

Zeitschrift: Revue Militaire Suisse
Herausgeber: Association de la Revue Militaire Suisse
Band: 42 (1897)
Heft: 1

Artikel: Quelques problèmes de balistique
Autor: Guillaume, C.-E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-337393>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

tère d'un ordre de service, auquel on s'efforce, autant que possible, de se conformer.

Je crois que tôt ou tard l'instruction des hommes individuellement et de la troupe devra être laissée à l'indépendance et à l'activité propre des chefs de troupe, soutenus par les officiers instructeurs, de même que la préparation d'un plan d'instruction d'après certaines prescriptions générales ; la valeur de la troupe et de ses chefs ne pourra qu'y gagner.

KARL-R. FISCH, lieut.-col.,
commandant du 17^e rég. d'inf.

Quelques problèmes de balistique.

Les premiers théorèmes de la mécanique appliqués aux problèmes les plus simples et les plus fréquents de la balistique intérieure ou extérieure conduisent à certains résultats curieux, qui s'imposent dès qu'on y réfléchit, mais auxquels il est rare qu'on pense.

Ces calculs m'ont été suggérés par la lecture de la brochure de M. le capitaine Dévé sur son appareil destiné à vérifier le dressage des canons de fusil, récemment décrit dans cette revue. Je rappellerai que le vérificateur du dressage permet soit d'étudier par parties la rectitude d'un canon de fusil, soit, lorsque l'âme est terminée, de faire une vérification d'ensemble, portant sur la direction de la ligne de mire et celle du dernier élément de l'arme. Cette dernière vérification a conduit à des résultats inattendus. Telle arme, pour laquelle le vérificateur d'ensemble indiquait une direction qui devait mettre le coup hors de direction à droite, donnait, au tir, des coups en direction, mais trop bas. M. Dévé attribue cette anomalie à des vibrations de l'arme, ayant pour résultat un mouvement irrégulier au moment de la sortie du projectile. Ainsi posé, le problème est un peu vague, mais il est facile de le préciser.

Supposons, dans l'exemple donné par M. Dévé, une arme pour laquelle le vérificateur d'ensemble donne une direction qui porterait le coup à 20 cm. à droite, dans une cible placée à 200 m., c'est-à-dire une déviation de $\frac{1}{1000}$ dans le dernier élément du

fusil, mesuré sur une longueur de 6 cm. Si nous supposons, à l'extrémité de l'arme, une courbure régulière, l'inclinaison à la couche sera double de l'inclinaison moyenne de la dernière section, et le dernier élément devra s'éloigner de 0,03 mm. de la direction générale du canon.

Supposons maintenant une balle comme celle du fusil Lebel, ayant, au sortir de l'arme, une vitesse de 650 mètres par seconde, et pesant 15 grammes, obligée de prendre un mouvement transversal qui l'éloigne de sa première direction de la quantité que je viens d'indiquer.

Les 6 derniers centimètres seront parcourus en un temps égal à 0,000 092 seconde. La vitesse transversale moyenne sera donc de 32,5 centimètres par seconde, et la vitesse transversale au sortir de l'arme sera double de cette vitesse moyenne ; on obtiendra l'accélération en divisant cette dernière quantité par la durée du passage, ce qui donne (voir note) :

$$a = 707 \text{ mètres par seconde}^2.$$

Nous obtiendrons l'effort latéral en multipliant cette accélération par la masse de la balle, et, pour l'exprimer en kilogrammes, nous aurons à diviser par 9,81. Le résultat est que cet effort, nécessaire pour dévier la balle de 3 centièmes de millimètre sur un parcours de 6 centimètres, est égal à 10,8 kg.

L'arme subissant une réaction égale à cet effort, il n'y a rien de surprenant à ce que le canon tende à se redresser, et qu'en réalité les déviations latérales soient sensiblement moindres que celle qu'indique l'examen optique de l'arme. En revanche, la balle a pris un léger mouvement qui tend à déplacer sa pointe vers la droite ; mais alors l'effet gyroscopique intervient, la pointe s'abaisse, et la balle, glissant sur l'air, vient frapper au-dessous du point visé.

