nous avons discuté plus haut (p. 507) les résultats de ces expériences; nous reproduisons (Pl. VII, *fig. 1*) la courbe des pressions obtenues par Noble et Abel en fonction de la densité des produits. La pression produite par la poudre brûlant dans son propre volume fut trouvée égale à 6567<sup>t</sup> par centimètre carré pour les poudres pebble et RLG, et à 6066<sup>t</sup> pour la poudre FG.

VII. APPAREILS DE LE BOULENGÉ.

On doit à Le Boulengé deux appareils destinés à faire connaître le maximum de la pression développée par les gaz, et dont le principe, analogue à celui des crushers, consiste à opposer à cette pression la résistance variable d'un ressort, constitué soit par une lame métallique, soit par une masse d'air comprimé.

a) Dynamomètre à ressort.

Cet appareil (Pl. VIII, *fig. 1*) se compose essentiellement d'un piston qui, soumis à l'action des gaz, pousse la branche mobile d'un ressort à deux branches, en même temps qu'une aiguille indicatrice maintenue dans un bourrage en liège et destinée à marquer la limite de la course du piston. Cette aiguille est logée dans l'axe d'une vis micrométrique, graduée directement en atmosphères et

qui permet, en la ramenant au contact de la tête du piston, de mesurer le déplacement maximum; une sonnerie électrique indique l'instant précis du contact. L'obturation du piston est réalisée au moyen d'une graisse liquide, qui transmet instantanément et intégralement la pression au système.

Le Boulengé admet que, dans la limite de  $10^{\text{mm}}$  de déplacement, les flexions sont proportionnelles aux pressions transmises. Il a d'ailleurs cherché à éliminer le plus possible l'influence des masses, en donnant au piston une section telle que  $0^{\text{mm}},001$  de flexion du ressort correspondît à  $1^{\text{mm}}$  de tension dans l'âme, c'est-à-dire en ne faisant exécuter au piston et au ressort que de très-faibles courses. Mais il est vraisemblable que ce résultat n'a pu être atteint qu'aux dépens de la sensibilité de l'appareil.

b) Manomètre à air.

Cet appareil (Pl. VIII, *fig. 2*) ne diffère du précédent que par la nature du ressort qui fait équilibre au mouvement du piston : ce ressort consiste en une masse d'air comprimé, à l'intérieur d'un cylindre d'acier, par un piston de même métal, creux et très-léger. Ce dernier pousse l'aiguille indicatrice et porte, sur sa face inférieure, une tige d'acier dont la base est soumise à l'action des gaz et dont la section est 500 fois moindre que celle du piston.

VIII. BALANCES MANOMÉTRIQUES DE MARCEL DEPREZ.

Marcel Deprez a cherché, dans la construction de ses appareils manométriques, à éliminer les effets perturbateurs dus aux masses des divers organes. Le principe sur lequel reposent ces manomètres consiste à employer une pression antagoniste de valeur connue, s'exerçant sur la tête du piston soumis à l'action des gaz, et à déterminer l'instant précis où ce piston se trouve en équilibre entre ces deux pressions, sans chercher à prolonger cet état d'équilibre et en se contentant de noter s'il a été ou non réalisé : en répétant l'expérience et réglant convenablement, à chaque fois, la pression antagoniste, on peut approcher aussi près que l'on voudra de la valeur exacte de la pression développée.

Deux sortes d'appareils permettent de réaliser ces conditions :

