

cipales poudres de guerre françaises sont résumés dans le tableau suivant, la vitesse étant supposée corrigée par rapport à celle de la poudre normale ou poudre-type :

ESPÈCE de poudre.	ARME.	POIDS		DISTANCE de la bouche à laquelle la vitesse est mesurée ou rapportée.	VITESSES RÉGLEMENTAIRES.	
		de la charge.	du projectile.		Limite inférieure.	Limite supérieure.
		kil.	kil.	mètres	mètres	mètres
Poudre F <sub>1</sub> .	Fusil Gras. . . .	0,00525	0,025	25	426,0	434,0
Poudre C <sub>1</sub> .	Canon de 5. . . .	0,88	4,8	35	415,0	424,0
	Canon de 7. . . .	1,14	7,0	35	387,0	395,0
Poudre SP <sub>1</sub> .	Canon de 138 <sup>mm</sup> .	3,74	20,0	35	378,0	383,0
Poudre SP <sub>2</sub> .	Canon de 24 <sup>cm</sup> .	28,00	144,0	0 (*)	436,5	445,5

(\*) Le chronographe donne la vitesse du projectile à 60<sup>m</sup>, et l'on en déduit la vitesse initiale au moyen de tables construites à l'avance.

*Mesure des temps très-courts.* — Si l'on voulait mesurer un temps très-court, le trait obtenu se rapprocherait de celui de la disjonction; or, on a intérêt à ce qu'il vienne toujours se placer vers la partie supérieure du chronomètre, alors que celui-ci est animé de sa plus grande vitesse, afin que de faibles différences de temps soient traduites par de grandes différences de hauteur. On adopte, dans ce cas, une disposition spéciale consistant à placer l'enregistreur, avec son électro-aimant, au sommet de la colonne, de sorte que la disjonction, qui correspond à une chute de 0<sup>ms</sup>,3, se fait vers l'extrémité supérieure du chronomètre; en outre, il devient inutile de régler la hauteur de la disjonction, il suffit qu'elle reste constante; enfin, on renverse l'ordre des courants, et l'on fait passer celui qui doit être rompu le premier sur l'électro-aimant de l'enregistreur, de manière que le temps se marque négativement et qu'on obtienne la durée cherchée en retranchant du temps correspondant à la disjonction celui qui correspond au trait donné par le tir. On voit ainsi que, plus les durées deviennent petites, plus leur espace représentatif est relativement grand.

Une table calculée d'avance indique les durées correspondant à

Fig. 61.