Passons à un autre problème, celui de la force centrifuge à la surface d'un projectile. Reprenons, comme exemple, la balle du fusil Lebel, qui fait un tour sur un parcours de 24 cm. et dont le calibre est de 8 mm.

Considérons un point de la périphérie, auquel nous attribuerons arbitrairement la masse de 1 gramme. La vitesse angulaire de la balle est $\omega = \frac{650}{0,24} = 2700$ tours par seconde en nombres ronds,
ou, en unités absolues, $\omega = 2\pi\omega = 17000$.

En calculant dans le système C. G. S., nous aurons pour l'expression de la force centrifuge

$$f = 1.17000^2 \cdot 0,4 = 145\,600\,000 \text{ dynes} = 147 \text{ kilogrammes.}$$

Un point matériel de la masse d'un gramme, lié à la balle, exercerait donc sur elle un effort radial de 147 kilogrammes. Ce problème n'a aucune réalité, mais transportons-le à l'enveloppe de la balle; en d'autres termes, supposons un cylindre creux, tournant sur lui-même avec la vitesse de la balle du Lebel, et ayant le même diamètre extérieur. Donnons à ce cylindre des dimensions telles que sa section, par un plan passant par son axe, découpe, de chaque côté, un millimètre carré de matière. En admettant, pour le métal de cette enveloppe, la densité 8, on trouve aisément que la force centrifuge produit, en chacun de ses points, une traction radiale de 9,2 kg.

Pour la section de 1 mm. que nous avons supposée, un cylindre d'acier, de mallechort, de laiton, résistera sans se déformer à cet effort; mais, dans le cas d'un cylindre de plomb, ayant une densité plus forte et une charge de rupture moindre, on se trouvera très près de la limite de rupture; il ne faut pas oublier, en effet, que le frottement du projectile dans les rayures, élève sa température et diminue sa résistance.

Ce calcul très simple nous montre l'un des avantages des balles blindées; avec les armes actuelles, des balles non enveloppées sont bien près de la limite qui les ferait s'ouvrir en tulipe au sortir de l'arme par le simple effet de la force centrifuge.

Les petits problèmes que je viens d'indiquer peuvent être traités entièrement pas des mathématiques élémentaires. Il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de la résistance de l'air, dont les mathématiques les plus élevées sont parfaitement incapables de donner les éléments.

Le calcul appliqué à cette résistance indique, par exemple, que les formes de tête d'un projectile ont la plus grande importance, les forme de queue, au contraire, une action négligeable. Or, l'expérience enseigne le contraire; elle montre qu'il se forme, en aval d'un mobile se déplaçant dans l'air, des remous énergiques, dont la forme dépend dans une large mesure de la manière dont les filets d'air contournent le mobile.

On sait depuis longtemps, par exemple, qu'un plan mince

progressant perpendiculairement à sa direction, éprouve une résistance beaucoup plus forte qu'un prisme ayant la même surface d'attaque. Dans le premier cas, l'air, violemment repoussé sur les côtés, doit, pour combler le vide qui tend à se former derrière le plan, revenir brusquement en arrière; il acquiert ainsi une grande vitesse aux dépens de l'énergie du mobile. Si ce dernier possède une certaine longueur, le mouvement de retour de l'air est graduel, les vitesses sont moindres, et il en est de même du travail emprunté au mobile.

Quelques observations faciles à faire rendent les mouvements de l'air autour d'un obstacle parfaitement évidents. Si, par exemple, on place une bougie derrière une bouteille, on l'éteindra avec la plus grande facilité en soufflant contre la bouteille au point diamétralement opposé à celui qu'occupe la bougie. Mais, si on remplace l'obstacle par un demi-cylindre ayant son côté plat tourné vers la bougie, on verra simplement la flamme se rapprocher de l'obstacle. Dans le premier cas, les filets d'air se détournent peu de leur route; ils épousent exactement la forme du cylindre, et se reforment en aval. Dans l'autre cas, ils produisent des remous irréguliers et consomment une grande partie de leur énergie en s'enroulant en spirale.

