Nouveaux principes d'artillerie de ... Benjamin Robins

Robins, Benjamin

A Dijon, MDCCLXXXIII [1783]

Persistent Link: https://doi.org/10.3931/e-rara-28943

Nouvelles expériences faites a Woolwich.

NOUVELLES EXPÉRIENCES

FAITES A WOOLWICH,

Pour connoître les vîtesses initiales des Boulets, rapportées dans les Transactions philosophiques, année 1778, n°. 111.

CES expériences ont été faites par M. Hutton, pendant l'été de 1775, en présence de plusieurs Membres de la Société militaire. On y a employé un pendule à l'imitation de celui de M. Robins, mais plus long, plus pesant, & capable de recevoir des balles d'un plus gros calibre. Deux pendules ont servi successivement à ces expériences : le poids du premier étoit de 328 livres, & sa longueur totale de 102 $\frac{1}{2}$ pouces ; le second, long de 101 pouces, pesoit 552 livres.

On s'est servi d'un canon de bronze, dont l'ame avoit 2,16 pouces de diametre à la bouche, & dans toute sa partie cylindrique, jusqu'au logement de la poudre, où ce diametre diminuoit, & n'étoit dans le fond que de 2,08 pouces ; de maniere que le plus gros boulet de fer que ce canon pouvoit recevoir, pesoit 19 $\frac{1}{2}$ onces *avoir du poids*. On a quelquefois employé des boulets de plomb du poids d'environ 1 $\frac{3}{4}$ ℔. & d'autres fois des cylindres pesant près de trois livres. La longueur de l'ame étoit de 42,6 pouces, ou d'environ 20 $\frac{1}{2}$ calibres.

La poudre étoit de l'espece que l'on fabrique pour le service du gouvernement; les charges de deux, quatre & huit onces, renfermées dans des gargousses de flanelle, plus ou mois refoulées, comme il est rapporté à chaque expérience, mais sans bourre au devant.

Quoique la théorie du pendule de M. Robins soit suffisamment connue, nous ne laisserons pas de rapporter celle de M. Hutton, parce qu'il en déduit une formule de la vîtesse initiale du boulet, qui n'exige qu'un calcul très-simple.

Regle pour calculer la vîtesse du Boulet.

Soit le poids du boulet . . . . b
Le poids du pendule entier . . . . . p
La distance de son centre de gravité à l'axe de mouvement . . . . g
La distance du centre d'oscillation au même axe . . . . h
La distance du point frappé . . . . k
La vîtesse de ce point après le choc z
La vîtesse du boulet avant le choc . . v
La corde de l'arc mesurée par le ruban c
Le rayon de cet arc, ou la longueur du pendule . . . . r

L'effet du choc par le boulet est comme $\frac{gh}{kk}$; ou bien $kk : gh :: p \; \frac{pgh}{kk}$ = au poids d'un corps qui, placé à l'endroit du choc, recevroit la même vîtesse par le choc que le point frappé du pendule. Nous avons donc deux corps, b &

$\frac{ghp}{kk}$, dont le premier, avec une vîteſſe v, choque le ſecond en repos, enſorte qu'après le choc, ces corps ſe meuvent uniformément avec la vîteſſe commune z. Or on ſait que, dans ce cas, $b : b + \frac{ghp}{kk} :: z : v$; on a donc $z = \frac{bkkv}{bkk+ghp}$. Mais le poids du pendule étant augmenté de celui du boulet, la place du centre d'oſcillation doit être changée, & par la propriété connue de ce centre, nous trouvons $\frac{bkk+ghp}{bk+gp}$ = à ſa diſtance de l'axe. Nommons H cette diſtance du centre d'oſcillation de la maſſe composée du pendule & du boulet, alors z étant la vîteſſe du point dont la diſtance eſt k, on aura cette proportion $k : H :: z : \frac{zH}{k} = \frac{bkv}{bk+gp}$, pour la vîteſſe de ce nouveau centre d'oſcillation.

