

MATHEMATIQUES ET ARTILLERIE

LA NOUVELLE SCIENCE DE NICOLAS TARTAGLIA

Evelyne BARBIN
Michèle CHOLIERE
I.R.E.M. du Mans

"L'artillerie est née de la conjonction de deux courants très anciens : le développement des armes de jet et l'usage de la poudre"(1). La légende raconte que les premiers canons utilisés dans une bataille furent les trois canons anglais de Crécy (1346) qui mirent à mal Français et Génois. Dans la seconde moitié du XIVème siècle, l'emploi de l'artillerie à feu se répand : Venise s'en sert contre Gênes en 1378, les Maures contre l'Espagne à Algésiras en 1343, les Anglais contre les Ecossais en 1338, les Teutons contre les Polonais en 1410. Il semble cependant que Duguesclin préfère à l'artillerie la démolition à coups de grosses pierres.

Au cours des XVème et XVIème siècles, plusieurs perfectionnements techniques sont apportés aux engins primitifs destinés à augmenter leur puissance et leur portée. Les principales innovations concernent les projectiles. A partir de 1450 ils sont fabriqués en fer forgé, dès 1500 ils sont calibrés par leur poids. Leurs formes restent assez irrégulières jusqu'à la fin du XVème siècle, ils deviennent ensuite plus homogènes et mieux calibrés. Les premières bombes -le projectile est chargé de poudre- apparaissent en 1452 au siège de Bordeaux. Les premières fusées -le projectile est un cylindre de bois rempli de pulvérin- sont utilisées à la fin du XVIème siècle.

Au début du XVème siècle, seul le tir tendu est employé et il n'y a aucun mécanisme de pointage en hauteur. Il est vrai que tant qu'aucune étude de balistique n'aura été entreprise, tout autre tir serait imprudent. Blondel raconte dans son Art de jeter les bombes de 1699, les malheurs du sieur Malthus, ingénieur anglais, que le Roi fit venir de Hollande en 1634 pour introduire les fusées dans son armée : "Il n'avait aucune connaissance des mathématiques, ni d'aucune science qui pût lui faire savoir la nature du mouvement des bombes, et de la ligne courbe qu'elles décrivent dans l'air par leur passage, ou de la différence de leurs portées suivant les différences de leurs élévations(...). Et l'on venait se plaindre à tous moments que les bombes qu'il pensait jeter dans la place, passaient par-dessus et allaient tuer du monde dans la tranchée aux attaques de Monsieur de Candale et de Monsieur de la Meilleraye qui étaient aux autres côtés de la ville"(2).

(1). article Artillerie, Encyclopedia Universalis.

(2). BLONDEL, L'art de jeter les bombes, p. 4-5.

Depuis des siècles, les savants se sont penchés sur l'étude du mouvement, mais toutes leurs spéculations ne servent absolument à rien pour les artilleurs, comme l'explique Blondel dans son ouvrage :

"Tous les philosophes anciens ont fort bien su que les mouvements des corps qui tombent et qu'ils ont appelé le mouvement naturel, s'augmentaient incessamment à mesure qu'ils s'éloignent du commencement de leur chute : mais personne n'a su dire par quelle proportion se fait cette augmentation de vitesse. Ils ont bien connu que les corps jetés en l'air, par un mouvement qu'ils ont appelé violent, y décrivent en passant une ligne courbe ; mais ils n'ont jamais dit de quelle nature est cette ligne, et quelles en sont les propriétés"(1). Les artilleurs ont besoin, pour déterminer la portée en fonction de l'angle de tir, de connaître la trajectoire du boulet de canon, sa forme et sa mesure. Blondel est un homme de la fin du XVIIème siècle et son jugement envers les "philosophes anciens" est sévère : toutes leurs considérations sur la nature des mouvements, mouvement naturel ou mouvement violent, ne nous disent absolument rien sur ce qu'est finalement l'effet du mouvement, c'est à dire la trajectoire du projectile. Blondel poursuit : "Nicolas Tartaglia est le premier qui a recherché l'un et l'autre (proportion et courbe), et qui en a voulu faire l'application au mouvement des boulets tirés par le canon ou le mortier".

En 1537, Tartaglia publie un ouvrage intitulé Nova Scientia ; par ce titre, l'auteur veut annoncer l'invention d'une nouvelle science, celle de la balistique. Cette science a pour but de répondre aux nouvelles préoccupations nées de l'usage de l'artillerie sur de grandes distances et avec des angles de tir variés. Elle doit, par conséquent, résoudre une question délicate, celle de la forme de la trajectoire du boulet de canon. Tartaglia remplira ainsi parfaitement la fonction de mathématicien ingénieur, qui apparaît en Italie en liaison avec les arsenaux, et que favorisent les princes soucieux d'efficacité militaire(2). Ces ingénieurs ont une obligation pressante, "celle de résoudre les problèmes de leur profession, d'améliorer leur art d'inventer, afin d'assurer leur subsistance ou leur gloire" (3).

La tâche à accomplir montre que l'objet des recherches de

(1). BLONDEL, op.cit.

(2). Article Histoire de la mécanique, Encyclopedia Universalis.

(3). MOSCOVICI, Essai sur l'histoire humaine de la nature.

Tartaglia est complètement différent de celui des doctes scolastiques du Moyen-Age, ce en quoi la Nova Scientia est déjà nouvelle. Ce n'est pas un traité "de motu", sur la nature des mouvements ; au contraire, Tartaglia semble vouloir éviter toute discussion philosophique concernant les causes des phénomènes qu'il est en train d'étudier (1). L'objet de son étude n'est pas la nature ou l'essence du mouvement, mais un phénomène particulier de mouvement. Par conséquent, il ne s'occupe que des corps également graves, c'est à dire ceux qui "par suite de la gravité de leur matière et par suite de leur forme ne sont pas susceptibles d'éprouver une opposition sensible de l'air à leur mouvement"(2). Il fait abstraction de la résistance du milieu, ce qui était nécessaire dans un premier temps à l'étude de la trajectoire des projectiles.

Cependant, on donne une image incorrecte des travaux de Tartaglia en affirmant qu'il "se veut empiriste -les canons sont des faits, les boulets volent et tombent- et qu'il s'adresse plus au praticien qu'au philosophe"(3). En effet, alors que les constructeurs de canons ne fournissent que des recettes et s'efforcent de dégager les principes de leur art sans les rapporter à une conception plus générale du réel, Tartaglia veut élaborer une théorie, ce en quoi la Nova Scientia est une science. Sa définition des corps "également graves" s'applique certes aux boulets de canon sphériques -mais ils ne l'étaient pas tous- en plomb, fer ou pierre, mais elle est surtout réponse théorique à une question de même ordre. Le corps sphérique a l'avantage d'occuper, quel que soit le mouvement, la même situation dans l'air ambiant et la pesanteur a toujours le même effet sur lui, il est "également grave" et peut servir d'élément à la science des projectiles(4). Par ailleurs, le traité de Tartaglia est élaboré sur le mode euclidien, "modo geometrico" : une série de définitions, puis des suppositions et des sentences communes, desquelles sont déduits les théorèmes de la nouvelle science. Enfin, s'il fournit un moyen pratique d'évaluer l'angle de tir -l'équerre-, il ne donne pas la méthode pour calculer effectivement la portée selon l'angle de tir, méthode que Tartaglia promet pourtant dans

(1). KOYRE, La dynamique de Nicolo Tartaglia.

(2). Livre I, définition I.

(3). KOYRE, op.cit.

(4). COSTABEL, Observations et théorie du mouvement au XVIème siècle.

sa préface au duc d'Urbino.

Les définitions de la Nova Scientia utilisent les termes traditionnels -mouvement, mouvement naturel, mouvement violent- mais elles leur assignent un sens très étroit. Le mouvement est "transmutation qu'un corps fait d'un lieu dans un autre lieu"(1), c'est à dire qu'il est restreint à la catégorie aristotélicienne du changement de lieu. Le mouvement naturel des corps également graves est "celui qu'ils font, sans violence aucune, d'un lieu supérieur à un lieu inférieur"(2), c'est à dire que le mouvement naturel correspond strictement à la chute des graves. Le mouvement violent des corps également graves est celui qu'ils font "en y étant forcés, de bas en haut, de haut en bas, de ça de là, en vertu de quelque puissance mouvante"(3) et cette puissance mouvante est définie comme "n'importe quelle machine artificielle qui soit capable de lancer ou de tirer violemment par l'air un corps également grave"(4). Ce mouvement violent est conforme à l'étude à laquelle se limite la Nova Scientia, le mouvement des projectiles lancés par un canon. Les définitions de Tartaglia n'ont pas pour but d'expliquer ce qu'est l'essence du mouvement, de distinguer le mouvement naturel du mouvement violent par leurs finalités. Tout comme les définitions des Eléments de géométrie d'Euclide, elles ont pour statut de mettre en place un langage sur lequel chacun pourra s'accorder ; le mouvement naturel est la chute des graves, le mouvement violent est le lancer.