D'ailleurs, la seule observation de la nature aurait dû conduire à des conclusions analogues. En général, la forme des êtres vivants s'adapte aussi bien que possible aux circonstances naturelles. Dans le cas qui nous occupe, l'observation des poissons sera très instructive. Pour les oiseaux, le même problème se pose, mais il est compliqué de la question de stabilité, qui influe sur les formes de queue, ou, en l'espèce, sur la forme de la queue.

Les poissons, en revanche, ont une forme très simple et typique. Leur tête, plus ou moins pointue, s'évase rapidement, pour conduire au maximum de largeur, un peu en arrière des ouïes. A partir de là, la forme s'effile graduellement jusqu'à la queue. L'angle moyen est presque toujours plus grand en avant qu'en arrière, d'où il faut conclure qu'il est plus important, au point de vue de la résistance, de laisser couler le fluide suivant un angle très faible, que de l'attaquer avec une pointe aiguë.

Quelle est la conclusion que l'on devrait en tirer pour les

projectiles ? Apparemment, qu'au lieu de les terminer par un plan, il y aurait tout avantage à les allonger par un cône. Je ne suis pas éloigné de croire que cette conclusion est exacte, et que ce dispositif sera adopté un jour ou l'autre. Beaucoup de personnes qui n'ont pas examiné la question de près iraient même plus loin ; elles pensent qu'il se forme, en arrière du projectile, un vide parfait, aussi longtemps que la balle possède une vitesse plus grande que celle de l'écoulement de l'air dans le vide, vitesse qui coïncide sensiblement avec celle du son.

Mais on peut démontrer, de deux côtés différents, l'erreur de cette conclusion. D'abord il n'existe aucune raison pour que le vide se forme derrière la balle. Au sortir de l'arme, elle est suivie d'un jet gazeux qui se dissipe en grande partie, mais dont une portion reste cachée derrière le projectile, et en quelque manière à l'abri de l'attaque de l'air. Le gaz ambiant glisse sur cette espèce de poupe, en entraîne des particules, dont la plupart sont remplacées, mais ne l'enlève pas entièrement. Les molécules les plus voisines du métal sont tellement protégées contre toute action extérieure qu'il n'y a pas de raison pour qu'elles éprouvent une diminution de vitesse. Quelle serait, d'ailleurs, la conséquence d'un vide parfait derrière le projectile ? Reprenons la balle du fusil Lebel, possédant, au sortir de l'arme, une énergie cinétique qui, exprimée dans le système C. G. S., a la valeur $W = \frac{1}{2} 45.65000^2 = 3170.10^6$

Or, la pression atmosphérique statique sur la balle, dont la section est à très peu près de $0,5 \text{ cm}^2$, serait de $0,5 \text{ kg.}$; l'énergie consommée pour un parcours de 1 m. par le seul fait de cette pression statique serait donc de $0,5 \text{ kilogrammème}$, ou de 5.10^6 ergs . Divisant ces deux nombres l'un par l'autre, on trouve que l'énergie de la balle devrait être entièrement consommée sur un parcours de 600 mètres, ou tout au moins que, au bout de 450 mètres, la vitesse de la balle serait descendue à celle du son, pour laquelle le gaz recommencerait à être en contact avec le culot du projectile. Si l'on tenait compte des autres forces en jeu, c'est-à-dire de la résistance vraie de l'air, et non plus de sa pression statique, on arriverait à conclure que la balle des fusils modernes doit s'arrêter après un parcours de quelques centaines de mètres. Cette conclusion est démentie par l'expérience, qui autorise, par conséquent, à nier le vide derrière le projectile.