D'un autre côté, puiſque $\frac{cc}{2r}$ eſt le ſinus verſe de l'arc dont la corde eſt c & le rayon r, on a $r : H :: \frac{cc}{2r} : \frac{cc}{2rr} \times \frac{bkk+ghp}{bk+gp}$ = au ſinus verſe de l'arc décrit par le centre d'oſcillation; nommons-le V; V eſt donc la hauteur verticale de la deſcente du centre d'oſcillation, & la vîteſſe acquiſe de cette hauteur ſe trouve aiſément, en faiſant $\sqrt{16\frac{1}{12}} : \sqrt{V} :: 32\frac{1}{6} : \frac{8{,}02\,c}{r\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{bkk+ghp}{bk+gp}}$ = à la vîteſſe du centre d'oſcillation déduite de la corde de l'arc actuellement décrit.

Nous avons donc deux expreſſions indépendantes l'une de l'autre de la vîteſſe de ce centre, ce qui donne la relation entre les différentes quantités qui entrent dans cette queſtion, par l'équation $\frac{bkv}{bk+gp} = \frac{8,02c}{r\sqrt{v}} \times \sqrt{\frac{bkk+ghp}{bk+gp}}$; d'où l'on tire $v = \frac{8,02c}{bkr\sqrt{2}} \sqrt{(bk+gp)(bkk+ghp)}$ pour l'expreſſion de la vîteſſe que le boulet avoit, au moment qu'il a frappé le pendule.

Cette formule peut être réduite à une forme plus ſimple, plus propre à la pratique, & ſuffiſamment exacte. Pour cela tirons la racine du facteur $(bk+gp)(bkk+ghp)$, & faiſons-la égale à $\sqrt{h} \times \left(pg + bk \times \frac{h+k}{2h}\right)$, qui, dans le cas préſent, ne differe pas de $\frac{1}{100000}$ de la véritable racine. Mais puiſque $bk \times \frac{h+k}{2h}$ n'eſt ordinairement que la 300$^{me.}$ ou 400$^{me.}$ partie de pg, & que bk ne differe de $bk \times \frac{h+k}{2h}$ que de ſa 80$^{me.}$ ou 100$^{me.}$ partie; il s'enſuit que $pg + bk$ n'eſt qu'environ la 20000$^{me.}$ ou 30000$^{me.}$ partie de $pg + bk \times \frac{h+k}{2h}$; on peut donc faire $v = 8,02\, c \sqrt{\tfrac{1}{2} h} \times \frac{pg+bk}{bkr}$ ſans erreur ſenſible. De plus, ſi l'on met g à la place de k dans le dernier terme bk, on aura enfin $v = 8,02\, cg \sqrt{\tfrac{1}{2} h} \times \frac{p+b}{bkr} = 5,672\, cg \sqrt{h} \times \frac{p+b}{bkr}$. Cette formule eſt d'un calcul facile dans toutes les occaſions, & ſuffiſamment exacte, puisque l'erreur qui en peut résulter ne va qu'à $\frac{1}{3000}$. Il est à observer que les quantités c, g, k, r peuvent être évaluées en quelle mesure on voudra, pourvu qu'elle soit la même pour chacune; mais h doit l'être en pieds, parce que la formule est adaptée à des pieds.

Comme les balles restent dans le pendule pendant le cours des expériences, leur poids ajouté à chaque coup change le poids total du pendule, & la position des centres de gravité & d'oscillation; il est donc à propos que les quantités p, g, h soient corrigées à chaque coup dans la formule de la vîtesse. Les valeurs successives de p seront toujours $p + b$, c'est-à-dire que p doit être corrigé par l'addition continuelle de b. La distance g du centre de gravité sera corrigée, en prenant toujours $g + \frac{k-g}{p+b}\, b$, ou $g + \frac{k-g}{p}\, b$ pour les valeurs successives de g; c'est-à-dire que g sera corrigé en ajoutant à chaque coup $\frac{k-g}{p}\, b$ à la valeur de g du coup précédent. Enfin h sera corrigé en prenant successivement $\frac{pgh+bkk}{pg+bk}$ pour ses nouvelles valeurs, ou bien en ajoutant $\frac{k-h}{pg+bk}\, bk$, ou $\frac{k-h}{p}\, b$ à la valeur précédente de h : de maniere que les trois corrections à faire pour chaque coup d'épreuve, consistent à ajouter b à la valeur de p,

$\frac{k-g}{p}\, b$ à celle de g,

$\frac{k-h}{p}\, b$ à celle de h.