1° Les balances manométriques à un seul piston, qui peuvent

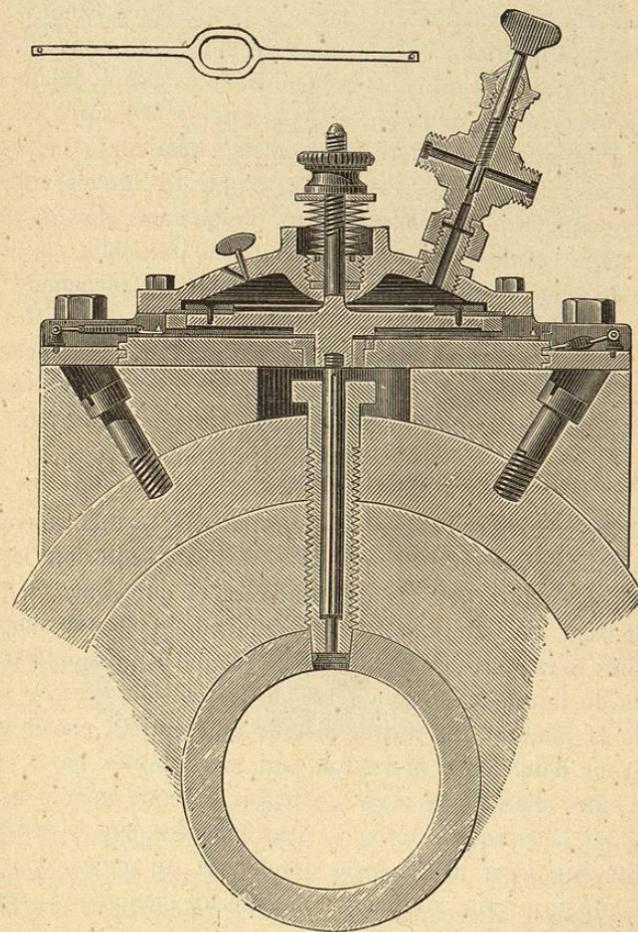
donner, par tâtonnement, en répétant les expériences, la mesure du maximum de pression développé;

2° Les balances manométriques à pistons multiples, qui permettent de déterminer, en une seule expérience, le maximum de pression obtenu, et même, en faisant usage d'un chronographe, d'enregistrer la succession des pressions produites pendant la durée de la combustion de la charge.

a) Manomètre à un seul piston.

Cet appareil (*fig. 81*) se compose d'un piston différentiel dont la

Fig. 81.



petite base, qui n'a que  $0^{\text{m}},5$  de section, est soumise directement à l'action des gaz, tandis que la grande base, qui a une surface 400 fois plus grande, forme piston dans une capacité close où l'on peut, à l'aide d'une pompe spéciale, introduire de l'air ou de l'eau comprimés; un manomètre métallique permet de mesurer la pression développée et, par suite, d'évaluer la force antagoniste opposée à l'action des gaz. Une petite lame mince d'acier, engagée sous la tête du piston, où elle est maintenue par le frottement résultant de la pression entre les deux faces d'appui, et attirée par un ressort en caoutchouc qui tend à l'entraîner, doit indiquer si l'effort antagoniste a été ou non surpassé par la pression des gaz.

S'il y a équilibre entre les deux forces ou, *a fortiori*, si la pression dépasse l'effort antagoniste, la lame est entraînée et vient occuper une nouvelle position; on recommence alors une nouvelle expérience en ménageant un effort antagoniste plus grand, et l'on voit si cet effort est encore dépassé: on continue ainsi jusqu'à ce qu'on arrive à produire un effort antagoniste supérieur à la pression développée, et l'on peut resserrer à volonté les limites entre lesquelles on enferme la mesure de la pression des gaz. Si, au contraire, dès les premiers coups, l'appareil reste immobile, on diminue successivement la pression jusqu'à ce que le déclenchement fonctionne.