Je terminerai ces quelques calculs par l'indication d'un nombre qui pourrait paraître exagéré. L'idée m'en est venue à propos d'un avant-projet, de pure fantaisie, disons-le, d'un canon électro-dynamique ou d'un canon à force centrifuge actionné par une machine à vapeur ou par une turbine. Le canon à force centrifuge consisterait en une grande roue dans laquelle on introduirait les projectiles par le centre. Ceux-ci prendraient leur vitesse graduellement, glisseraient dans des canaux jusqu'à la périphérie, et, arrivés là, s'échapperait dans une direction déterminée, avec la vitesse propre de l'extérieur de la roue. Passons sur le projet, qui n'est pas absurde en théorie, et calculons la puissance de la machine qui devrait actionner la roue pour produire une action analogue à celle d'un canon existant.

Prenons comme type notre canon de position de 12 cm., avec son projectile de 18 kg., animé, au sortir de la bouche à feu, d'une vitesse de 520 mètres par seconde. Cette vitesse est due à l'action des gaz sur un parcours de 1^m92. En supposant, pour simplifier, une accélération constante, nous aurons, dans le parcours du projectile dans la bouche à feu, une vitesse moyenne de 260 mètres par seconde et une durée du parcours égale à 0,0074 seconde. L'accélération moyenne sur ce parcours

$$\text{sera donc de } \frac{520}{0,0074} = 70\,000 \text{ mètres par seconde}^2.$$

L'effort en kilogrammes nécessaire pour produire cette accélération est $\frac{18 \cdot 70000}{9,81} = 128\,000 \text{ kg.}$ Sur un parcours de 1^m92,

le travail est de 246 000 kilogrammètres. Or, cet énorme travail est produit en 0,0074 seconde ; la puissance du canon sera donc de $\frac{246\,000}{0,0074} = 33\,240\,000 \text{ kilogrammètres par seconde,}$

ou 443 000 chevaux. Notre canon de 12 cm. produit donc, par moments, une puissance de quatre cent quarante-trois mille chevaux ; mais ce formidable dégagement de travail ne dure qu'un instant très court.

Dans un tir de batterie, à raison de deux coups par minute, la dépense dans chaque minute serait de 492 000 kilogrammètres, et la dépense moyenne par seconde de 8200 kilogrammètres, ou de 110 chevaux. Telle est la puissance de la machine qui devrait actionner la roue remplaçant une batterie de quatre

pièces de 12 centimètres, chaque pièce tirant toutes les deux minutes. Si donc on passait du projet à l'exécution, il faudrait, en comptant les pertes et la nécessité d'un tir parfois plus rapide, alimenter notre roue centrifuge au moyen d'une machine pouvant développer de 150 à 200 chevaux. Tel est le nombre de chevaux que remplace une batterie de position : le résultat est au moins inattendu.

Ch.-Ed. GUILLAUME.

NOTE.— J'ai adopté, pour plusieurs des calculs élémentaires donnés, dans l'article qu'on vient de lire, des unités absolues du système C. G. S. seul employé en physique, mais qu'un grand nombre de balisticiens ont évité systématiquement jusqu'ici. Ces unités participent à la fois du système métrique, pour les valeurs numériques, et de quelques définitions fondamentales de la mécanique pour leur signification générale. Je m'en tiendrai aux unités dont j'ai eu à faire usage ici.

L'une des différences essentielles qui subsistent entre les unités des physiciens et celles des mécaniciens consiste en ce que les premiers font dériver le *poids* de la *masse*, alors que les derniers remontent du poids à la masse en passant par l'accélération. La raison pour laquelle les physiciens ont rompu avec l'ancien usage est simple. La masse d'un corps, quantité de matière qui le compose, est invariable tant que le corps conserve son intégrité; son poids, au contraire, produit de sa masse par l'accélération de la pesanteur, varie autant que cette dernière grandeur. Dériver la masse, quantité constante, de deux quantités variables, la force et l'accélération, est aussi illogique que de mesurer la longueur d'un fil de caoutchouc avec un étalon formé d'un ressort à boudin, en indiquant la tension à laquelle la grandeur à mesurer et l'étalon devront être soumis.