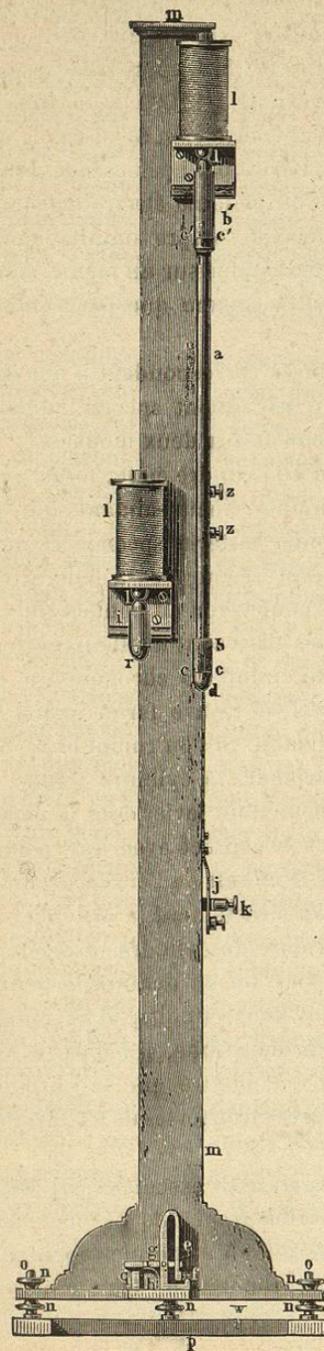
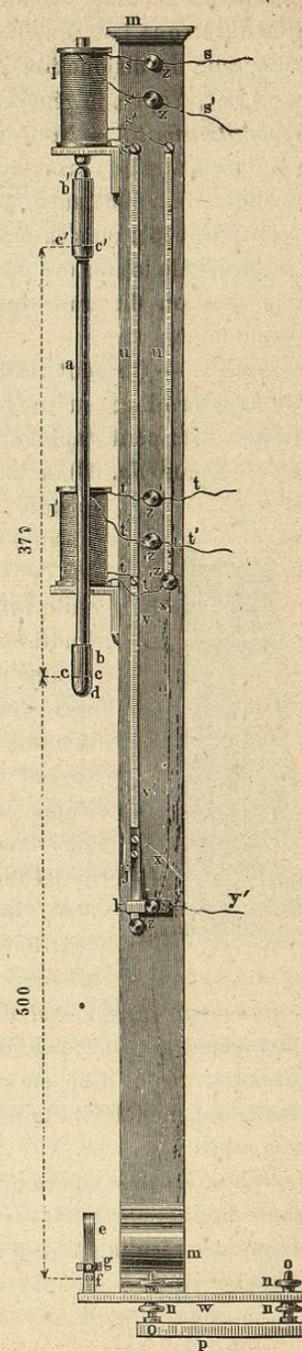


Fig. 62.



des hauteurs de chute variant par dixièmes de millimètres. La plus longue durée que l'on puisse ainsi mesurer est celle qui correspond à la hauteur de disjonction, c'est-à-dire  $0^{\text{m}},3$ . L'approximation obtenue serait, d'après le général Mayewski, de  $1/40\,000$  de seconde.

*Appareil primitif.* — Nous donnons ci-contre (fig. 61 et 62) la disposition primitive du chronographe construit par Le Boulengé (1863). Le disjoncteur n'était autre que celui du pendule électro-balistique de Navez (p. 535); on s'assurait, en faisant rompre simultanément par le projectile les fils des deux circuits tendus sur un même cadre, que la position du trait restait bien la même que par l'emploi du disjoncteur.

*Contrôleur.* — On peut vérifier la durée correspondant à une disjonction déterminée au moyen d'un instrument spécial, nommé contrôleur, qui peut s'appliquer également aux deux modèles.

Le contrôleur (fig. 63) se compose d'un cylindre en fer forgé, suspendu à un double électro-aimant, qui est entretenu par une batterie spéciale et dont les deux tiges sont recourbées à leur extrémité inférieure pour venir au contact du cylindre en fer; ces tiges sont d'ailleurs isolées et font partie du circuit du chronomètre, de sorte que celui-ci se trouve fermé quand le cylindre est suspendu. Si l'on rompt le circuit spécial du contrôleur, le cylindre tombe et frappe sur la queue d'un levier dont la partie antérieure, par son contact avec une pointe de laiton, ferme le circuit de l'enregistreur.

Si l'on connaît exactement la distance de l'extrémité inférieure du cylindre suspendu à la queue du levier, on en déduira le temps qui s'est écoulé entre l'interruption des deux circuits, et ce temps doit coïncider avec l'indication du chronographe, si l'appareil est parfaitement réglé. Une série d'essais a montré que le chronographe (ancien modèle) indiquait des durées trop fortes de  $0^{\text{m}},000\,204$  en moyenne.