Avant de procéder aux expériences, il ne

sera

fera pas inutile de faire mention de trois causes apparentes d'erreurs, qu'on n'a point fait entrer dans la formule de la vîtesse, & d'examiner si elles peuvent sensiblement influer sur les résultats. C'est la pénétration du boulet dans le bois du pendule; la résistance que l'air oppose à son mouvement, & le frottement des tourillons de l'axe; chacune de ces causes semble devoir retarder le mouvement du pendule. Le principe sur lequel notre regle est fondée, suppose que le mouvement du boulet est communiqué au pendule dans un instant indivisible, ce qui n'est pas exact dans le cas présent, parce que cette force est transmise pendant la durée du temps que le boulet met à s'enfoncer dans le bois : mais comme cet enfoncement se fait avant que le pendule soit écarté d'un $\frac{1}{10}$ de pouce de la situation verticale, & qu'il ne met ordinairement qu'un $\frac{1}{200}$ de seconde pour monter de cette quantité, cet effet peut être regardé comme imperceptible, & négligé dans ces expériences.

La seconde force retardatrice, ou la résistance de l'air contre le bas du pendule, est évidemment presqu'insensible, si l'on considere qu'elle n'agit que contre une vîtesse d'environ trois pieds par seconde, contre une surface de 20 à 24 pouces en quarré, & contre une masse de 4 à 500 livres.

La troisieme cause ne mérite pas plus de considération : car, outre qu'on a pris toutes les précautions pour rendre ce frottement le moins sensible qu'il est possible, le peu d'effet qui en peut résulter est à peu près contrebalancé par l'effet qu'il produit à la distance du centre d'oscillation. Ce centre a été déterminé par des vibrations actuelles du pendule, lesquelles ayant été un peu ralenties par le frottement de l'axe, ont dû augmenter la distance de ce centre, de maniere que les autres parties de notre formule étant multipliées par $\sqrt{h}$, ou la racine de cette distance, qui est proportionnelle au temps d'une vibration, il est évident que l'effet du frottement d'une part est contraire à celui qu'il produit de l'autre, & que ce n'est que la différence de ces deux effets, qui est la seule cause efficace de la résistance, que, par cette raison, on peut regarder comme nulle, ou presqu'insensible.

On a donc cru pouvoir négliger ces causes générales d'erreurs dans les principes de nos expériences, & porter toute notre attention sur les erreurs accidentelles qui peuvent survenir dans leurs différens procédés.

Premiere suite d'expériences faites le 13 Mai 1775, le temps étant clair & sec.

Le poids du pendule étoit $p = 328$ ℔; la distance du centre de gravité $g = 72$ pouces; la distance du centre d'oscillation $h = 88$ pouces $= 7\frac{1}{3}$ pieds, & la longueur totale du pendule $r = 102\frac{1}{2}$ pouces : le pendule étoit éloigné de la bouche du canon de 29 pieds.

Ordre des coups.	Charges.	Diam. des boulets.	Long. des charges.	Valeurs de k.	Valeurs de b.	Valeurs de p.	Valeurs de g.	Valeurs de c.	Vîtesses par secondes
	onces.	pouces.	pouces.	pouces.	livres.	livres.	pouces.	pouces.	pieds.
1	2	1,98		92,5	1,094	328,0	72,0	13,0	456
2	2	1,98		92,5	1,094	329,1	72,1	17,8	628
3	2	1,98	3,15	91,6	1,094	330,2	72,2	18,1	647
4	2	1,97	3,15	91	1,078	331,3	72,3	17,6	646
5	2	1,97	3,15	90,5	1,078	332,3	72,3	16,3	604
6	2	1,96	3,15	92,4	1,063	333,4	72,4	16,2	598
7	4	1,97	4,5	92	1,078	334,4	72,5	24,0	882
8	4	1,96	4,5	90,5	1,063	335,5	72,5	25,0	950

Les vîteſſes rapportées dans la derniere colonne de cette Table, ont été calculées d'après la formule $v = 5{,}672\, cg \sqrt{h} \times \frac{p+b}{bkr}$.

