

la pression des gaz s'échappant par le vent ou de l'air refoulé en avant du projectile, en appliquant sur l'appareil un effort initial supérieur à l'action que peuvent exercer sur lui ces pressions, et que l'on pourrait d'ailleurs mesurer à l'aide d'appareils légers, complètement libres et munis de ressorts de sensibilité convenable.

Si l'on désigne par :

- p le poids total de l'appareil lancé,
- e la course qui lui est laissée,
- t le temps employé à la parcourir,
- v la vitesse acquise,
- h la hauteur du lancé,
- F la force développée au bout de ce temps sur la tête du piston,

on a :

$$F = \frac{p}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{p}{g} v \frac{dv}{de};$$

or :

$$v^2 = 2gh, \quad vdv = gdh;$$

donc :

$$F = p \frac{dh}{de},$$

en considérant dh et de , non comme des infiniment petits, mais comme des quantités très-petites. — Si l'on place l'appareil en un point où la pression puisse être regardée comme sensiblement constante, il viendra :

$$F = p \frac{h}{e},$$

c'est-à-dire que la pression moyenne développée est proportionnelle au poids de l'appareil et à la hauteur du lancé ou au carré de la vitesse acquise, et inversement proportionnelle à la course laissée. — Quant à la durée du trajet, elle est donnée par la formule :

$$t = \int_0^e \frac{1}{v} de,$$

c'est-à-dire qu'on l'obtient en évaluant l'aire de la courbe qui aurait pour les abscisses et les $\frac{1}{v}$ pour ordonnées.

En appliquant l'accéléromètre à la combustion de la poudre en

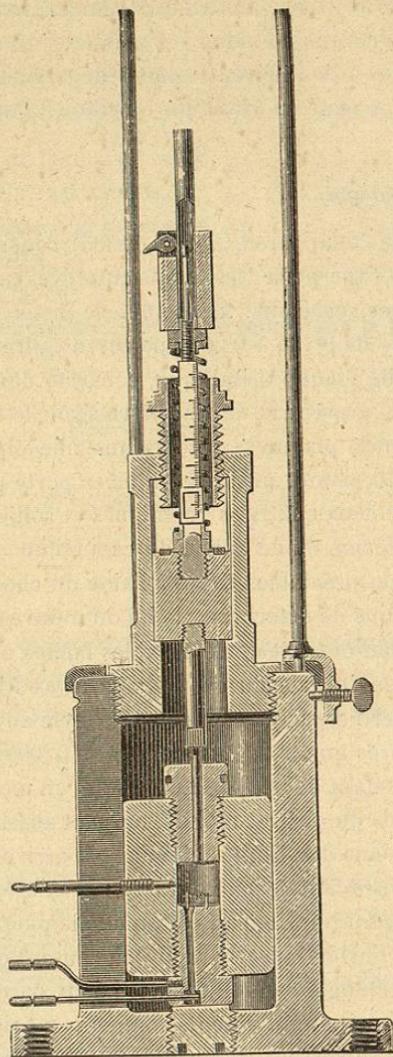
vase clos, on a pu déterminer les courbes des pressions en fonction du temps, très-nettement caractéristiques des diverses poudres. L'appareil a été, en outre, mis en expérience à Nevers sur un canon de 19 cent., et a permis d'étudier les pressions développées par différentes poudres et avec différents modes de chargement, d'abord en un point de l'âme situé en avant des tourillons, puis dans la chambre même.

b) Accélérographe.

Le principe de cet appareil (*fig. 84 et 85*) consiste à enregistrer, dans une même expérience, les temps employés par le piston à parcourir les espaces successifs. A cet effet, le piston, auquel on laisse une course libre de 0^m,04 à 0^m,05, porte un cadre dans lequel s'introduit une petite plaque métallique, couverte de noir de fumée ou de vernis gras de graveur et destinée à recevoir le tracé de la courbe cherchée. Devant la plaque se meut, dans une direction perpendiculaire à l'axe du piston, un style en acier porté par un chariot léger, guidé entre deux coulisses rectilignes et sollicité à se mouvoir par un ressort formé d'une bande de caoutchouc fortement tendu.