*Conclusion.* — Des expériences comparatives exécutées par Melsens avec le pendule de Navez et le chronographe de Le Boulengé ont donné des résultats tout à fait favorables à ce dernier appareil; l'accord des vitesses indiquées par le chronographe était entière-

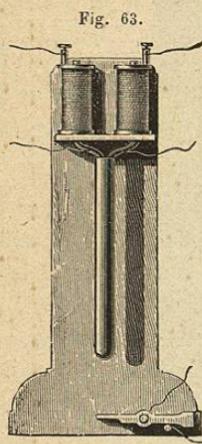


Fig. 63.

ment satisfaisant, et celles-ci se trouvaient notablement plus faibles qu'avec l'appareil de Navez. Le chronographe est exempt de tout frottement: le chronomètre et l'enregistreur ne rencontrent d'autre résistance que celle de l'air; toutes les autres causes d'erreur sont prévues et parfaitement corrigées.

Le chronographe Le Boulengé constitue donc l'un des appareils les plus maniables et les plus précis que l'on possède pour la mesure de la vitesse des projectiles.

#### d) Clepsydre électrique de Le Boulengé.

Le chronographe ne permet de mesurer que des durées relativement courtes, parce que les hauteurs de chute croissent comme les carrés des temps. Le Boulengé a imaginé d'employer comme chronomètre l'écoulement d'un liquide, en déterminant le temps par le poids du liquide écoulé pendant l'intervalle à mesurer; de là le nom de *clepsydre* donné au nouvel appareil. On sait, en effet, que la clepsydre des anciens était une sorte d'horloge qui marquait les heures par la quantité d'eau écoulée.

L'appareil (fig. 64 et 65) se compose d'un récipient circulaire A, de  $0^{\text{m}},20$  de diamètre sur  $0^{\text{m}},03$  de hauteur, destiné à recevoir le mercure et porté par une colonne creuse B de  $0^{\text{m}},20$  de hauteur, qui se termine par un trépied muni de trois vis de calage X. Le récipient, la colonne et le pied sont en fonte et reposent sur une plaque C également en fonte, dont le rebord sert à retenir le mercure qu'on pourrait laisser échapper du vase D. Un disque en fonte E recouvre le récipient A et porte les organes de l'appareil électrique. La colonne creuse B se termine, à sa partie inférieure, par un orifice à minces parois, qu'on peut fermer au moyen d'une soupape conique pour arrêter l'écoulement du mercure; le disque de l'orifice, la soupape R et le support F, sur lequel elle repose, sont en acier. Une tige rigide G, fixée à la soupape, traverse le récipient A et le couvercle E, et vient butter contre un levier horizontal H, qui sert à arrêter ou à permettre l'écoulement du mercure. Le levier H est actionné par deux autres leviers I, J, dont les extrémités portent des enveloppes de fer doux K, L, et qui, au repos, sont maintenus par les électro-aimants M, N. Le levier J, destiné à fermer la soupape, se compose de deux tiges parallèles, réunies, à une extrémité, par l'enveloppe de fer doux et, à l'autre, par une traverse qui retient le levier. — Si le courant de l'électro-aimant M est rompu, le levier

Fig. 64.

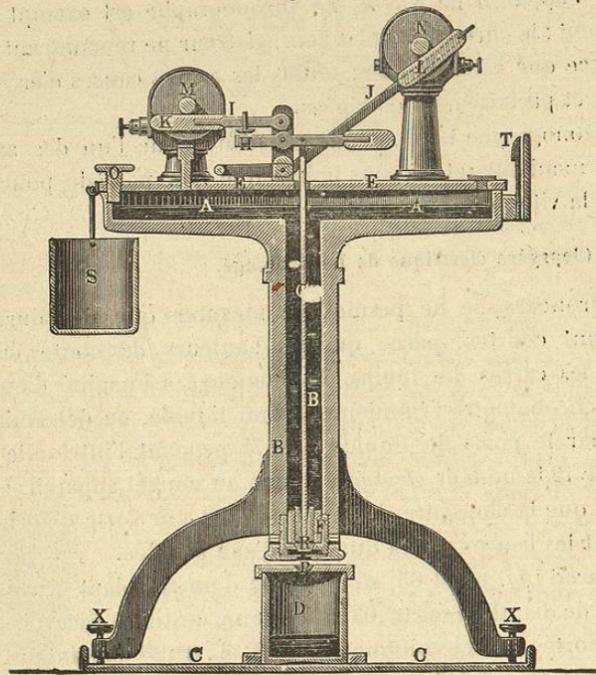
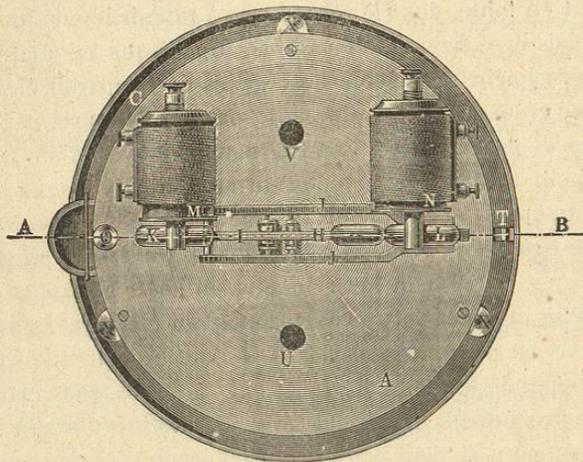