Toutes ces vîteſſes s'accordent aſſez bien entre elles, à l'exception de la premiere, qui eſt d'environ un quart plus petite que les autres obtenues de la même charge : cette irrégularité provient ſans doute de quelqu'accident échappé à l'obſervation. Les valeurs de p & g ont été corrigées comme il a été dit ci-deſſus; mais l'on n'a point changé celle de h (de $7\frac{1}{3}$ pieds), parce que cette correction ne pouvoit produire ſur la vîteſſe qu'une différence d'un ou deux pieds, &, pour cette raiſon, on l'a auſſi négligée dans les expériences ſuivantes.

La vîteſſe moyenne des 2, 3, 4, 5 & 6^{me}. coups eſt 625; celle des deux derniers eſt 916; donc la vîteſſe imprimée par deux onces de poudre, eſt à celle qu'ont donné quatre onces comme 625 : 916 :: 1 : 1,46. Mais le poids moyen des cinq balles chaſſées par deux onces eſt 17,3 onces, & celui des deux autres eſt 17,125, le rapport des charges étant comme 1 eſt à 2; ce qui donne 1 : 1,42, peu différente de 1 : 1,46 pour la raiſon compoſée de la directe ſous-doublée des charges, & de l'inverſe ſous-doublée des poids des boulets : les vîteſſes ſont donc entre elles comme les racines des charges, diviſées par les racines des poids des boulets. La charge n'a été preſſée que d'un coup de refouloir.

Seconde ſuite d'expériences faites le 3 Juin 1775, le temps étant clair, ſec, mais venteux.

Pluſieurs de ces expériences ſont douteuſes, comme on le voit par leur peu d'uniformité : le ruban indicateur de la premiere vibration du pendule étoit agité par le vent, & gliſſoit trop librement dans la petite machine de cuivre faite pour l'aſſujettir.

Les quatrieme & cinquieme coups ont été tirés avec des boulets longs, d'une forme ſphérico-cylindrique, ou compoſée d'un cylindre terminé à chacune de ſes baſes par une demi-ſphere, la longueur étant double du diametre.

Au quatrieme coup, le boulet long frappa le pendule par ſon côté ; ſon entrée dans le bois avoit la forme de ſa ſection longitudinale, l'axe étant placé verticalement.

Le dernier boulet entra obliquement dans le bois : il y a apparence qu'en pénétrant dans le bloc, ſon extrêmité antérieure a rencontré un boulet qui y étoit déjà logé, puiſque cette extrêmité étoit un peu applatie par le côté : d'où l'on peut conclure que les boulets longs ont toujours un mouvement de rotation fort irrégulier.

Le poids, la longueur, les centres de gravité & d'oſcillation, étoient les mêmes qu'aux premieres expériences : on en avoit tiré tous les boulets, & bouché les trous avec des chevilles.

Ordre des coups.	Charges.	Diam. du boulet.	Long. des charges.	Valeurs de *k*.	Valeurs de *b*.	Valeurs de *p*.	Valeurs de *g*.	Valeurs de *c*.	Vitesses par secondes
	onces.	pouces.	pouces.	pouces.	livres.	livres.	pouces.	pouces.	pieds.
1	2	2,08	2,85	88 $\frac{1}{2}$	1,219	328,0	72,0	24,3	800
2	2	2,08	2,85	89	1,219	329,2	72,1	30,5	1003
3	2	2,08	2,85	93 $\frac{1}{2}$	1,219	330,4	72,1	30,0	943
4	2	2,08	3,35	92 $\frac{1}{2}$	2,906	331,6	72,2	57,0	767
5	2	2,08	3,35	93	2,906	334,5	72,4	54,0	731

La premiere vîteſſe de cette Table eſt ſi petite par rapport aux deux ſuivantes, que l'on peut y ſoupçonner de l'irrégularité, & la négliger. La vîteſſe moyenne entre la ſeconde & la troiſieme eſt 973, & entre les deux dernieres, 974 ; donc la vîteſſe des boulets de 19 $\frac{1}{2}$ onces eſt à celle des boulets longs peſant 46 $\frac{1}{2}$ onces, comme 1,3 eſt à 1. Mais la raiſon inverſe ſous-doublée des poids des boulets, eſt comme 1,54 à 1 ; la vîteſſe des boulets plus peſans eſt donc plus grande, qu'il ne réſulte du rapport inverſe de la racine de leurs poids. Mais ces expériences étoient trop douteuſes, comme on l'a obſervé, pour qu'on dût s'attendre à une plus grande exactitude.