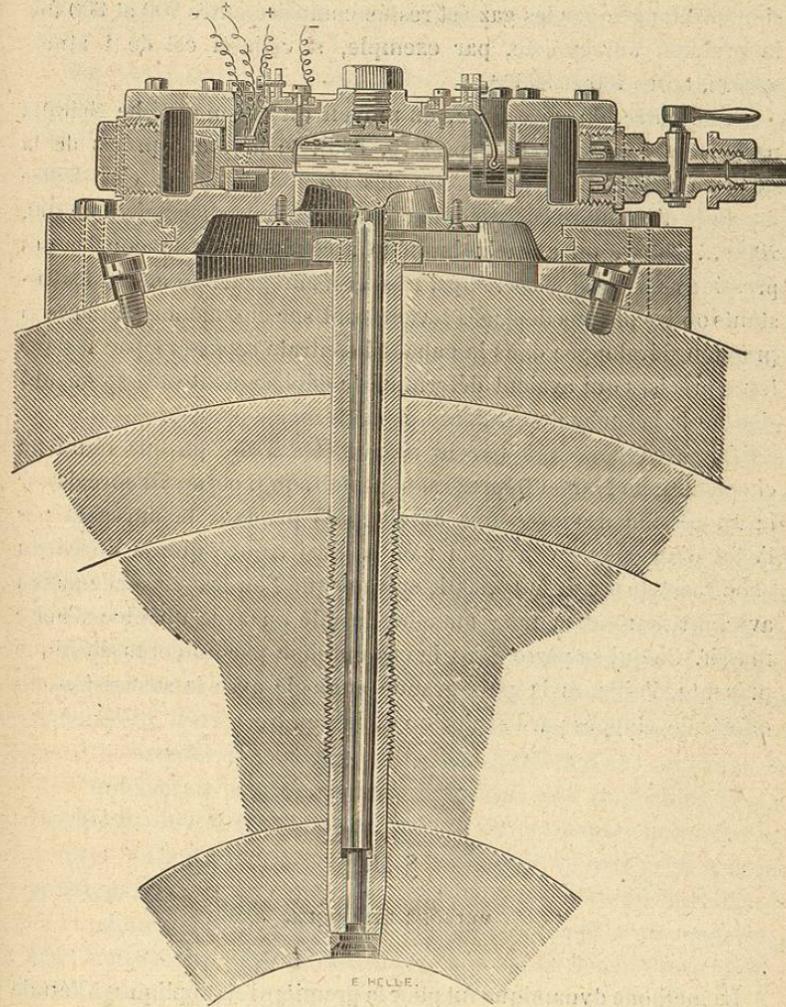
Cet appareil est d'une sensibilité remarquable: il peut mesurer, à quelques atmosphères près, les pressions développées soit dans une capacité close, soit en un point de l'âme d'une bouche à feu.

b) Manomètre à pistons multiples.

La balance manométrique à pistons multiples (*fig. 82*) se compose d'un premier piston différentiel, placé verticalement, dont la petite base reçoit l'action des gaz de la poudre et qui s'engage, par sa grande base, dans une capacité hermétiquement close et remplie de mercure; le rapport des deux bases est tel que la pression transmise au sein du liquide n'est que  $1/100$  de la pression exercée par les gaz de la poudre. Dix autres pistons différentiels, placés suivant les rayons d'un cercle horizontal, ont leurs petites bases, toutes égales entre elles, logées dans les parois de cette même capacité, tandis que leurs bases extérieures sont engagées dans la paroi d'une capacité annulaire où l'on peut développer, au moyen d'air comprimé, une pression connue que mesure un manomètre; ces der-

nières bases ont des surfaces variables d'un piston à l'autre, et respectivement égales à 1, 2, 3, ... 10 fois la petite base, de sorte que les pistons successifs seront repoussés quand la pression développée

Fig. 82.



au sein du mercure dépassera 1, 2, 3, ... 10 fois la pression antagoniste exercée par l'air comprimé. Un dispositif analogue à celui que nous avons décrit pour la balance manométrique à un seul piston

indique, pour chaque piston, s'il a été mis un instant en équilibre sous l'action des pressions exercées sur ses deux bases.

Si l'on suppose l'appareil placé sur un canon et que l'on constate, après le tir, que les 7 premiers pistons ont été dégagés, tandis que les 3 autres n'ont pas bougé, on pourra affirmer que la pression développée par les gaz est restée comprise entre 700 et 800 fois la pression antagoniste, par exemple, si celle-ci est de 1 atmosphère, entre 700 et 800<sup>atm</sup>.