Que le mouvement violent soit défini à partir de la donnée d'une puissance mouvante, elle même obtenue par la présence d'une machine artificielle, mérite attention. Pour un savant scolastique, l'action d'une machine ne saurait être le point d'ancrage d'une théorie, elle ne peut être traitée que comme un exemple, sur lequel éventuellement appliquer une conception générale du mouvement. Au contraire, Tartaglia propose de prendre une machine artificielle comme moyen d'analyser scientifiquement le mouvement(5). Par là, il inaugure un nouveau courant de pensée qui cherche à établir les principes de la nature à partir d'artifices mécaniques et qui trouvera

(1). Livre I, définition IV.

(2). Livre I, définition VI.

(3). Livre I, définition VII.

(4). Livre I, définition XIII.

(5). MOSCOVICI, op.cit.

dans le monde des machines un mode de connaissance de l'univers et une nouvelle vision du monde.

Alors, Tartaglia s'adresse-t-il au praticien ou au philosophe ? La question n'est presque plus de mise, car avec la Nova Scientia, l'alternative est en train de perdre son sens, le philosophe mécanicien va remplacer le philosophe naturaliste.

I. La balistique de Nicolas Tartaglia

Dans la Nova Scientia, Tartaglia donne une réponse fautive à la question de la trajectoire du boulet de canon. Il propose une trajectoire semi-rectiligne, semi-circulaire car il ne peut se résoudre à composer les mouvements. Lui-même ne se satisfait pas de son résultat, et il présente en 1546, dans les Quesiti et Inventioni diverse, une trajectoire entièrement curviligne. Ni dans l'un ni dans l'autre traité, Tartaglia ne trouve les moyens de mesurer la trajectoire, donc de calculer les portées, comme le réclament les artilleurs. Cependant, sa balistique constitue une étape décisive dans l'étude des phénomènes du mouvement.

1. La trajectoire du boulet de canon dans la Nova Scientia

Dans la première supposition, Tartaglia admet que si un corps en mouvement produit un effet plus grand, c'est qu'il va plus vite. Il s'appuie sur cette conception pour énoncer dans la première sentence commune, qu'un corps également grave fait un effet d'autant plus grand sur un autre corps qu'il vient de plus haut par un mouvement naturel, et dans la quatrième sentence commune, qu'un corps également grave animé d'un mouvement violent, fera un effet d'autant plus grand sur un autre corps que celui-ci sera plus proche du point de départ de ce mouvement(1). Il déduit des suppositions et sentences communes les propriétés du mouvement naturel et du mouvement violent. L'aspect dynamique des sentences communes disparaît alors pour ne laisser place qu'à des considérations de nature cinématique.

"Dans le mouvement naturel tout corps également grave va d'autant plus vite qu'il s'éloigne du point de départ ou s'approche du point d'arrivée de son mouvement"(2). En conséquence, le corps également grave va plus lentement au début de son mouvement qu'à la fin, et la vitesse d'un corps grave varie constamment. Tartaglia démontre que "tous les corps également graves semblables et égaux, partent du principe de leur mouvement naturel avec une vitesse égale, mais augmentent leurs vitesses de façon telle que celui qui traversera un espace plus grand ira plus vite"(3). La croissance de la vitesse

(1). KOYRE, op.cit.

(2). Livre I, proposition I.

(3). Livre I, proposition II.

est-elle proportionnelle à la distance ou au temps ? En comparant le mouvement relatif de deux corps, Tartaglia évite de répondre à cette question difficile.

Le mouvement violent a des propriétés symétriques à celles du mouvement naturel : "Plus un corps également grave, s'éloigne du principe ou s'approche de la fin du mouvement violent, plus il va lentement"(1). Il découle "qu'un corps également grave a, au commencement de son mouvement violent, la vitesse la plus grande et, à la fin, la plus petite qu'à aucun endroit de sa course ; et que, plus grand est l'espace qu'il a à parcourir, plus il ira vite au principe de son mouvement". En conséquence, la vitesse d'un corps mû d'un mouvement violent varie constamment, et deux corps également graves et égaux ont au bout de leur mouvement la même vitesse, quelle que soit leur vitesse initiale.

Pour traiter de la trajectoire d'un corps également grave lancé obliquement, Tartaglia doit maintenant aborder le problème de la composition des mouvements et se situer par rapport aux deux préceptes de la tradition aristotélienne du Moyen-Âge qui stipulent que deux mouvements contraires ne peuvent se succéder que lorsque le premier s'est éteint et après une pause intermédiaire, le "media quies"(2). Tartaglia ne se prononce pas sur le second, mais suit le premier et énonce : "Aucun corps également grave ne peut pendant aucun espace de temps ni de lieu naturel marcher d'un mouvement composé à la fois de mouvement violent et de mouvement naturel"(3). La symétrie des propriétés des mouvements naturels et violents semble être une entrave à la composition des mouvements. En effet, un corps peut-il se mouvoir en diminuant et en augmentant à la fois sa vitesse ? Il y a une façon de répondre positivement à cette question, en envisageant les directions des mouvements considérés. C'est la démarche qu'emprunte Léonard de Vinci, lorsqu'il explique le fléchissement de la toupie par l'existence d'un mouvement composé.

En toute logique, Tartaglia devrait proposer une trajectoire en deux parties : une droite oblique jusqu'à ce que le mouvement violent s'épuise, puis une droite verticale, lorsque le mouvement naturel agit (Fig.1). Pourtant, Tartaglia affirme que la trajectoire

(1). Livre I, proposition III.

(2). COSTABEL, op.cit.

(3). Livre I, proposition V.

du projectile est composée de trois parties : tant que le mouvement violent n'est pas contrarié le mouvement est rectiligne, quand il s'épuise le mouvement naturel entre en conflit et le mouvement est alors circulaire, enfin seul demeure le mouvement naturel qui provoque une chute rectiligne et verticale (Fig. 2). Tartaglia précise qu'au point de raccordement, les deuxièmes et troisièmes parties de la

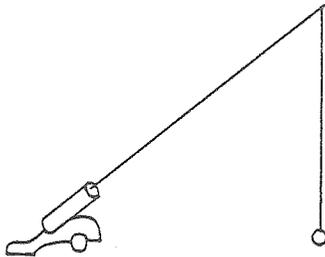


Fig. 1

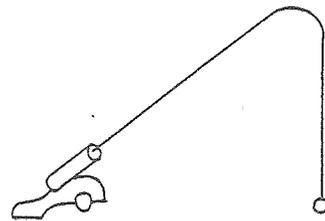


Fig. 2

trajectoire sont "contingentes" -c'est à dire tangentes-, c'est à dire qu'il admet que dans la deuxième partie le mouvement naturel agit(1). Mais les mouvements ne se composent pas, ils sont en conflit. Tartaglia admet également qu'un mouvement violent puisse être courbe, et qu'au point de raccordement le mouvement violent s'éteint, tout en conservant un "minimum naturel" -un minimum de vitesse-.

Ces infractions lui permettent d'exclure une trajectoire anguleuse, inacceptable, même pour un piètre observateur. Il reste que la courbe proposée ne correspond pas à ce que voit un observateur un peu attentif. D'ailleurs, le frontispice de la *Nova Scientia* (Fig. 3) présente deux obusiers, l'un qui tire sur un très grand angle et l'autre horizontalement, les deux trajectoires sont courbes, la première est une magnifique parabole. Est-ce un hasard ou Tartaglia a-t-il voulu signaler ainsi les limites de sa théorie ? Il démontre, neuf ans plus tard, dans les *Quesiti et inventioni diverse* que la trajectoire d'un boulet de canon en tir tendu n'est nulle part rectiligne.

(1). COSTABEL, op.cit.