Fig. 65.



Il tombe sur le levier de la soupape, ouvre celle-ci, et le mercure s'écoule dans le vase D. Si l'on rompt le courant de l'électro-aimant

N, c'est le levier J qui s'abaisse pour relever le levier I jusqu'à sa position primitive; la soupape retombe et l'écoulement cesse. Un faquet d'arrêt T empêche les oscillations du levier J après sa chute.

Les deux circuits sont successivement rompus par le projectile: l'écoulement du mercure se produit dans l'intervalle des deux ruptures. Si l'on admet que l'écoulement soit constant et qu'on désigne par  $P'$  le poids du mercure écoulé dans le vase D et par  $P$  la quantité de mercure qui s'échappe en une seconde par l'orifice, l'intervalle de temps compris entre l'ouverture et la fermeture de la soupape aura pour expression  $\frac{P'}{P}$ . Ce quotient représenterait aussi le

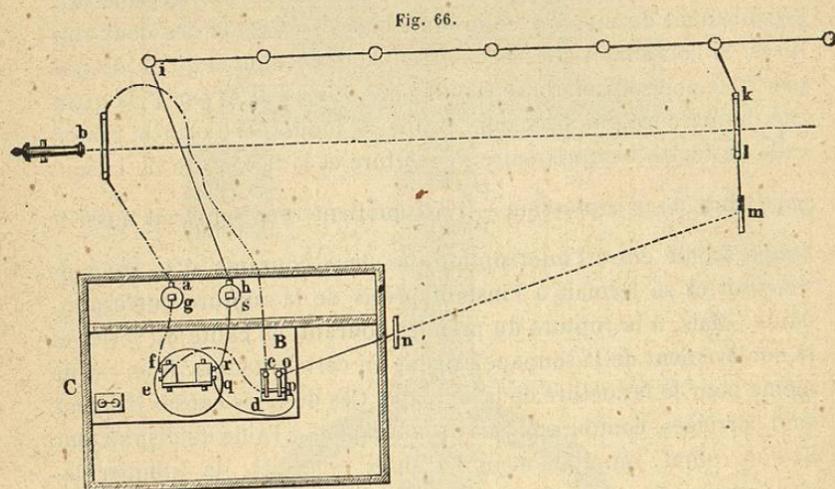
temps écoulé entre l'interruption des deux courants si la soupape s'ouvrait et se fermait à l'instant précis de la rupture correspondante. Mais, à la rupture du premier courant, la chute du levier et le soulèvement de la soupape exigent un certain temps; il en est de même pour la fermeture de la soupape. Ces diverses causes d'erreur sont corrigées, comme pour le chronographe, à l'aide du disjoncteur. Si l'on rompt simultanément les deux courants, le premier levier ouvrira la soupape un certain temps avant que le second la ferme; soit  $p$  le poids du mercure écoulé. Le quotient  $\frac{P-p}{P}$  exprimera l'intervalle de temps cherché.