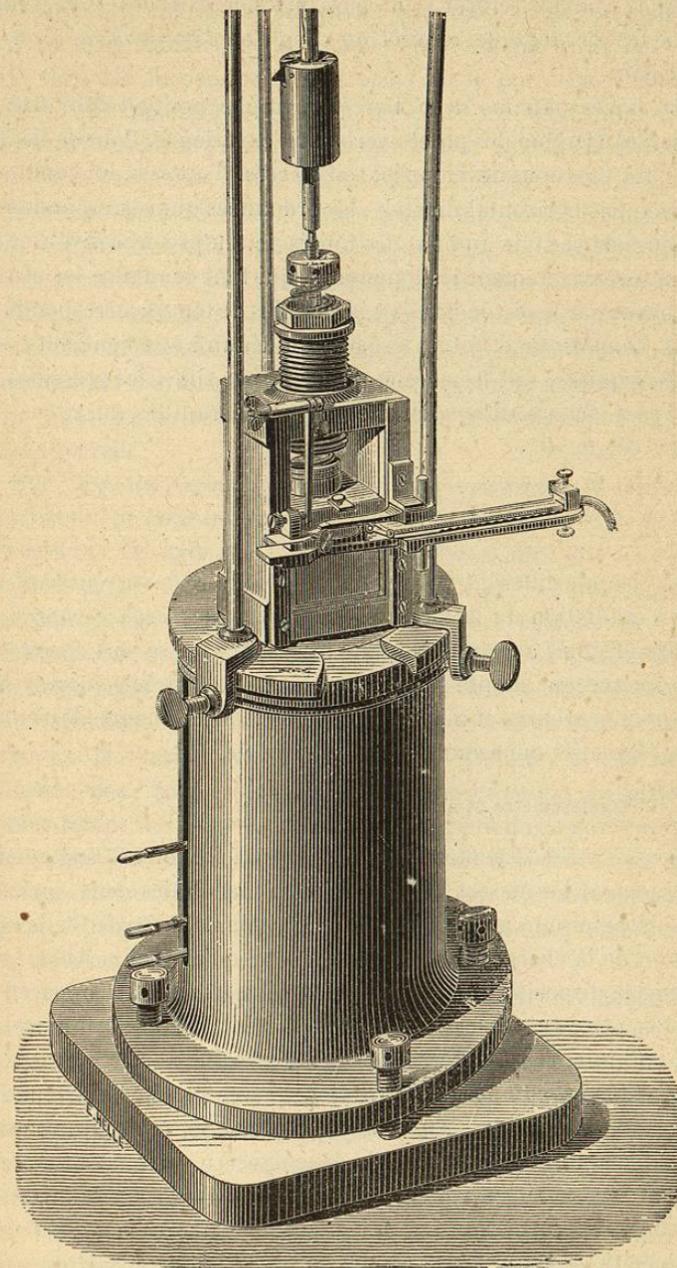
Des expériences préalables, faites à l'aide du chonographe Schultz (p. 555), ont permis de déterminer la loi du mouvement rectiligne de ce style, lorsqu'on connaît deux variables faciles à déterminer et à régler : la tension initiale du caoutchouc et sa force élastique. On peut ainsi évaluer l'espace parcouru par le style au bout d'intervalles de temps moindres que 0^m,001 et même que 0^m,0001, la durée totale de son parcours étant de 0^m,01 à 0^m,02. Enfin, en modifiant la tension initiale et le poids du chariot mobile, on peut aussi faire varier la loi du mouvement dans des limites étendues et arriver à rendre les vitesses acquises pendant le parcours par le chariot comparables à celles que la poudre imprime au piston et à la plaque qu'il porte, de manière que la courbe tracée se rapproche autant que possible de la diagonale du rectangle construit sur les deux parcours. On obtient d'ailleurs que les deux mouvements commencent rigoureusement au même instant en se servant, pour tenir le caoutchouc bandé avant l'expérience, d'une petite lame métallique mince, pincée entre la partie fixe de l'appareil et un appendice porté par le cadre, de façon à se trouver maintenue par l'adhérence due au frottement quand le piston est enfoncé dans son canal : la simple disparition de la pression qui produit l'adhérence suffit pour laisser échapper cette pièce.

Fig. 84.



Le mode de mesure des temps est complété par une lame vibrante exactement tarée, qui inscrit directement ses vibrations sur le tableau et qui, à elle seule, pourrait constituer un accélérographe d'une grande simplicité. Cette lame, qui donne 1 000 vibrations simples à

Fig. 85.



la seconde, est maintenue bandée, avant le tir, par un appendice fixé sur le tableau et qui vient accrocher son extrémité supérieure : elle se trouve dégagée aussitôt que le piston a éprouvé un léger déplacement.