Ce qu'il y a de plus remarquable, c'eſt que ces dernieres expériences ont donné, avec deux onces de poudre, une vîteſſe moyenne de 973 pieds ; tandis que la même charge n'avoit donné précédemment qu'une vîteſſe de 625 pieds, quoique les boulets fuſſent plus peſans que ceux de la premiere ſuite d'épreuves dans le rapport de 19 à 17. Cette différence vient évidemment du vent du boulet, moindre cette fois qu'il ne l'étoit le 13 Mai. Ce ſeroit donc un avantage réel que le diametre des boulets différât moins du calibre des pieces, qu'il n'eſt preſcrit par les réglemens actuels. Il eſt poſſible auſſi que cette différence vienne en partie de quelqu'inégalité dans la poudre : celle qu'on a employée pour cette ſuite d'expériences, étoit le reſte d'un fond de barril. Enfin, une partie de cet effet peut auſſi être attibuée à ce que, dans ces dérnieres expériences, les charges de poudre ont été plus refoulées qu'aux premieres.

Troisieme suite d'expériences du 12 Juin 1773, le temps étant clair, sec & calme.

On avoit ce jour-ci, $p = 324$; $g = 71,4$, & le reste comme ci-devant.

Ordre des coups.	Charges.	Diam. des boulets.	Long. des charges.	Valeurs de *k*.	Valeurs de *b*.	Valeurs de *p*.	Valeurs de *g*.	Valeurs de *c*.	Vîtesses par secondes
	onces.	pouces.	pouces.	pouces.	livres.	livres.	pouces.	pouces.	pieds.
1	2	2,080	2,85	94	1,219	324,0	71,4	23,0	698
2	2	2,036	2,85	94	1,141	325,2	71,5	24,5	799
3	2	2,045	2,85	$93\frac{1}{2}$	1,156	326,4	71,6	22,0	715
4	4	2,062	4.	$92\frac{1}{4}$	1,188	327,5	71,7	27,3	880
5	4	2,036	4.	$93\frac{1}{2}$	1,141	328,7	71,7	35,0	1163
6	4	2,045	4.	$93\frac{1}{2}$	1,156	329,9	71,8	33,0	1087

Ici le poids moyen des boulets eſt $18\frac{1}{3}$; la vîteſſe moyenne avec la charge de deux onces eſt 738, & 1043 avec quatre onces : ces vîteſſes ſont dans le rapport de 1 à 1,414, qui eſt préciſément le rapport ſous-doublé des quantités de poudre.

Le pendule employé aux trois premieres ſuites d'expériences, ayant été fort endommagé par le grand nombre de boulets qu'il avoit reçus, on en a ſubſtitué un autre pour les ſuivantes.

Ce ſecond pendule étoit compoſé d'un cube de bois d'orme bien ſain, ayant près de deux pieds de côté, ſuſpendu à une barre de fer placée verticalement au deſſus du centre de la face ſupérieure du cube : de là cette barre étoit partagée en deux branches, qui enveloppoient le cube en paſſant ſur le milieu des deux faces latérales, & venoient ſe joindre ſur la face inférieure ; ces deux branches étoient fixées en différents endroits avec des pointes de fer. Deux feuilles épaiſſes de plomb couvroient les faces antérieures & poſtérieures contre leſquelles on tiroit les boulets, tant pour empêcher le bois d'éclater, que pour augmenter le poids du pendule; elles étoient aſſujetties avec deux bandes de fer, qui entouroient horizontalement le cube, l'une vers le haut, & l'autre vers le bas.