L'écoulement du mercure n'est pas rigoureusement constant, à cause de la diminution de hauteur de la colonne mercurielle et des variations de température survenant au cours de l'expérience. Le Boulengé a montré que, en raison de la grande surface du mercure dans le récipient A et de la petitesse de l'orifice d'écoulement, le niveau ne s'abaisse que de  $0^{\text{m}},0001$  par seconde; on est donc autorisé à admettre que l'écoulement reste constant dans l'intervalle d'une seconde, et diminue d'une quantité constante en passant d'une seconde à la suivante. Cette diminution a été trouvée de  $0^{\text{m}},000\,000\,001$ , ce qui correspondait à  $0^{\text{m}},000\,000\,002$ .

Pour établir expérimentalement une table des durées, Le Boulengé a construit un appareil spécial, assez compliqué, qui se compose essentiellement d'un régulateur à secondes dont la tige, agissant sur un système de deux petites ancras métalliques, permet d'interrrompre le courant d'ouverture et le courant de fermeture.

Nous donnons ci-après (fig. 66) la disposition générale d'une expérience. Le circuit d'ouverture *abcdefg* comprend le premier

cadre-cible *b*, le disjoncteur et l'électro-aimant d'ouverture *ag*; il passe devant la bouche de la pièce, soit sur un cadre ordinaire placé à une distance de 10<sup>m</sup> en avant, soit à l'aide d'un simple fil métal-



lique tendu devant la bouche. Le circuit de fermeture *hiklmnopqrs* comprend le second cadre, le disjoncteur et l'électro-aimant de fermeture *hs*. Le courant est conduit dans le sol par une plaque métallique *m*, plongeant dans l'eau ou dans un terrain humide; une seconde plaque *n* ramène le courant à l'appareil.

Ces dispositions prises, on s'assure que les courants ont une force suffisante pour maintenir les leviers, on établit le niveau du mercure et l'on prend une disjonction; cette dernière opération est répétée trois fois avant chaque coup, et l'on prend le tiers du mercure écoulé pour le poids correspondant à la disjonction. On pèse sur une balance sensible au 1/2 centigramme, ce qui suffit parfaitement, puisque 1/2 centigramme correspond à moins de 1/1 200 de seconde.

Pour appliquer son appareil à la mesure de la durée des trajectoires des bombes, Le Boulengé a imaginé le dispositif suivant. Comme l'éparpillement des éclats rend très-difficile la rupture du second circuit sur un cadre-cible, l'interruption du courant de l'électro-aimant *N* (*fig. 64*) doit s'effectuer par la secousse même du sol dans les environs du point de chute de la bombe. A cet effet, on fixe au pied de la barre sur laquelle on vise une petite boîte contenant

organe spécial (*fig. 67 et 68*), composé d'un électro-aimant *A* qui

Fig. 67.

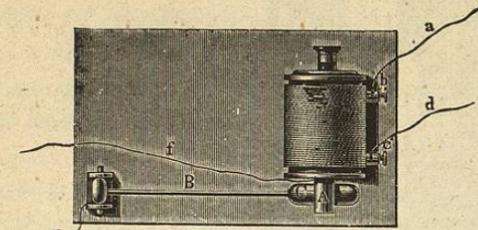
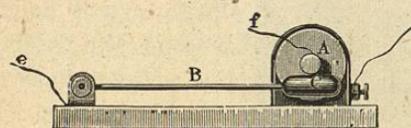


Fig. 68.