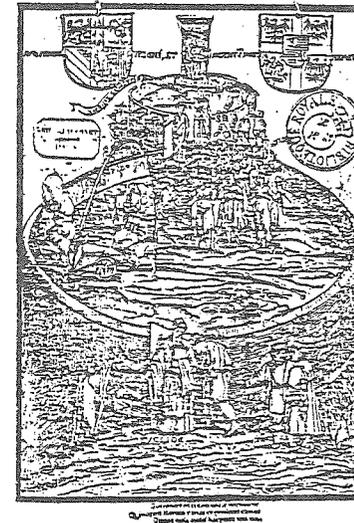


Fig. 3

2. La trajectoire curviligne du boulet de canon

Les arguments sur lesquels se fonde la trajectoire de la *Nova Scientia* sont trop conflictuels, le résultat obtenu est trop peu conforme à l'observation pour que ne s'opère pas une rupture dans la théorie de Tartaglia. La symétrie des propriétés du mouvement naturel et du mouvement violent joue à l'encontre de la composition des mouvements, mais elle va aussi dans le sens d'une conception commune de ces deux mouvements, qui devrait permettre d'associer leurs actions sur le projectile. Par ailleurs, la deuxième partie de la trajectoire pose plus de problèmes qu'elle n'en résout. Si on admet que le mouvement naturel agit lorsque le mouvement violent ne s'est pas encore éteint, alors il faut supposer que son influence s'exerce pendant tout le parcours ou bien expliquer la "propriété étrange"(1) du point à partir duquel il peut incurver la trajectoire rectiligne due au mouvement violent. En s'interrogeant sur le lieu de ce point, Tartaglia va conclure dans les *Quesiti et Inventioni diverse*, publié en 1546, que la trajectoire du boulet de canon est entièrement curviligne. Sa démonstration repose sur un raisonnement par dichotomie, mais elle est renforcée par des considérations

(1). Article *Histoire de la mécanique*, Encyclopedia Universalis.

pratiques -le sursaut de la pièce d'artillerie au moment du tir(1)- et par des observations directes -une expérience de tir faite à Vérone en 1531(2).

Les Quesiti et Inventioni diverse se présentent sous la forme d'un dialogue entre l'illustrissime Duc D'Urbino et Nicolas Tartaglia lui-même. L'examen de la trajectoire d'un boulet tiré horizontalement fait l'objet du troisième dialogue. Tartaglia annonce d'emblée que "non seulement on ne le tirera pas (le boulet) 50 pas en ligne parfaitement droite, mais on ne le tirera pas un seul". Dans la Nova Scientia, il s'agissait de construire une théorie explicative de la trajectoire du boulet de canon, alors que dans les Quesiti et inventioni diverse, il s'agit de réfuter l'existence d'une portion rectiligne sur cette même trajectoire. La forme du dialogue est bien adaptée à ce nouveau propos : le but n'est pas de mettre en place une science hypothético-déductive, mais d'établir un argument contradictoire. Tartaglia réplique au duc qui s'insurge : "L'opinion de votre Excellence est que le boulet tiré d'une couleuvrine dans le point de mire doit parcourir une partie de sa trajectoire, où agit le mouvement violent, en ligne droite et ce qui reste en ligne courbe. Mettons que ce soit vrai, je voudrais savoir suivant cette opinion, quelle est la raison pour laquelle le boulet parcourt une ligne droite dans la partie où l'opinion dit qu'il se meut ainsi, et quelle est la raison pour laquelle il se meut en ligne courbe dans la partie où votre Excellence suppose qu'il se meut ainsi"(3). Tartaglia met en demeure le Duc d'expliquer pourquoi la trajectoire serait ici rectiligne et ailleurs curviligne : si en un point la trajectoire s'incurve, il faut expliquer pourquoi ce point est ici et pas ailleurs.

Tartaglia commence par examiner la manière dont les deux mouvements agissent conflictuellement et continuellement sur le boulet : "plus il y a de vitesse dans le boulet tiré violemment, moins il y a de gravité, et inversement, moins il y a de vitesse, plus il y a de gravité". Le mouvement naturel agit constamment et de plus en plus intensément, de sorte que "pour celui où la gravité

(1). COSTABEL, op.cit.

(2). Quesiti et inventioni diverse, p. 5.

(3). idem, p. 11

est plus grande, la tendance est plus grande à tirer le dit boulet vers le centre du monde, c'est à dire vers la terre". Ainsi, plus la vitesse due au mouvement violent est grande, plus le projectile est léger et plus le mouvement est rectiligne. Tandis que moins il ira vite, plus il sera lourd et plus la courbe s'incurvera vers le bas. Ces résultats étant admis par le Duc, Tartaglia démontre par l'absurde que la trajectoire n'est nulle part "parfaitement droite" :

"Or, pour conclure notre propos, nous supposons que tout le trajet, ou voyage, que doit faire ou qu'a fait le boulet tiré du canon soit toute la ligne ABCD. S'il est possible qu'en ce trajet il y ait quelque partie qui soit parfaitement droite, posons que ce soit toute la partie AB, laquelle soit divisée en 2 parties égales au point E. Le boulet parcourra plus vite l'espace AE (selon la 3^e proposition du livre I de notre science nouvelle) que l'espace EB, donc le dit boulet ira plus droit, pour les raisons mentionnées ci-dessus, dans l'espace AE que dans l'espace EB ; d'où la ligne AE serait plus droite que la ligne EB. Chose impossible, car si toute la ligne AB est supposée parfaitement droite, l'une de ses moitiés ne peut être ni plus ni moins droite que l'autre. Et si pourtant l'une des moitiés est plus droite que l'autre, il s'ensuit nécessairement que l'autre n'est pas droite, et il s'ensuit nécessairement que la partie EB n'est pas parfaitement droite (Fig.4).



Fig.4

Mais si pourtant quelqu'un a encore l'opinion que la partie AE est parfaitement droite, on peut trouver la fausseté d'une telle opinion par les mêmes moyens : c'est-à-dire en divisant la dite partie AE en 2 parties égales au point F. Pour les mêmes raisons que celles invoquées précédemment, il sera manifeste que la partie AF sera

plus droite que la partie FE, donc la dite partie FE, nécessairement, ne sera pas parfaitement droite. De même que si l'on divise encore AF en 2 parties égales, pour les mêmes raisons, il apparaît que la moitié du côté de A est plus droite que la moitié vers F. Celui qui diviserait encore cette moitié en 2 autres parties égales atteindrait le même résultat, c'est-à-dire que la partie se terminant en A serait plus droite que l'autre. Et parce que ce procédé est infini, il s'ensuit nécessairement que non seulement toute la ligne AB n'est pas parfaitement droite, mais qu'il n'y a aucune minime partie de celle-ci qui le soit, ce qui est la proposition à démontrer. On voit donc comment le boulet tiré du canon dans une telle situation ne va dans aucune partie de son mouvement selon une ligne parfaitement droite (quand bien même il sortirait avec une vitesse aussi grande qu'on voudrait) parce que la vitesse (aussi grande soit-elle) n'est jamais suffisante, en de telles situations, pour le faire aller en ligne droite. Il est vrai que plus il va vite, plus il s'approche du mouvement rectiligne, c'est-à-dire du mouvement selon une ligne droite, mais cependant il ne peut jamais arriver à ce point. Il convient mieux de dire, en pareils cas, que plus le boulet va vite, moins son mouvement est courbe"(1).

Le Duc admet la valeur du raisonnement, mais le résultat obtenu lui paraît étrange : lors d'un tir oblique, la trajectoire comporte nécessairement une partie rectiligne. Tartaglia maintient sa position : la balle ne va en ligne droite que si elle est tirée verticalement, vers le haut ou vers la terre ; pour toute autre inclinaison, la balle décrit une courbe. Plus l'élévation du tir est grande, moins la gravité agit et plus l'incurvation est faible, mais elle n'est pas nulle. Jamais le boulet ne va en ligne droite "dans aucune partie, si minime soit-elle, de son mouvement". Il est vrai que, si la trajectoire de la *Nova Scientia* contredit l'observation, celle des *Quesiti et inventioni diverse* se heurte à notre perception du mouvement et gêne notre bon sens. Il reste à examiner dans quelle mesure, les trajectoires proposées par Tartaglia répondent aux problèmes des artilleurs concernant la portée du canon.

(1). *Quesiti et inventioni diverse*, p. 12, traduction A. Gelé.