Ce pendule étoit, à tous égards, ſi parfait, & toutes les circonſtances des épreuves ſuivantes ont été ſi ſcrupuleuſement obſervées, que l'on peut compter avec confiance ſur les réſultats qu'elles ont donnés. Et comme on s'eſt ſervi de boulets de plomb le premier jour, & de boulets de fer le jour ſuivant, les autres circonſtances étant les mêmes, on eſt en état de découvrir la loi du rapport des poids, relativement à celui des charges de deux, quatre & huit onces.

Quatrieme ſuite d'expériences du 20 Juillet 1775, par un temps ſerein.

La poudre étoit un mêlange de pluſieurs eſpeces, faites pour le ſervice du gouvernement; les balles de plomb, les charges de deux, quatre & huit onces, alternativement. Le poids du pendule $p = 552$ ℔; $r = 101$ pouces; $g = 78$ pouces, & h, comme au premier pendule, $= 7\frac{1}{3}$ pieds.

Ordre des coups.	Charges.	Diam. des boulets.	Long. des charges.	Valeurs de *k*.	Valeurs de *b*.	Valeurs de *p*.	Valeurs de *g*.	Valeurs de *c*.	Vitesses par secondes.
	onces.	pouces.	pouces.	pouces.	livres.	livres.	pouces.	pouces.	pieds.
1	2	2,021	2,85	90	1,766	552,0	78,0	14,8	612
2	4	2,021	4,4	87	1,766	553,8	78,0	20,5	879
3	8	2,031	7,1	87	1,797	555,5	78,1	27,5	1164
4	2	2,026	2,85	90	1,781	557,3	78,1	15,0	622
5	4	2,026	4,4	88	1,781	559,1	78,1	20,5	871
6	8	2,032	7,1	92	1,797	560,9	78,2	28,5	1154
7	2	2,021	2,85	89,8	1,766	562,7	78,2	14,3	605
8	4	2,026	4,4	91,3	1,781	564,5	78,2	21,0	870
9	8	2,026	7,1	87	1,781	566,3	78,3	26,8	1169

Les résultats de ces expériences sont d'une uniformité frappante : la vîtesse moyenne de 2 onces est de 613 pieds ; celle de 4 onces 873, & celle de 8 onces 1162 pieds : ces vîtesses moyennes sont dans le rapport des nombres 1, 1,424 & 1,9 ; or, les racines quarrées de 2, 4 & 8 sont entre elles comme 1 : 1,414 & 2 ; la différence ne tombe donc principalement que sur le dernier nombre, & doit être attribuée en partie au poids moyen des boulets qu'on a tirés avec la charge de huit onces ; cette moyenne étant plus grande que celle du poids des boulets tirés avec chacune des deux autres charges : elle est de $28\frac{2}{3}$ onces, au lieu que, pour les autres, elle n'est que de $28\frac{1}{3}$. La raison inverse sous-doublée de ces moyennes est comme 1 : 1,006 ; si l'on augmente dans le même rapport le nombre 1,9 correspondant à la vîtesse résultante de huit onces, on aura 1,91, qui est encore plus petit que 2 de 0,09 : il s'en faut donc de $\frac{1}{22}$ qu'on ait la raison sous-doublée des charges. Cette erreur de $\frac{1}{22}$ vient évidemment de trois causes, savoir : 1°. la moindre longueur que ces boulets avoient à parcourir dans le canon ; on voit par la quatrieme colonne que le boulet avec la charge de huit onces, étoit placé de trois à quatre pouces plus près de la bouche du canon, qu'avec les charges de deux & quatre onces : 2°. le fluide élastique produit par l'inflammation de huit onces de poudre, ayant plus de vîtesse que celui qui se développe d'une moindre charge, il doit s'en échapper une plus grande quantité par le vent du boulet avec la charge de huit onces, qu'avec celles de deux & quatre onces : 3°. la troisieme cause est la quantité de poudre non enflammée plus grande dans ce cas, que dans celui d'une moindre vîtesse : car puisque le boulet a plus de vîtesse & moins d'espace à parcourir dans le canon, il en sortira plutôt; & si l'inflammation est successive, comme on ne peut en douter, quoique le temps en soit très-court, il restera une plus grande quantité de poudre non enflammée, que si la vîtesse étoit moindre; & cette quantité non enflammée sera d'autant plus grande, que le volume de poudre enflammée au premier instant est plus considérable. Quoi qu'il en soit, c'est principalement à la premiere & à la troisieme cause qu'il faut attribuer la différence dont il s'agit; la seconde y a peu de part, parce que l'effet résultant de la plus grande vîtesse avec laquelle le fluide s'échappe par la lumiere & le vent du boulet, est en partie compensé par la moindre durée de son action.