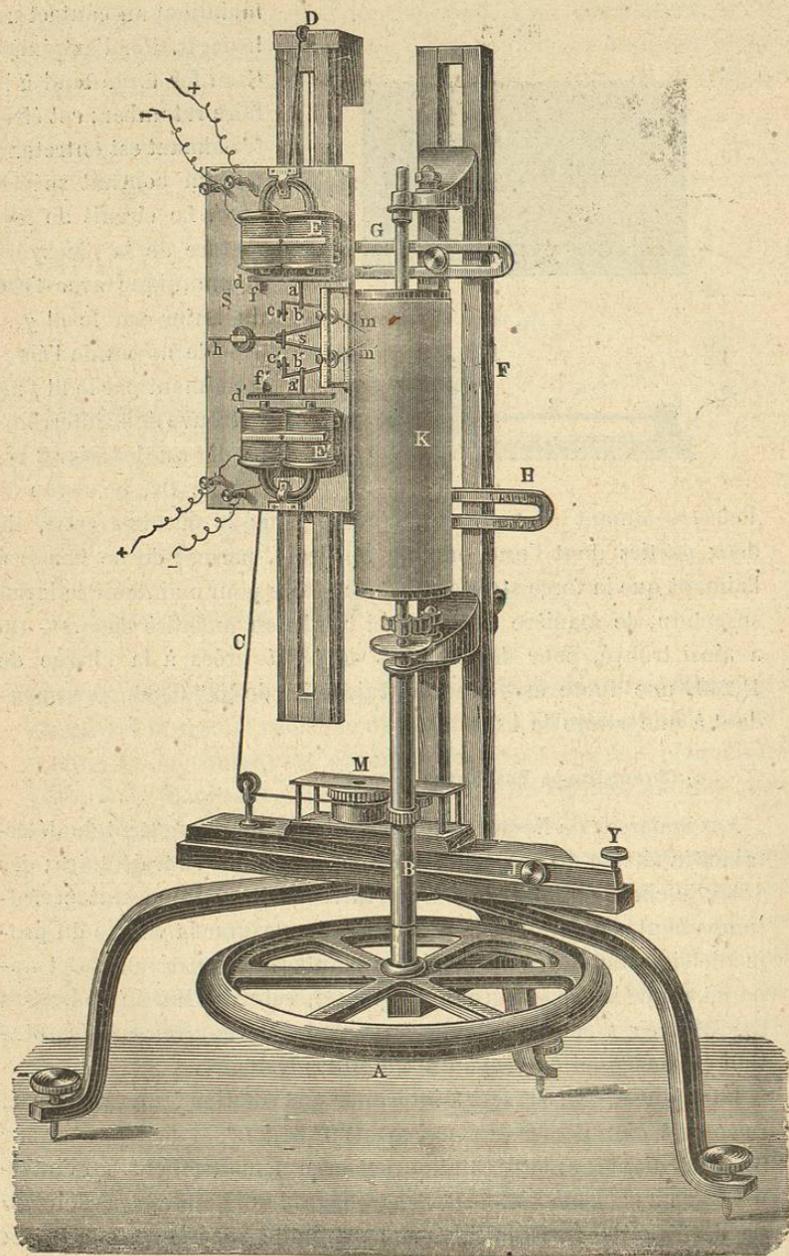
maintient au contact un levier *B*, dont l'extrémité *C* en fer forgé tend à le faire retomber; cet électro-aimant est entretenu par un courant spécial *abcd*. Le circuit de fermeture de la clepsydre communique avec l'axe du levier par le fil *g* et avec le noyau de l'électro-aimant par le fil *f*: il se trouve donc interrompu dès que le levier *B* retombe. Or, le noyau de

l'électro-aimant se compose, comme pour le chronographe, de deux parties dont l'une, mobile et filetée, permet de ne laisser à l'aimant que la force strictement nécessaire pour maintenir le levier suspendu, de manière que celui-ci tombe au moindre choc. — On a ainsi trouvé, pour des bombes de 58<sup>k</sup>,7 tirées à la charge de 1<sup>k</sup>,240, une durée moyenne de trajectoire de 15<sup>sec</sup>,0388, correspondant à une portée de 1 000<sup>m</sup>.