3. La portée du canon

Dans le livre II de la *Nova Scientia*, Tartaglia aborde le problème de la portée du canon(1). Puisque la troisième partie de la trajectoire est verticale, la portée du canon est donnée par la distance entre le point de départ et le point où commence la retombée verticale. Tartaglia énonce deux résultats. D'une part, la portée du canon varie avec l'élévation du canon et dépend autant de la partie rectiligne du parcours que de celle de la partie circulaire. D'autre part, la partie circulaire est d'autant plus grande que l'angle de tir est plus grand. Il en déduit que "Les trajectoires des mouvements violents des corps également graves, projetés au-dessus de l'horizon avec une inclinaison égale, seront semblables et, par conséquent, proportionnelles ainsi que les distances parcourues"(2). Par conséquent, les portées sont proportionnelles à la vitesse initiale.

En ce qui concerne les angles de tir, Tartaglia démontre que deux élévations différentes du canon peuvent donner des portées égales. Considérant les résultats obtenus pour des portées de 0° et 90°, il en conclut que la position médiane -le tir à 45°- correspond à la portée maximale. Il estime que cette portée est dix fois supérieure à celle obtenue pour un tir horizontal. Blondel écrit que Tartaglia est le premier à avoir énoncé que la portée la plus grande est obtenue pour un angle de 45°, et que les canoniers ont longtemps pensé que ceux qui étaient au-dessous de 45° allaient plus loin(3).

Les *Quesiti et Inventioni diverse* nous ont appris que la trajectoire du boulet de canon n'est une courbe nulle part rectiligne, mais ne disent rien de la nature de cette courbe. Cependant, les considérations sur l'allègement du boulet en fonction de la rapidité du mouvement et de l'élévation du tir permettent à Tartaglia d'énoncer un certain nombre de nouveaux résultats, utiles aux artilleurs. Tartaglia montre que l'allongement de la partie quasi-rectiligne de la trajectoire augmente avec l'accroissement de la vitesse du boulet et avec l'élévation du canon(4). L'allongement du parcours

(1). KOYRE, *La dynamique de Nicolo Tartaglia*.

(2). Livre II, Proposition VII.

(3). BLONDEL, *L'art de jeter les bombes*, p. 14.

(4). KOYRE, op.cit.

quasi-rectiligne en fonction de la vitesse initiale est une conséquence de la proposition VII du Livre II de la Nova Scientia. Pour démontrer l'allongement du parcours selon l'angle de visée, Tartaglia utilise les travaux statiques sur la balance de Jordanus qu'il fit éditer(1). Comme d'autres, avant ou après lui, il essaie d'étendre les schémas fructueux de la statique à la dynamique. Tartaglia considère qu'un corps pesant équilibré partant de la position horizontale du fléau de la balance devient plus léger en s'éloignant de cette position, et ce d'autant qu'il s'en éloigne davantage. Par analogie, il en déduit qu'un boulet qui part de la position horizontale est plus pesant qu'il ne l'est pour une autre position. Ainsi, un boulet tiré horizontalement est plus lourd et commence sa descente plus tôt qu'il ne le ferait pour un autre angle de tir. Par contre, le boulet tiré obliquement est plus léger et, plus l'obliquité est grande, plus il est léger et plus la distance parcourue d'un mouvement quasi-rectiligne est grande. Tartaglia note qu'une élévation de 45° donne une distance quatre fois plus grande qu'un tir horizontal.

En conséquence, l'artilleur ne doit pas pratiquer le tir horizontal, il est le moins efficace. En effet, si la longueur de la partie quasi-rectiligne de la trajectoire est de 200 pas pour un tir horizontal, elle est de 800 pas pour un tir à 45°. Supposons que le but à atteindre soit à 60 pas en ligne horizontale. Le boulet tiré horizontalement frappera avec une vitesse capable de lui faire parcourir 140 pas ; tandis que le boulet tiré en contre bas à 45°, même s'il parcourt 100 pas avant d'atteindre le but, frappera avec une vitesse capable de lui faire parcourir 700 pas, donc beaucoup plus fort(2). Même si le raisonnement est fruste, il est préférable à celui qui conduit Tartaglia à concevoir une vitesse minimale sur la trajectoire du boulet, conclusion fort gênante pour les artilleurs.

Les traités de Tartaglia constituent une première tentative pour mesurer la portée du canon ; ils fournissent un certain nombre de paramètres pour estimer cette portée, mais ils ne produisent en aucun cas une méthode pour calculer la portée selon l'angle de tir.

L'originalité de l'oeuvre de Tartaglia réside dans l'unicité

(1). DUGAS, Histoire de la mécanique.

(2). KOYRE, op.cit.

de l'objet de ses études sur le mouvement, la trajectoire des projectiles . La Nova Scientia eut un succès considérable. Ecrite en italien, dans la langue de la vallée du Pô, elle connut sept éditions jusqu'en 1583(1) et fut traduite dans toutes les langues européennes(2). La trajectoire tripartite rencontra un important succès, aussi bien auprès des artilleurs -les hommes de l'art- qu'auprès des savants. Par contre, la trajectoire curviligne des Quesiti et Inventioni diverse n'en eut aucun, et la tentative de Tartaglia d'établir une science de la balistique resta sans suite pendant près d'un siècle.

(1). Histoire générale des sciences, tome I.

(2). COSTABEL, op.cit.

II. Les traités d'artillerie du début du XVII^{ème} siècle

La balistique de la Nova Scientia, qui n'exige pas des artilleurs des connaissances très étendues et qui reste fidèle aux préceptes traditionnels de la scolastique, fut rapidement populaire auprès des hommes de l'art et le resta jusqu'à la moitié du siècle suivant. Traduite dans toutes les langues européennes, elle est reprise dans tous les traités d'artillerie édités au début du XVII^{ème} siècle en cette Europe guerrière : l'El perfeto Capitan instruido en la disciplina Militar y nueva ciencia de la Artilleria de Diego de Alaba publié en 1590 à Madrid, le Praticca Manuale dell'Artigliera de l'espagnol Luis Collado publié en 1606 à Milan, les Eléments d'Artillerie de Rivault de Fleurance publié en 1608 à Paris, le Tratado de Artilleria de Diego Ufano publié en 1613 à Bruxelles, The gunner, shewing the whole practise of Artillerie de Robert Norton publié en 1628 à Londres, Le corona et palma militare di artieglira d'Alessandro Capo publié en 1643 à Venise, Le Grand Art de l'artillerie de Casimir Simienovski paru en 1650 en Pologne.

Les auteurs de ces traités sont des ingénieurs du Roi ou des militaires, capitaines ou lieutenants d'artillerie. Rivault se présente comme précepteur du Roi Louis XIII. Ils y traitent de tous les sujets qui intéressent un bon officier d'artillerie : les ingrédients de la bonne poudre, la description de la fonte, la manière de loger l'artillerie et de faire une batterie, la conduite d'une mine et la construction d'un pont, les obligations des officiers, etc..., et les problèmes de balistique. Les hommes de l'art veulent prolonger les travaux de Tartaglia en répondant à l'exigence des artilleurs, c'est à dire en leur apportant le moyen de calculer la portée du canon selon l'angle de tir. Diego de Alaba professe que les portées sont proportionnelles aux sinus des angles de tir et Collado étudie des formules empiriques rattachant les portées à des progressions arithmétiques(1). Nous verrons que Ufano fournit une règle et imprime des tables de tir, tandis que Rivault ramène la mesure de la portée à un calcul géométrique. Pour obtenir ces

(1). DUGAS, La mécanique au XVII^{ème} siècle.

formules de calcul, les hommes de l'art s'appuient sur la trajectoire tripartite de Tartaglia ; mais comme il s'agit de mesurer des portées, ils recourent nécessairement à des expériences. Le problème de la balistique constitue un terrain propice pour ces expériences primitives : il s'agit de mesurer la portée selon l'angle de tir. Pour évaluer les distances, les artilleurs utilisent les instruments de Biringuccio(1), et pour évaluer les angles de tir, ils se servent de la célèbre équerre que Tartaglia leur a léguée.