Les tracés obtenus avec l'accélérographe peuvent être fixés et conservés à l'appui des procès-verbaux d'expérience. Pour en déduire la loi des pressions développées, on tracera, d'après la loi connue du mouvement horizontal du style, les ordonnées qui correspondent au parcours de ce style au bout des unités de temps successives, et l'on en mesure exactement les longueurs, qui font connaître les espaces parcourus par le piston dans les intervalles de temps correspondants. De la connaissance de ces espaces on déduira aisément soit les vitesses acquises, soit les accélérations et, par suite, les pressions développées. On a toujours, en effet, en considérant les variations très petites de , dv , dt :

$$v = \frac{de}{dt}, \quad F = \frac{p}{g} \frac{d^2e}{dt^2}.$$

Mais la double différentiation pourrait introduire des erreurs notables dans l'évaluation de la force, si la mesure des espaces parcourus n'était effectuée avec une extrême précision : on se sert, pour cela, d'un microscope monté sur un double chariot, mobile suivant deux axes rectangulaires et mis en mouvement dans chaque direction à l'aide d'une vis micrométrique à tête divisée.

c) Accéléromètre et accélérographe réunis.

Dans les essais exécutés à Nevers, Sébert a été conduit à augmenter notablement les masses déplacées, pour chacun des deux appareils, afin d'étudier une portion plus considérable de la durée de la combustion de la charge; il a même reconnu qu'il était possible d'appliquer le dispositif qui constitue l'accélérographe sur l'appareil qui sert d'accéléromètre, et c'est ainsi qu'a été créé l'appareil à destination multiple, représenté par les *fig.* 84 et 85.

Le piston est composé de deux pièces : une pièce cylindrique inférieure, formant piston proprement dit, et une pièce cubique engagée dans une boîte rectangulaire qui la guide; ce cube, dont on peut faire varier le poids à volonté, sert à donner au piston la masse nécessaire. Une forte vis à pas métrique, placée à la partie supérieure de la boîte, sert à régler la course du piston. Si l'appareil est monté

sur une éprouvette fixe, on mesure la vitesse acquise par le piston au bout de sa course par la hauteur à laquelle s'élève un poids placé sur la face supérieure du cube, et qui est lancé le long d'une tige verticale suspendue à un trépied élevé porté par l'éprouvette même. Si l'appareil est destiné à être placé sur un canon, le poids lancé est remplacé par un ressort à boudin, dont la flexion est déterminée par le choc d'une petite masse libre placée à sa partie inférieure et mesurée à l'aide d'un vernier engagé sur la tige centrale que supporte le ressort. Dans le premier cas, on peut monter à la fois le ressort et le poids lancé, afin que les deux indications se contrôlent mutuellement; dans le second, on peut surmonter le ressort de poids additionnels qui sont lancés librement en l'air et qui, en augmentant les masses mises en mouvement, permettent d'étudier une plus longue partie de la combustion et de diminuer la fatigue de l'appareil.

Sur l'une des faces de la pièce cubique qui forme la tête du piston est fixé le tableau destiné à recevoir les traces du style de l'accélérographe. Ce style et le chariot qui le porte, ainsi que les rails qui le guident et le ressort en caoutchouc qui le met en mouvement, ont été montés sur une platine qui peut se fixer à volonté sur la boîte rectangulaire qui sert de guide à la pièce cubique; à la partie supérieure de cette boîte est disposée la lame vibrante. On obtient donc, dans une seule expérience, deux courbes tracées sur le tableau, l'une par le chariot, l'autre par la lame vibrante, et qui suffisent chacune pour faire connaître la loi du mouvement du piston; en même temps, les indications du poids lancé et du ressort comprimé, en donnant la vitesse acquise par l'appareil à la fin de sa course, servent à contrôler les courbes fournies par l'accélérographe. On peut d'ailleurs faire fonctionner à volonté l'un ou l'autre des deux appareils ou tous les deux à la fois.

Pour les bouches à feu, les appareils doivent être construits de façon spéciale, afin d'être soustraits le plus possible aux effets des vibrations. Le mouvement de recul influe d'ailleurs sur la loi du déplacement du chariot, quand l'appareil n'est pas disposé de telle manière que le plan dans lequel se meut ce chariot soit perpendiculaire au plan de tir : c'est donc dans cette position qu'il convient de le placer. Mais on a pu mettre à profit l'influence du recul sur la loi du déplacement du chariot, lorsque le plan du mouvement est, au contraire, parallèle au plan de tir, pour déterminer en même

temps, à l'aide d'un appareil convenablement modifié, la loi de recul du canon et la loi du mouvement du piston.

d) *Vélocimètre.*

Le vélocimètre, récemment construit par Sébert, permet d'étudier à la fois le mouvement de recul de la pièce et le déplacement du projectile. Il donne, en effet, le parcours, en vraie grandeur, de la bouche à feu dans son mouvement de recul, pour des intervalles de temps également espacés, dont la durée a été amenée à 1/1500 de seconde et pourra être encore réduite; il fait connaître, en outre, par l'addition d'enregistreurs spéciaux, l'instant précis où le projectile passe en des points déterminés de l'âme, à la bouche de la pièce et dans les différents cadres-cibles placés sur son parcours.