#### e) Chronographe Bashforth.

Les appareils de Navez et de Le Boulengé ne permettent de déterminer la vitesse du projectile que sur un point de sa trajectoire; dès 1865, le chronographe de Bashforth réalisait un important perfectionnement, en donnant la possibilité de mesurer la vitesse du projectile simultanément en plusieurs points de son parcours. Cet appareil rappelle, sous plusieurs rapports, celui de Martin de Brettes (p. 533): c'est encore un cylindre animé d'un mouvement de rotation et sur lequel un crayon marque des traits.

Le volant *A* (*fig. 69*) sert à imprimer une rotation à un cylindre *K*, recouvert d'un papier préparé, ayant 0<sup>m</sup>,31 à 0<sup>m</sup>,36 de longueur sur 0<sup>m</sup>,104 de diamètre; cette rotation met aussi en mouvement, par l'intermédiaire de la roue dentée *B*, l'engrenage *M* qui dévide le cordon *CD*. Ce dernier étant assujéti, à son extrémité supérieure, en *D*, au cadre mobile *S*, il en résulte que les crayons-compteurs *m*, *m'*, dis-



posés sur ce cadre, se déplacent de haut en bas pendant la rotation du cylindre. On communique le mouvement au volant à l'aide d'une manivelle, de manière qu'il fasse 3 tours en 2 secondes; une révolution du cylindre correspond alors à un déplacement vertical du cadre de  $0^m,0085$ . La disposition générale des crayons  $m$ ,  $m'$  consiste en un système de leviers, commandé par les leviers à ancre  $d$ ,  $d'$  et par les électro-aimants E, E'.

Si le levier  $h$  est abaissé, les ressorts se soulèvent et le contact de  $m$  et de  $m'$  avec l'enveloppe de papier produit une spirale. Mais si le courant de l'électro-aimant E vient à s'interrompre, le ressort  $f$  arrache le levier à ancre  $d$  qui agit par le bras  $a$  sur le système  $b$ , d'où résulte un déplacement latéral de la pointe  $m$ , qui décrit une courbe différenciée sur le cylindre; et, si l'on ferme de nouveau le courant, le levier  $d$  replace le crayon dans une position à partir de laquelle il continue, en quelque sorte, la première spirale. C'est du changement de position du crayon sur le papier qu'on déduit, à l'aide d'une machine à diviser et d'un compas micrométrique, le temps écoulé entre les deux interruptions du courant. A cet effet, le circuit de l'électro-aimant E' est interrompu, par un dispositif spécial, à chaque oscillation double d'un pendule battant la demi-seconde; la spirale du crayon  $m'$  porte ainsi une série de petits traits marquant les secondes successives. Quant au courant de l'électro-aimant E, il passe, au moyen d'une batterie particulière, par les fils qui doivent être successivement rompus par le projectile; il sera donc rompu, aussi bien à la sortie du projectile hors du canon qu'à son passage à travers les différents cadres-cibles, et les instants de ces diverses interruptions seront marqués par le crayon  $m$ . On calcule la vitesse moyenne du projectile correspondant à l'intervalle compris entre deux quelconques de ces interruptions, en comparant les indications du crayon  $m$  avec celles du crayon  $m'$ .

Nous donnons ci-après (*fig. 70*) la disposition des styles. Si le levier  $h$  est abaissé (*fig. 69*), le bras P (*fig. 70*) se relève, le levier  $s$  tourne autour de CD, et le style  $m'$  est amené au contact du cylindre; le mouvement du style est d'ailleurs limité par l'arc  $k$ , et la pointe conserve la même position relative, pendant le déplacement du cadre, tant que l'électro-aimant E' reste en activité. Dès que le circuit est rompu, le retrait du bras de levier  $d'$  (*fig. 69*) imprime au bras  $a'$  (*fig. 70*) un léger déplacement dans le sens de la flèche, lequel se transmet au levier  $b'$ ; ce dernier formant avec l'arc  $k$  un