1. L'équerre de Tartaglia

Lorsque Tartaglia s'interroge sur la portée du canon, il ne néglige pas d'apporter certaines considérations techniques. Lorsque dans les Quesiti et inventioni diverse, le Prieur de Barletta lui demande si deux tirs effectués coup sur coup, avec la même pièce d'artillerie, vers le même but et une charge égale, sont égaux, il lui est répondu que "sans aucun doute ils seront inégaux : le second coup partira plus loin que le premier". Tartaglia avance deux raisons. D'une part, lors du premier tir le boulet a trouvé l'air en repos alors que dans le second il trouve l'air déjà ébranlé, donc plus facile à mouvoir et à pénétrer. D'autre part, lors du premier tir le canon est plein d'humidité alors que dans le second il est parfaitement sec(2). Dans le livre III de la Nova Scientia, Tartaglia aborde aussi des problèmes pratiques et décrit un instrument pour mesurer les angles de tir. Tartaglia consacre également le premier dialogue de ses Quesiti et inventioni diverse à la description et à l'usage de cet objet, qui à lui seul aurait fait la renommée de son inventeur(3).

L'instrument de mesure de Tartaglia est une équerre composée d'une partie fixe et d'une partie mobile, ainsi que d'un fil à plomb se déplaçant devant un quadrant divisé en 12 parties égales qui marquent les 12 points de l'équerre (Fig. 5). Pour utiliser l'équerre, l'artilleur fait pénétrer la partie fixe dans "l'âme" du canon, puis déplace la partie mobile jusqu'à ce qu'elle coïncide avec le fil à plomb. Le quadrant permet alors de mesurer l'angle de tir ;

(1). DUGAS, La mécanique au XVII^{ème} siècle.

(2). KOYRE, op.cit.

(3). TARTAGLIA, Quesiti et inventioni diverse, p.5-6.

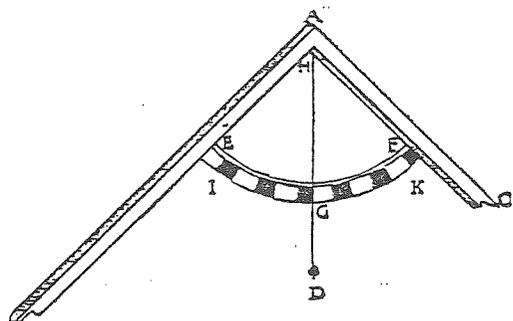


Fig. 5

ainsi, le sixième point de l'équerre correspond à un tir de 45° (Fig. 6).

Un artilleur, même peu versé dans la science balistique, peut toujours se servir de l'équerre pour ajuster empiriquement ses tirs. Blondel ironise sur l'usage qu'en fait l'ignorant sieur Malthus : "Il ne pointa jamais son mortier que par hasard et en tatônant, ou pour mieux dire par l'estime qu'il faisait de l'éloignement du lieu où il voulait jeter la bombe, suivant lequel il lui donnait plus ou moins d'élévation ; prenant garde si les premiers coups étaient justes ou non, afin de baisser son mortier, si sa portée était courte ; ou le hausser si elle allait au-delà de son but ; se servant à cet effet d'une équerre dont il faisait parade"(1). Blondel imagine que les artilleurs, et même Tartaglia,

(1). BLONDEL, L'art de jeter les bombes, p. 5-6.

2. Les éléments de l'artillerie de Rivault

Rivault de Fleurance est un érudit qui a donné une traduction latine des ouvrages grecs d'Archimède avec quelques commentaires. Il se dit précepteur du Roi Louis XIII, auquel il aurait enseigné les mathématiques. Le titre complet de son traité est Les Eléments de l'artillerie concernant tant la théorie que la pratique du canon. Dans sa préface à Messire Maximilien de Béthune, Rivault présente son oeuvre en précisant : "De sorte que si elle n'était marquée de théorie et pratique, de contemplation et d'action, elle ne serait nullement acceptable devant vous et ne ferait qu'indignement paraître la différence qu'on doit faire du grand Maître d'avec le commun officier". L'étrangeté du traité résulte peut être de sa double vocation, théorique et pratique. L'organisation de l'ouvrage est euclidienne -d'où, sans doute, le choix du mot "Eléments"- avec des définitions, des maximes et des théorèmes. Les conceptions du mouvement se situent dans une lignée aristotélicienne très orthodoxe. Les définitions du premier livre portent sur les termes quantités, figure ou vitesse, tandis que celles de deux autres livres ont pour objet l'âme du canon, l'émerillon ou la couleuvrine. Les théorèmes se préoccupent de l'existence du vide, de la résistance du mobile aussi bien que de l'inflammation de la poudre et du recul du canon.

Les définitions et les maximes du premier livre se rapportent au mouvement dans une conception aristotélicienne. Le verbe mouvoir signifie "transporter de lieu en autre", "tourner en un même lieu" et aussi "changer de qualité"(1). Le verbe monter veut dire s'approcher du ciel, et le verbe descendre s'en éloigner et approcher du centre du monde. La deuxième maxime énonce que "tout mouvement se fait sur quelque quantité", mais Rivault appelle quantité "le soutien et le sujet de tout mouvement" : une quantité bouge, change de couleur ou change de nature. La quatrième maxime rappelle que "chaque chose meuve pour se porter en son lieu naturel" et la cinquième que les corps rares montent, le feu plus que l'air, et que les épais descendent,

(1). Définition VIII, p. 8.



Fig.6

ont pu croire "que les différentes étendues des coups de canon (...) croissaient et décroissaient à proportion des points de l'équerre. C'est à dire qu'un coup d'une pièce pointée au quatrième point allait quatre fois plus loin". Il n'en est probablement rien, les auteurs des traités d'artillerie s'acharnent, au contraire, à déterminer la façon de faire correspondre une portée à chaque point de l'équerre, et leurs solutions sont parfois très sophistiquées. Nous allons examiner celles de Rivault et d'Ufano.

la terre plus que l'eau.

Rivault donne une définition de la vitesse -ce qui est rare- dont l'usage permet de comprendre toutes les difficultés qu'il y avait à analyser les mouvements dans un contexte dynamique. Il appelle vitesse "force qui fait beaucoup en peu de temps"(1). Deux théorèmes du livre I concernent le mouvement des projectiles. Rivault a défini les mots pousser, "mouvoir sans quitter", et chasser, "mouvoir en quittant". Il énonce que "En la chasse des corps, il part quelque force du mouvant qui touche toujours le mobile et le meut tant qu'il dure" et que "La résistance du mobile proportionnée aux forces du mouvement raidit le mouvement : et plus longtemps le mouvement touche en poussant, plus la force mouvante reste de temps vive"(2). Malheureusement, dans le cas d'un boulet tiré par un canon, le mouvement n'est pas le résultat d'un simple contact mais la suite d'une explosion. De plus, "il ne peut se faire mouvement ni action plus violente que celle du canon". De tout ceci, Rivault ne peut rien conclure sur les trajectoires du boulet et les portées du canon. Il adopte sans explication la trajectoire tripartite de Tartaglia. Quant à sa méthode de calcul des portées, il la donne après avoir avoué que "D'autant que la différente longueur du canon et la variété de la poudre apportent de la différence à la force et la véhémence du coup : il est impossible de donner une règle certaine du port du canon"(3).

Dans le deuxième livre, Rivault définit la portée du point en blanc, la portée moyenne et la portée morte du canon(4). La portée du canon de point en blanc est "la droite ligne que décrit la balle jusqu'à ce que la pesanteur d'icelle commence à vaincre la force mouvante et décliner en l'arc de chute". La portée moyenne du canon est "la ligne de la portée de point en blanc conduite droit jusqu'à ce qu'elle rencontre la perpendiculaire qui serait élevée sur l'horizon du point où tombe la balle". La portée morte est "la distance du canon et du lieu où tombe la balle en terre" (Fig. 7). Ainsi AK est la portée de point en blanc, AC la portée moyenne et AD la portée morte. Rivault introduit alors la trajectoire du boulet de canon:

(1). Définition XI, p.10.

(2). Théorème XIV et XV, p. 83.

(3). Problème XV, p. 183.

(4). Définitions VIII, IX, X, p. 86.

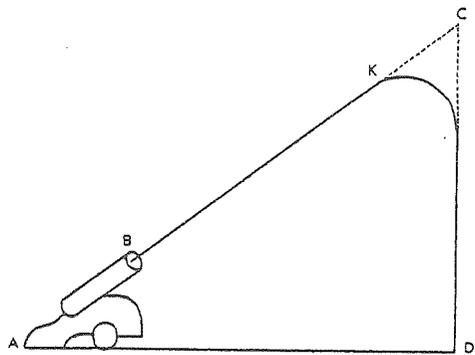


Fig. 7

"Imaginons que le canon AB soit braqué en l'angle BAI. Premièrement la balle est poussée tout droit comme aux points K et L, puis la force qui pousse imprimée par la violence de la machine, vient à s'affaiblir peu à peu tellement que la balle la vainc de sa pesanteur et fait premièrement un arc tel que font KO et LN et enfin elle tombe en terre comme en D ou en E" (Fig. 8).