Nulle part peut-être la considération du poids comme grandeur fondamentale n'est aussi irrationnelle qu'en balistique intérieure; comparé aux efforts auquel le projectile est soumis, son poids est en effet absolument négligeable, et sa masse, multipliée par l'accélération due aux gaz de la poudre, intervient seule, si l'on connaît les accélérations et la masse du projectile, on en déduit l'effort des gaz diminué des frottements, et inversément; dans le tir vertical le poids interviendrait, dans la résistance, pour une fraction voisine de 0,0001; il est donc déraisonnable d'introduire dans les formules l'accélération de la pesanteur comprise implicitement dans l'expression du poids, pour l'éliminer immédiatement en divisant le poids par G. Dans la balistique extérieure, on rencontre, si l'on s'en tient aux lois élémentaires, trois grandeurs seulement; la première est l'énergie cinétique (force vive) du projectile, que la deuxième, la résistance de l'air, diminue constamment; la troisième grandeur est la force qui écarte le projectile de la ligne droite; c'est le poids du projectile, corrigé de la résistance de l'air au mouvement latéral; or l'énergie cinétique, produit de la masse par le demi-carré de la vitesse, ne fait pas intervenir le poids, pas plus que la résistance de l'air.

Nous voyons donc que, dans l'ensemble de la balistique intérieure et extérieure, le poids n'intervient qu'une fois alors que la masse se présente constamment dans les formules; il semble donc que la simple majorité, indépendamment des excellentes raisons logiques invoquées par les physiciens, devrait faire bannir la notion de poids de l'ensemble de la balistique.

Les unités employées par les physiciens sont :

Pour la longueur le *centimètre*;

Pour le temps la *seconde* de temps moyen ;
 Pour la masse le *gramme*.

L'unité de force qui en dérive est la *dyne* ; elle est définie comme valeur de la force qui communique au gramme l'unité d'accélération. L'unité de travail est l'*erg* ; c'est le travail produit par une dyne lorsque son point d'application se déplace de 1 centimètre.

L'unité de vitesse est le centimètre par seconde ; l'unité d'accélération, dont il a été fait usage plus haut, est égale à 1 centimètre par seconde² ; $\frac{1 \text{ cm.}}{\text{sec}^2}$. L'unité d'angle est l'angle radian dont l'arc est égal au rayon ; le tour entier comprend 2π unités d'angle.

Le calcul de l'effort centrifuge, tel qu'il a été indiqué, prend une forme extrêmement simple dans le système C. G. S. d'unités. Dans l'expression $m\omega^2 r$ la masse m doit être exprimée en grammes, la vitesse angulaire ω en radians par seconde, le rayon de giration en centimètres. L'effort se trouve alors exprimé en dynes. On pourrait en rester là mais il est plus pratique, pour rentrer, le calcul terminé, dans les limites usuelles, de transformer le résultat de manière à exprimer la force en fonction du poids du kilogramme.

Dans le dernier problème, je me suis écarté du système C. G. S. pour arriver directement à l'expression des puissances en chevaux ; il aurait été préférable au contraire, de rester strictement dans le système C. G. S. si l'on avait voulu exprimer la puissance en *kilowats*, unité qu'emploient les électriciens à l'exclusion du cheval-vapeur.

Les demi-bataillons du génie et l'initiative.

Nous avons très brièvement résumé dans notre livraison de décembre la conférence donnée par le colonel Perrier, chef du génie du I^{er} corps d'armée, sur l'emploi du génie pendant les manœuvres du III^e corps d'armée.

En terminant son discours, le conférencier a étendu les limites de son sujet et ajouté quelques mots sur l'initiative à développer dans notre armée parmi les officiers du génie. Cette initiative, qui fait des progrès, n'est cependant pas encore ce qu'elle devrait être, et le colonel Perrier en voit la cause entre autres dans la manière dont nos règlements et le commandement supérieur comprennent trop souvent l'emploi de l'arme du génie. Il y a notamment une corrélation entre ce manque d'initiative et la place qu'occupe en général le génie dans les colonnes de marche. A ce sujet, le colonel Perrier s'est exprimé à peu près en ces termes :

Je n'insisterais pas sur ce point et sur cette corrélation, si mon observation n'avait pas été corroborée dernièrement par un critique éminent.