Si, en outre, on enregistre, au moyen du chronographe Schultz perfectionné par Marcel Deprez (p. 553), le moment précis de la mise en mouvement de chacun des pistons déplacés, c'est-à-dire des états d'équilibre correspondant aux pressions successives de 100, 200, ... 700<sup>atm</sup>, on aura la branche ascendante de la courbe des pressions en fonction du temps. Et si l'on enregistre de même les instants où les pistons déplacés reviendront sur eux-mêmes, lorsque la pression développée dans la capacité centrale repassera par les valeurs précises qui avaient déterminé le déplacement initial, on obtiendra la branche descendante de cette même courbe.

L'appareil constitué par le manomètre à dix pistons réuni au chronographe Marcel Deprez est si parfait, qu'il permet d'enregistrer la succession des pressions développées pendant la durée et par l'effet d'un coup de marteau : on a ainsi trouvé que la durée du choc varie de 0<sup>sec</sup>,01 à 0<sup>sec</sup>,0001, suivant que l'on frappe sur le piston avec un marteau à long manche flexible ou avec un bloc d'acier massif. Ce qui se passe dans le cas du choc par un corps élastique présente d'ailleurs la plus grande analogie avec la succession des efforts développés par l'explosion de la poudre.

## § II.

### MÉTHODE DYNAMIQUE.

La méthode dynamique fut pour la première fois appliquée à l'étude des phénomènes balistiques par le chevalier d'Arcy (1760), l'inventeur de l'éprouvette à recul (p. 528), qui se servit du pendule balistique dû à Robins pour déterminer les vitesses obtenues avec des canons de fusil de différentes longueurs : c'était, en effet, étudier la

loi du mouvement d'un corps soumis à l'action de la force cherchée. Ces expériences n'ont été reprises que vers le milieu de ce siècle, par le colonel Cavalli.

### I. EXPÉRIENCES DE CAVALLI (1845-1860).

En 1845, Cavalli entreprit une série d'expériences pour déterminer les pressions développées par la poudre en différents points de l'âme, afin d'en déduire les épaisseurs les plus convenables à donner aux bouches à feu. Il se servit, à cet effet, d'un canon de 12 de campagne, dans lequel furent percés, dans un plan horizontal, 11 canaux perpendiculaires à l'axe, de 0<sup>m</sup>,027 de diamètre, le premier tangent au fond de l'âme, les 4 suivants distants d'une longueur égale au calibre et les autres d'une longueur égale à deux calibres; on vissait sur chaque canal un canon de fusil destiné à lancer une balle en fer forgé de 46<sup>es</sup>, ayant 0<sup>m</sup>,0264 de diamètre. On ne faisait usage, dans chaque expérience, que d'un seul canal, les 10 autres étant bouchés, et l'on disposait en face de ce canal un pendule balistique. Cavalli put ainsi mesurer les vitesses imprimées, aux différents points de l'âme et dans des conditions de tir identiques, à une même balle successivement engagée dans des canaux de même longueur, et il admit que les épaisseurs du métal devaient être proportionnelles aux quantités de mouvement correspondantes.

En 1860, Cavalli reprit ses expériences pour comparer la fatigue relative des canons lisses et des canons rayés. Chacun des deux canons reçut, vers le milieu de la longueur de la charge, un petit canal horizontal de 0<sup>m</sup>,0196 de diamètre, prolongé par un canon de fusil qui lançait sur un pendule balistique des projectiles pesant 25, 50, 75, 100 et 150<sup>es</sup>. Cavalli conclut de ces expériences que les rayures n'augmentaient pas, par le fait seul de leur présence, les pressions développées dans l'âme, qui étaient en outre indépendantes de l'inclinaison donnée à l'axe de la bouche à feu et ne dépendaient, dans une section droite déterminée, que de la densité de chargement.

### II. EXPÉRIENCES DE NEUMANN (1851).

En 1851, une Commission instituée à Berlin exécuta, d'après la méthode de Cavalli, des expériences qui durèrent plusieurs années