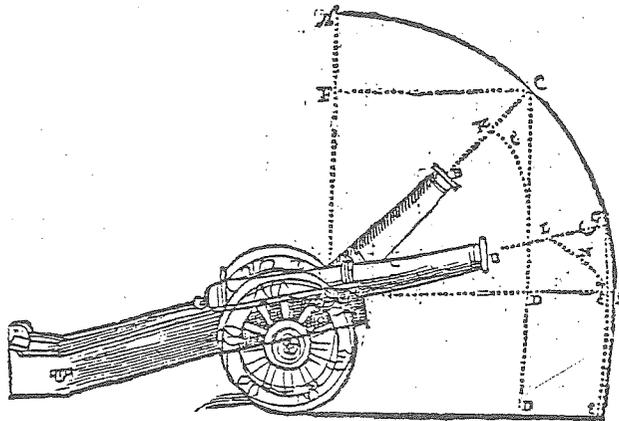


Fig. 8

Le calcul de portée repose entièrement sur la cinquième demande du livre II : "Qu'il soit permis de faire les portées moyennes d'un canon toujours égales, en quelque angle qu'il soit braqué". D'après cette conception un tir horizontal devrait avoir une portée plus grande que celle d'un tir à 45° (Fig. 11), ce qui est contraire à l'observation. Rivault cite l'expérience de Girolamo Rucelli où un tir à 45° donna une portée de 2 683 pas et un tir horizontal une portée de 900 pas. La raison en est, explique-t-il, que le boulet tiré à 45° a pu s'élever librement, tandis que le boulet tiré horizontalement a vu sa chute écourtée en rencontrant le sol : "Puis ce n'est pas tant la différence de la force du coup, qui fait varier les portées mortes, que l'empêchement et la rencontre de terre où donne la balle quand le canon est braqué bas". Par conséquent, Rivault suppose en sa demande "que la portée soit libre et sans empêchement". C'est ici que la traité de Rivault est le plus étrange, la nature très théorique de cette demande -il faut supposer qu'il n'y a pas de sol- ne l'empêche pas de l'utiliser pour des calculs pratiques.

Grâce à cette demande, le calcul des portées se ramène à un calcul métrique élémentaire du triangle. Rivault montre d'abord comment "connaître par la portée morte, la portée moyenne du canon pointé de bas en haut"(1). Supposons que le canon AB soit braqué à l'angle 50° et que la balle soit tombée à 1000 pas au-delà du canon. Il est possible de construire le triangle ADC et donc de calculer AC, qui est égal à la portée moyenne du canon (Fig. 9).

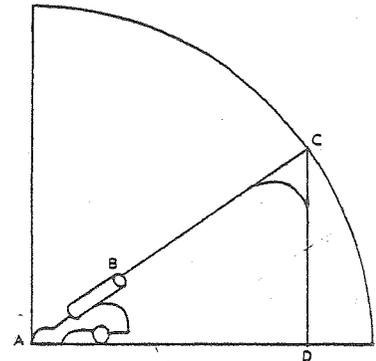


Fig. 9

(1). Problème XVI, p. 183.

Il montre ensuite comment "pointer le canon en tel angle que la balle vienne à tomber en un point donné"(1). La distance AD est connue et il faut calculer l'angle de tir. Il est possible de construire le quart de cercle de centre A et ayant pour rayon la portée moyenne du canon, supposée connue. En menant de D la perpendiculaire à AI, on obtient le point C et le calcul de l'angle CAD est immédiat. Est-ce que Rivault croit vraiment à cette théorie basée sur une demande farfelue ? Il est justifié de se poser la question puisqu'il nous avertit par ailleurs que toute règle certaine est impossible et que "la seule expérience en peut donner avis". La manière dont Rivault utilise les portées moyenne et morte du canon, fait que tout se passe comme si la trajectoire du canon ne comportait pas de partie curviligne, se réduisant aux droites AC et AD, en toute conformité aristotélicienne (fig.12).

3. L'artillerie d'Ufano

Diego Ufano est un capitaine espagnol qui a longtemps servi dans l'artillerie pendant les guerres de Flandres, et particulièrement au siège d'Ostende en 1611(2). Il publie en 1613 à Bruxelles un Tratado de Artilleria, dans lequel sont données pour la première fois des tables de tir(3). Ce traité est traduit en plusieurs langues, il paraît en français en 1621 sous le titre Artillerie.

L'ouvrage d'Ufano est un manuel à usage professionnel qui contient "vraie instruction de l'artillerie et de toutes ses appartenances et déclaration de tout ce qui est de l'office d'un général d'icelle assiégé". Toutes les questions, aussi bien techniques que stratégiques, qui intéressent un officier d'artillerie sont abordées. Les livres I et III, découpés en chapitres, concernent la fabrication, la description et le maniement du matériel d'artillerie. Le livre II, consacré à l'art de la guerre, se présente sous forme de dialogues entre un capitaine -Ufano lui-même- et un général. Les problèmes balistiques sont abordés, parmi les autres, en réponse à des questions précises, tactiques ou pratiques. L'Artillerie n'est pas un ouvrage théorique : ni traité sur le mouvement, ni même exposé de balistique. Il présente très exactement les demandes d'un corps de métier, demandes

(1). Problème XVII, p. 188-189.

(2). BLONDEL, L'art de jeter les bombes.

(3). DUGAS, La mécanique au XVII^{ème} siècle.

qu'Ufano s'efforce de satisfaire.

Un chapitre du livre III donne "La forme et proportion du quadrant avec l'instruction comment on doit en user tant en grandes pièces qu'au mortier"(1). Ufano décrit l'équerre de Tartaglia, avec les douze divisions du quadrant, et explique comment s'en servir en s'appuyant sur une figure (Fig.10) : "Voici donc la structure du quadrant, voyons maintenant quand et comment on en usera et ce en l'exemple suivant (...). En quoi lui servira de beaucoup la figure d'un mortier qui au niveau de l'âme, noté A au quadrant, a la portée de 200 pas, où est la balle A. Mais étant élevée au point B, il fait 487 pas. Au second C, 755 pas. Au troisième D, 937 pas. Au quatrième E, 1065 pas. Au cinquième F, 1132 pas. Au sixième G, qui est le point du milieu du quadrant et de la plus haute élévation, il fera 1170". Il donne ensuite les portées pour les angles en degrés.

La figure qui sert de référence indique que la portée maximale du canon est obtenue pour un angle de 45°, point G du quadrant, et que des angles symétriques par rapport à 45° donnent des portées égales. Ufano n'explique pas comment ont été obtenues les propriétés des angles de tir et les mesures portées sur la figure. Il décrit les trois mouvements auxquels est soumis le boulet : "Tous ces tirs se font premièrement par le mouvement violent ou droit, puis par le mouvement mêlé la balle déclinant de la ligne droite, dont elle est sortie du mortier et faisant un arc ou une courbée, et finalement par le naturel, ayant perdu toute sa force, et cherchant son centre de haut en bas ; comme on en voit les traces en la dite figure". Cependant, les trajectoires représentées sur cette figure n'ont pas la forme orthodoxe de la Nova Scientia, elles ne sont vraiment rectilignes que dans la première partie du parcours. Même si l'explication de Tartaglia est encore présente, elle n'est plus acceptée dans les faits : les vrais boulets de canon ne suivent pas la trajectoire tripartite. Plusieurs figures de l'Artillerie représentent des trajectoires quasi-curvilignes (Fig.11). Par ailleurs, les trajectoires représentées ne sont pas conformes aux mesures indiquées, puisque les portées dessinées sont en progression arithmétique.

(1). Chapitre XIII, p. 115-117.