On voit aussi, d'après ces réflexions, combien est petite la quantité de poudre qui est chassée, sans avoir pris feu dans quelques cas de nos expériences, & dans tous, la prodigieuse vîtesse de l'inflammation : car quoique le temps que le boulet met à parcourir l'ame du canon, lorsque la charge est de huit onces, differe très-peu de la moitié du temps pendant lequel il est poussé par la charge de deux onces, il est évident que, durant cette moitié, il doit s'enflammer près de quatre fois autant de poudre.

Cinquieme ſuite d'expériences du 21 Septembre 1775, faites par un temps clair, mais un peu venteux.

Les boulets étoient de fer; la poudre de la même qualité qu'aux dernieres épreuves ; le poids du pendule $p = 553$ livres ; $r = 101$ pouces ; $g = 78\frac{1}{8}$; $h = 7{,}065$ pieds, le pendule faiſant 68 vibrations en 100 ſecondes.

Ordre des coups.	Charges.	Diam. des boulets.	Long. des charges.	Valeurs de *k*.	Valeurs de *b*.	Valeurs de *p*.	Valeurs de *g*.	Valeurs de *c*.	Vîtesses par secondes
	onces.	pouces.	pouces.	pouces.	livres.	livres.	pouces.	pouces.	pieds.
1	2	2,062	3.	88,3	1, 188	553,0	78,1	11,4	702
2	4	2,062	4, 3	88,3	1, 188	554,2	78,1	17,3	1068
3	8	2,062	6,7	91,0	1, 188	555,5	78,2	23,6	1419
4	2	2,070	3.	90,7	1, 201	556,8	78,2	11,4	682
5	4	2,080	4, 3	90,7	1, 221	558,1	78,2	17,3	1020
6	8	2,064	6,7	90,7	1, 190	559,4	78,2	22,3	1352
7	2	2,060	3.	91,0	1, 184	560,6	78,3	11,4	695
8	4	2,058	4, 3	90,0	1, 180	561,9	78,3	15,3	948
9	8	2,049	6,7	90,0	1, 163	563,1	78,3	22,9	1443
10	2	2,047	3.	88,3	1, 160	564,3	78,3	10,9	703
11	4	2,037	4, 3	88,3	1, 142	565,5	78,4	14,8	973
12	8	2,036	6,7	88,3	1, 140	566,6	78,4	20,6	1360
13	2	2,034	3.	92,0	1, 137	567,8	78,4	11,4	725
14	4	2,034	4, 3	92,0	1, 137	569,0	78,4	15,0	957
15	8	2,031	6,7	93,7	1, 131	570,1	78,5	22,5	1412

La moyenne des vîtesses résultantes de la charge de deux onces, est 701 ; de 4 onces, 993 ; & de huit onces, 1397. Ces vîtesses sont entre elles comme les nombres 1 ; 1,416 ; & 1,993, qui approchent beaucoup de la raison sous-doublée des charges, ou de 1 ; 1,414 ; & 2. On voit que la plus grande différence tombe encore sur le dernier nombre qui répond à la plus grande vîtesse. Cette différence deviendra un peu plus grande, si l'on compare les poids des boulets : le poids moyen des boulets tirés aux charges de deux & de quatre onces est 1,174 ; & avec huit onces, la moyenne est 1,162 ; diminuant donc le nombre 1,993 dans le rapport inverse sous-doublé de ces poids moyens, il deviendra 1,985, qui est plus petit que 2 de 0,015, ou de sa 133$^{me.}$ partie. Ce défaut doit être attribué aux mêmes causes qu'on a examinées à l'occasion des expériences précédentes.