L'appareil se compose, pour la détermination de la loi du recul, d'un ruban d'acier flexible, de longueur convenable, qui peut glisser dans une coulisse horizontale fixée sur un support voisin de la pièce. Ce ruban, dont la face supérieure est recouverte de noir de fumée, est relié au point de la bouche à feu ou de l'affût dont on veut étudier le recul par un fil d'acier flexible en tous sens, mais sensiblement inextensible; il est entraîné lors du recul de la pièce, dont il suit le mouvement, quelle qu'en soit la longueur. Au-dessus du ruban est disposé un diapason vibrant, entretenu électriquement par le procédé Mercadier perfectionné par Marcel Deprez (p. 557), procédé qui permet d'obtenir une amplitude considérable et un mouvement régulier et durable; ce diapason, dont l'une des branches porte une petite plume en acier, est monté sur un axe horizontal qui sert à l'approcher ou à l'éloigner du ruban, de manière que la plume soit amenée à appuyer légèrement sur la surface noircie. — Lorsque le ruban est entraîné par le recul, la plume du diapason trace une sinusoïde qui fait connaître, par l'écartement des ondulations successives mesuré sur la ligne médiane, les parcours de la bouche à feu pour des intervalles de temps égaux à la durée d'une oscillation simple. En relevant ce tracé au moyen d'un appareil micrométrique muni d'un microscope, on peut construire, avec une grande précision, une courbe qui donne les parcours du canon en fonction du temps. Si l'on prend les différences premières des parcours successifs, on en déduit les vitesses de recul successives de l'affût; et, si l'on prend les différences secondes, on peut, connaissant le poids des masses mises en mouvement et abstraction

faite des résistances passives, calculer, à chaque instant, la force appliquée au système et, par suite, la pression exercée sur le fond de l'âme. La sensibilité de l'appareil est telle, que le tracé de la courbe des vitesses de recul met en évidence la nature ondulatoire du mouvement imprimé au système, phénomène qu'il faut sans doute attribuer à l'élasticité des pièces qui le composent.

Pour mesurer les durées de trajet du projectile soit dans l'âme, soit dans l'air, il suffit de placer dans le voisinage du diapason, en nombre égal à celui des signaux que l'on veut obtenir, de petits enregistreurs électriques du système Marcel Deprez (p. 558), qui sont mis en communication électrique avec des fils métalliques disposés à l'intérieur de l'âme, à la bouche de la pièce ou sur différents cadres-cibles, et destinés à être rompus par le passage du projectile: le déplacement subit du trait continu, que trace la plume de chaque enregistreur, permet de déterminer l'instant précis de la rupture correspondante. L'appareil est d'ailleurs construit de manière à donner, par une opération préalable très-simple, la valeur du retard de fonctionnement de chaque enregistreur, lequel est réduit à 0^{sec},0005 en moyenne; les variations de ce retard peuvent atteindre 0^{sec},00002, et limitent ainsi la précision de l'appareil.

Le vélocimètre peut également servir à étudier la loi du mouvement de tout corps qui reçoit une brusque impulsion: détente d'un ressort rendu subitement libre, déplacement du piston d'une machine à gaz lancé par l'explosion d'un mélange détonant, mouvements provoqués par les moteurs animés, etc.

Les expériences exécutées à la poudrerie de Sévran-Livry ont fait ressortir nettement ce fait, déjà signalé par la Commission de Gavre, que la vitesse de recul de l'affût continue à croître notablement après que le projectile est sorti de la bouche à feu, effet qui est évidemment dû à la détente des gaz restant encore dans l'âme. Ainsi, le tir du canon de 24^{cm} ($p=144^k$, $\omega=28^k$, $v=450^m$, cf. p. 508) a donné les résultats suivants:

Au bout de 0^m,0114 (sortie du projectile):

Chemin parcouru par l'affût	0 ^m ,03
Vitesse de recul	3,80

Au bout de 0^m,048 (projectile à 15^m de la bouche):

Chemin parcouru par l'affût	0 ^m ,20
Vitesse de recul (maximum).	5,20

Appuie a l'étude de la loi du déplacement du projectile, pour le canon de 24^m, le vélocimètre a donné les résultats ci-après :

Durée du parcours du projectile dans l'âme.	0 ^s ,011 24
Durée du parcours de la bouche au premier cadre (à 33 ^m). . .	0,073 05
Durée du parcours du premier au second cadre (à 83 ^m). . .	0,112 70

Il résulte de ces valeurs que la vitesse du projectile était, à 26^m de la bouche à feu, de 451^m,2, et, à 78^m, de 443^m,2.

[Faint, mostly illegible text continues on the page, separated by a decorative horizontal line.]

[Vertical stamp or mark on the left edge of the page.]

DEUXIÈME PARTIE

LES CORPS EXPLOSIFS