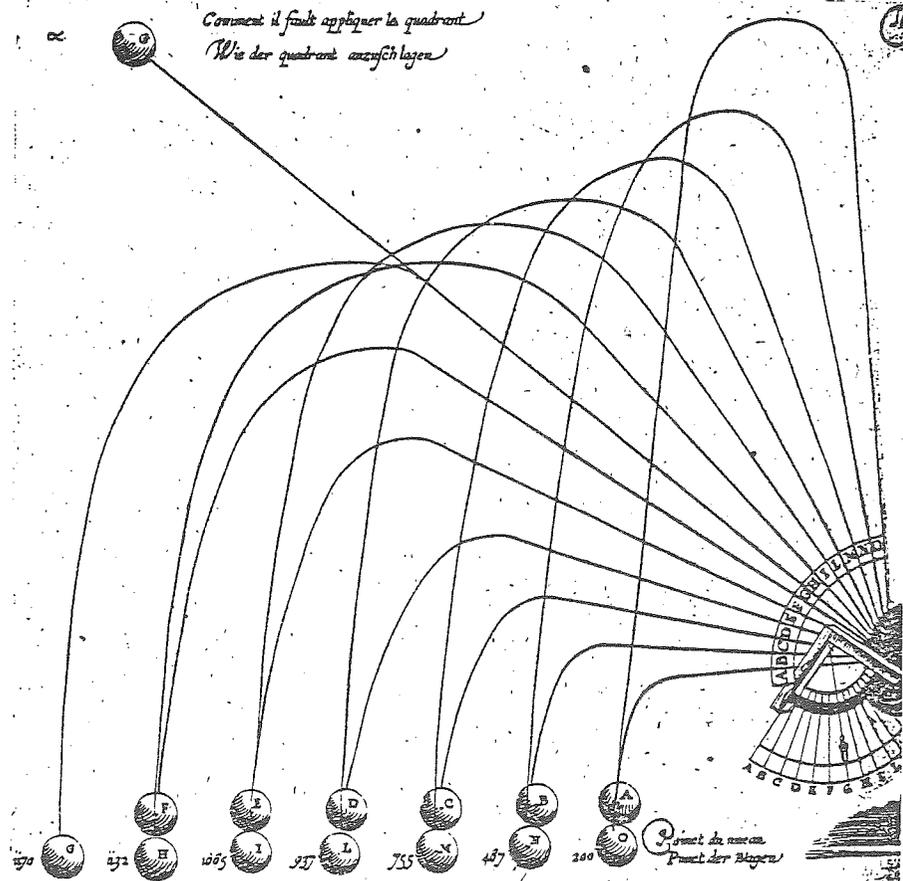


Fig. 10

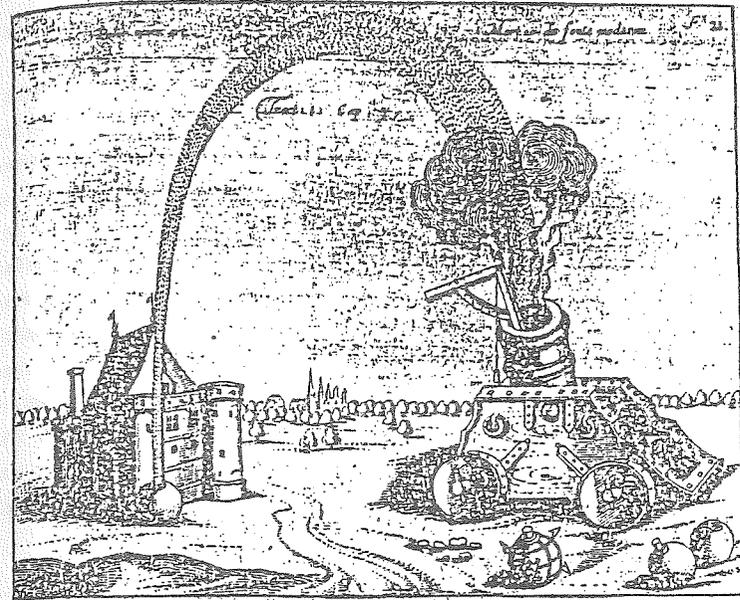


Fig. 11

Pour expliquer l'utilisation du quadrant, Ufano a commencé par donner un exemple numérique. Il poursuit en donnant une règle pratique pour calculer la portée selon l'angle de tir exprimé en degré : "La règle commune par laquelle l'artilleur connaîtra quelle sera la portée de la pièce et de degré à degré de l'élévation d'icelle est : qu'il regarde de combien de pas elle sera selon la mire commune. Lesquels il divisera par 50, et multipliera le quotient par 11, qui sera le nombre de la plus grande digression, lequel il divisera derechef par 44, dont le quotient sera justement le nombre de pas; que la balle perdra les autres digressions, degré à degré. Pour exemple. Le canon tiré par la pointera de riz les métaux 1000 pas, qui divisés par 50, donnent le quotient de 20, lesquels multipliés par 11 font 220 pas, qui est le nombre de la plus grande digression, qui se fait au second degré du quadrant, ou le premier après le niveau. Mais toutes les autres digressions vont toujours diminuant, jusques au quarante cinquième degré. Pour savoir donc de combien sera cette diminution de degré en degré jusques au 45, qui est la plus haute élévation, il prendra le nombre de degrés dès le premier jusques au dit 45, qui feront 44 et divisant par iceux le nombre

précédent de 220, il trouvera le quotient de 5, qui est le nombre qui ira toujours décroissant dès la première jusques à la dernière digression". Si pour un degré la portée est de 1000 pas, alors pour deux degrés la digression sera de 220 pas et la portée sera de 1220 pas, pour trois degrés la digression sera de 215 pas et la portée sera de 1435 pas, etc... Autrement dit, si u_n désigne la portée correspondant à n degrés, les portées sont calculées à partir de u_1 et de la formule de récurrence :

$$u_n = u_{n-1} + a - (n - 2)b$$

avec $a = (u_1 : 50) \times 11$, la plus grande digression, et $b = a : 44$.

Ufano effectue les calculs des portées pour tous les angles de tir jusqu'à 45°, il trouve alors 5950 pas. Il fournit ainsi une table que les artilleurs peuvent utiliser pour calculer la portée de leur engin en effectuant un seul tir et en appliquant une règle de trois. En effet, la formule de récurrence implique que u_n est proportionnelle à u_1 et à une fonction de n . En cherchant et en trouvant cette règle, Ufano a satisfait la demande des artilleurs. Comment l'a-t-il obtenue ? Les mesures données sur la figure de référence sont déduites elles aussi de cette mystérieuse règle.

Dans ce chapitre du livre III, consacré à l'ajustement du tir, Ufano cherche surtout à définir une règle et ne s'intéresse pas à la trajectoire du boulet de canon. Blondel le lui reproche : sa règle est "à la fois subtile et ingénieuse ; mais elle n'est point véritable, parce que cet officier n'a pas connu la nature de la ligne courbe que le boulet décrit en passant par l'air"(1). Par contre, dans un dialogue du livre II, à propos d'une question plus stratégique, Ufano se trouve obligé d'envisager cette trajectoire. La question du général est la suivante : "Des pièces égales, quelle poussera la balle plus loin, celle qui est logée au haut d'une tour ou celle qui est logée au pied d'icelle ?"(2). Pour répondre à cette question, il est nécessaire de comparer les trajectoires des boulets lancés en haut et en bas de la tour. Aussi, le général demande-t-il plus loin : "Quelle différence de mouvement a la balle, dès la première

(1). BLONDEL, L'art de jeter les bombes, p. 18.

(2). Dialogue 9, p. 54-55.

sortie de sa pièce jusques à son repos ?" Le capitaine Ufano explique : "Il y a trois mouvements divers. Le premier à son commencement incontinent dès la sortie de la bouche de la pièce, comprenant en une ligne droite toute la force et vigueur d'icelle : dont il est appelé mouvement violent. L'autre commence quand après la droiture la ligne se va courbant en un arc. Lequel d'autant qu'il participe encore de la violence, mais en décadence, est appelé motus mixtus ou mouvement mêlé. Mais le troisième qui commence dès la dernière pointe de son arc où la balle de son mouvement naturel, cherchant, selon sa propre pesanteur, son centre et repos, en ligne droite et perpendiculaire, est appelé mouvement pur et naturel. Tous trois, montrés en la dite figure dès le commencement du violent jusqu'à la fin du naturel". En suivant cette conception, le capitaine estime que le canon placé en haut de la tour devrait lancer la balle plus loin que celui placé en bas (Fig.12). Mais il n'ose pas l'affirmer ne l'ayant pas lui-même

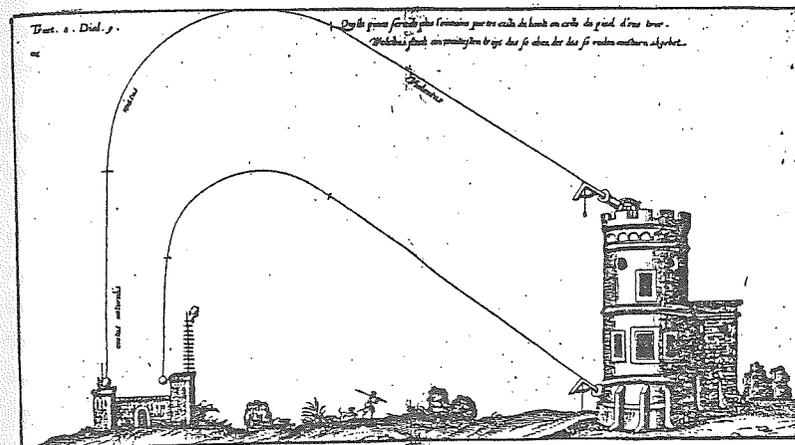


Fig. 12

observé ou expérimenté : "Je n'en pourrai aussi donner plus entière résolution, recommandant et remettant le reste aux esprits curieux et vifs jusqu'à ce que l'expérience nous enseigne plus clairement".