Comparons maintenant les vîtesses correspondantes des deux dernieres suites d'épreuves.

Celles de la derniere suite sont :

710, 993, 1397.

Celles de la précédente sont :

613, 873, 1162.

Les deux premiers nombres, c'est-à-dire, les vîtesses obtenues avec la charge de deux onces, sont dans le rapport de 1 à 1,436 ; le rapport des deux suivantes est de 1 à 1,1375 ; & des deux dernieres comme 1 à 1,2022. Le poids moyen des boulets de plomb tirés à deux & quatre onces, est 1,773, & celui des boulets de fer tirés aux mêmes charges, est 1,174 : à la charge de huit onces, le poids moyen des boulets de plomb est 1,792, & des boulets de fer,

fer, 1,162 : donc la raiſon inverſe ſous-doublée de ces poids moyens eſt comme 1 à 1,224 pour les boulets tirés à deux & quatre onces, & comme 1 à 1,241 pour ceux tirés à huit onces ; ce qui differe très-peu des rapports trouvés ci-deſſus. Les vîteſſes actuelles de ces dernieres expériences s'écartent de la loi de la peſanteur des boulets, dans le même ſens que celles de la ſeconde ſuite d'épreuves.

Récapitulons les réſultats de toutes ces expériences, & concluons-en les principes ſuivans.

1°. Il eſt évident que l'inflammation de la poudre eſt preſqu'inſtantanée, puiſqu'une charge s'enflamme preſqu'entiérement dans un temps très-court.

2°. Les vîteſſes communiquées à des boulets de même peſanteur, avec différentes charges de poudre, ſont en raiſon ſous-doublée de ces charges à peu près ; une petite différence en moins a lieu, lorſque les charges ſont plus fortes (*).

3°. Lorſque des boulets de différens poids ſont chaſſés avec des charges égales, les vîteſſes communiquées ſont à peu près en raiſon inverſe ſous-doublée des poids des boulets.

4°. Donc, en général, des boulets de différens poids, chaſſés avec différentes charges de poudre, reçoivent des vîteſſes qui ſont en rai-

(*) La différence devient ſi conſidérable pour les fortes charges dans les gros calibres, que l'on riſqueroit de ſe tromper beaucoup, ſi l'on vouloit employer cette regle pour déduire la vîteſſe communiquée par une forte charge, de celle qui réſulte d'une petite ; & réciproquement.

son composée de la directe sous-doublée des charges, & de l'inverse sous-doublée des poids des boulets, à peu près.

5°. Il y auroit donc de l'avantage à faire usage de boulets d'une forme alongée, ou d'une matiere plus pesante : car, à charges égales, la force des boulets augmente, comme la racine quarrée de leur pesanteur.

6°. Ce seroit aussi un avantage de diminuer le vent du boulet : il en pourroit résulter une économie d'un tiers au moins dans la consommation de la poudre.

7°. En réunissant les avantages mentionnés aux deux derniers articles, il est évident qu'on pourroit épargner environ la moitié de la poudre, ce qui fait un objet très-considérable. Mais quelqu'importante que soit cette économie, il paroît qu'elle pourroit encore être surpassée par celle qui tomberoit sur la fonte & la fabrication des pieces de canon : car avec des boulets plus pesans, soit qu'on les alonge, soit qu'on les fasse d'une matiere plus dense, on pourroit employer des pieces plus courtes & plus légeres que celles qui sont actuellement en usage, & qui produiroient le même effet ; de façon que dans le service de la Marine, les petits bâtimens pourroient tirer des boulets aussi pesans qu'on en tire dans les plus gros vaisseaux.

Enfin, l'utilité de nos expériences n'est point bornée à indiquer le rapport des boulets & des charges employés avec la même piece d'artillerie ; on en peut faire de pareilles avec des pieces de différentes longueurs, afin de découvrir la loi que suivent les effets des charges, relativement aux longueurs des canons. En un mot, les principes ſur leſquels ces expériences ſont fondées, ſont ſi fertiles en conſéquences, qu'en y ajoutant les effets de la réſiſtance du milieu, ils mettent en état d'éclaircir tout ce qui concerne la théorie & la pratique de l'Artillerie.