Une fois de plus, Ufano se montre peu empressé de suivre à la lettre la théorie de la Nova Scientia, à laquelle il préférerait

la certitude d'une expérience. Il est vrai que la trajectoire tripartite ne permet pas vraiment de conclure. Quant à la trajectoire curviligne, non mentionnée par les artilleurs, elle serait ici comme ailleurs parfaitement inutile. Effectivement, l'argument final du capitaine se réfère à une expérience : "Au surplus j'ai entendu d'un qui longuement avait pratiqué l'artillerie au siège de certaine ville étant contraint de loger l'artillerie quelque peu plus loin d'icelle qu'on fait coutumièrement on lui commande d'essayer si d'un demi-canon il pourrait mettre la balle en ladite ville. Et voyant qu'il ne pouvait atteindre que les remparts il s'avisa d'élever en hâte la plate-forme sur laquelle la pièce avait été logée de six pieds : et la y remettant et retournant à l'essai il trouva que sa balle pénétra de 800 pas d'avantage en la ville, qu'elle n'avait fait auparavant, donc il apparaît que tant plus que la pièce est élevée, tant est la portée plus lointaine".

Ce dialogue réaffirme l'importance pour les artilleurs de connaître la véritable trajectoire du boulet de canon. De plus, la nécessité de recourir à l'observation et à l'expérience est clairement affirmée.

4. Les expériences de tir

Il semble que les premières expériences que les artilleurs aient effectuées concernent la doctrine de Tartaglia, selon laquelle la portée maximale est obtenue pour un angle de tir de 45°. Blondel rapporte que, dès 1532, des canonniers désireux de la vérifier en firent l'expérience à Vérone "où l'on tira deux coups de coulevrine de vingt livres chargés également de poudre et de balle, l'un sur l'élévation du sixième point, et l'autre sur celle de deux points au-dessous"(1). Le premier coup alla à 1972 perches et le second à 1872 perches, ce qui confirma le bien fondé de la doctrine. Lorsque Rivault note la contradiction entre cette même doctrine et l'égalité des portées moyennes, il fait également référence à l'expérience d'un certain Girolamo Rucelli : "On a bien observé d'un canon portant balle de cent livres à douze onces le livre, et chargé de 66 livres de poudre (...) s'il est pointé à l'angle de demi-droit sur l'horizon que la balle meurt à 2683 pas loin, et que s'il est pointé à niveau,

(1). BLONDEL, op.cit., p. 14.

elle ne va qu'à huit ou neuf cent pas"(1).

Des expériences plus élaborées sont relatées dans l'Artillerie d'Ufano. Le dialogue 21 narre l'"épreuve d'un canon tirant 24 livres de fer contre une colubrine de 13 livres faite au château d'Anvers par le châtelain Augustin de Mexia et le maître de camp Jérôme Monroy, en l'an 1601"(2). Le demi-canon, élevé à 22°, tira à 300 pas et la colubrine, élevée à 18°, tira seulement à 150 pas. Le capitaine Ufano juge probablement les paramètres trop nombreux et peu pertinents : "Croyez-moi Monseigneur, que si la colubrine n'eut été que de 32 calibres, elle eut porté la balle beaucoup plus loin". Il rapporte alors plusieurs expériences où les canonniers ont fait varier le calibre du canon, c'est à dire sa longueur, et observer les résultats obtenus : "Donc il est certain que la colubrine étant de 32 livres, la balle acquiert toute la vigueur, comme on s'en peut apercevoir qu'au sortir elle fait plus grand tonnerre et la pièce en reculer plus rudement chose qui selon le témoignage de Louis Collade a été éprouvée au Royaume de Naples, en un colubrine faite à Gênes tirant 48 livres de fer et longue de 47 calibres mais qui en sa plus haute élévation, n'égalait la portée d'une demi-colubrine de 32 calibres et de 16 livres de fer. Donc les officiers en firent ôter 8 calibres ; et voyant que la portée en fut meilleure, en firent couper encore 7 dont la dite pièce venant à la juste proportion de 32 calibres fit sa portée de 1500 pas plus avant, qu'elle n'avait au commencement. De même nous dit le sergent de Holmedo qui étant soldat au Rocher de Vélez de Gomera (...) il s'y trouve une demi-colubrine de 45 calibres et de 12 livres de balle, qui ne pouvait mettre la balle au fort d'Alcenlareio auquel un demi-canon pouvait aisément mettre la sienne : donc les officiers Jean de Moline et Andrieu de Sepulvead lui firent rogner 12 calibres, laissant la pièce de 33 calibres, qui ainsi raccourcie poussa la balle non seulement aussi fort, mais aussi environ 800 pas plus avant".

Pour perfectionner leur art, les canonniers doivent essayer de connaître et de maîtriser les paramètres qui interviennent sur

(1). RIVAULT, op.cit., p. 92.

(2). UFANO, op.cit., p. 78.

la portée de leur engin. Ils sont ainsi conduits à effectuer des mesures, à comparer les mesures obtenues en faisant varier les paramètres, puis à isoler certains paramètres. Ces essais font partie du métier d'artilleur, mais ils constituent aussi un premier pas vers la réalisation d'expériences physiques. Ils viennent aussi pallier la principale lacune des travaux de Tartaglia : il est clair que les problèmes d'artillerie exigent des résultats quantitatifs. La trajectoire peut être rectiligne ou curviligne, mais quelle est sa mesure ? Le boulet va plus ou moins vite, mais dans quelle proportion ? Galilée va répondre précisément à ces deux questions, dans ses Discours concernant deux sciences nouvelles de 1637 (1).

BIBLIOGRAPHIE

I. SOURCES

- BLONDEL, L'art de jeter les bombes, Mortier, Amsterdam, 1699.
 MOLTZHEIN de, Esquisse historique de l'artillerie française depuis le moyen-âge jusqu'à nos jours, Simon, Strasbourg, 1868.
 RIVAULT, Les éléments de l'artillerie concernant tant la théorie que la pratique du canon, Beys, Paris, 1608.
 TARTAGLIA, Nova Scientia, Venise, 1537.
 TARTAGLIA, Quesiti et inventioni diverse, Brisciano, Venise, 1546.
 UFANO, Artillerie, Aelst, Zutphen, 1621.

II. ORIENTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

- COSTABEL, Observations et théories du mouvement au XVIème siècle, in Cahiers du Séminaire d'Epistémologie et d'histoire des sciences, Université de Nice, n° 7/8, 1980.
 DUGAS, Histoire de la mécanique, Dunod, Paris, 1950
 DUGAS, La mécanique du XVIIème siècle, Editions du griffon, Neufchâtel, 1954.
 GILLE, Les ingénieurs de la Renaissance, Hermann, Paris, 1964.
 I.R.E.M. LE MANS, Mathématiques, Arts et Techniques au XVIIème siècle, Publication n° 4, Université du Maine, 1987.
 KLINE, Mathematical thought from ancient to modern times, Oxford University Press, New York, 1972.
 KOYRE, La dynamique de Nicolas Tartaglia, in La science au XVIème siècle, Actes du colloque de Royaumont, Hermann, Paris, 1960.
 MOSCOVICI, Essai sur l'histoire humaine de la nature, Flammarion, Paris, 1977.
 TATON, Histoire générale des sciences, tomes I et II, P.U.F., 1957.

(1) voir IREM LE MANS, Mathématiques, Arts et Techniques au XVIIème siècle.