

Arbalestrille, arbalète, bâton de Jacob, rayon astronomique, croix géométrique, verge d'or ou radiomètre, un instrument obsolète à fabriquer soi-même !

Philippe Merlin, observatoire de Lyon, merlin@obs.univ-lyon1.fr

L'arbalestrille, instrument de mesure d'angles, bien connue des pilotes de navire du XIV^e au XVIII^e siècle a toujours manqué de précision. Les découvertes de l'octant puis du sextant l'ont complètement sortie du matériel de mesure. Pourtant avec quelques connaissances de mathématique et d'habileté manuelle, elle était facile à construire. Nous partirons de quelques documents historiques et explicatifs avant de proposer d'en fabriquer une, soit à partir d'un fichier à imprimer sur bristol, soit, pourquoi pas, en la traçant entièrement.

L'étymologie du mot ne pose aucun mystère c'est la forme même de l'instrument proche de l'arbalète. Le ou les créateurs de l'arbalestrille ou bâton de Jacob sont restés inconnus. La littérature donne des noms, mais sans certitude. Elle apparaît dans les textes au XIV^e siècle avec mention du « bâton de Jacob » chez Levi ben Gerson (1288-1344). Le livre de Pierre de Médine *L'Art de naviguer* (1545, 1^{ère} édition française 1554) la mentionne seulement comme instrument. On trouve une bonne description complète de son tracé, donc de sa fabrication, dans le livre de Pierre Apian (Petrus Apianus 1495-1552) *Cosmographie*, de nombreuses fois réédité et complété à partir de 1524 aux XVI^e et XVII^e siècles dans toutes les principales langues européennes.

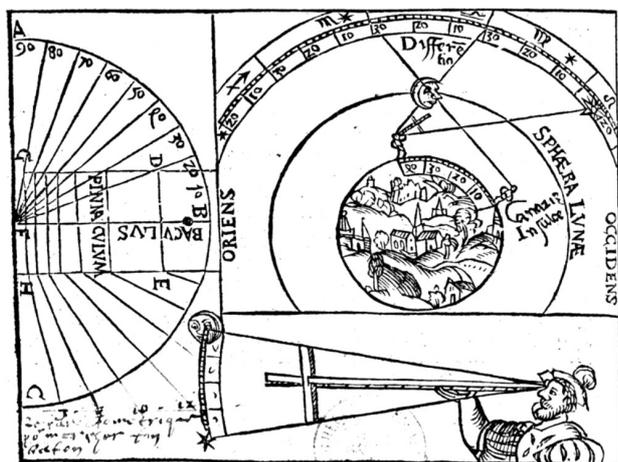


Fig.1. *Cosmographie*, de Pierre Apian (1544). Dessin, tracé et usage de l'arbalestrille : hauteurs et distances lunaires.

Dans la première partie du XVIII^e siècle, tous les traités de navigation décrivent l'arbalestrille, sa fabrication et son utilisation, tel le livre de P.

Bouguer¹ *Nouveau traité de navigation* 1753 qui la décrit sur 10 pages avec plusieurs schémas. Ce traité revu par l'abbé La Caille en 1760 ne la cite que sur quelques lignes pour la déclarer imprécise et obsolète. C'est la disgrâce totale². Car viennent d'apparaître le quartier anglais, l'octant puis le sextant, bien plus précis et commodes.

Pezenas (1692-1776), dans *Astronomie des marins ou nouveaux éléments d'Astronomie à la portée des marins* (1766), la snobe complètement :

J'Abandonne aux Pilotes ignorans l'Arbalestrille ou la flèche, qui est le plus mauvais de tous les Instruments à prendre hauteur. Comme les degrés en sont iné-

Description

Comme les auteurs devaient et savaient le faire au XVIII^e siècle, la description des instruments, ici de l'arbalestrille, est minutieuse et complète. Ci-dessous celle de Bouguer dans *Le Nouveau Traité de Navigation* de 1753. Elle correspond à la figure 3 de l'article.

Description de l'Arbalestrille.

20. Les Pilotes se sont servi pendant très-long-tems & ils se servent encore actuellement de l'Arbalestrille, qui est un instrument composé de deux pièces principales, qui forment une espèce de croix. L'une de ces pièces, qui est ordinairement d'ébène ou de quelqu'autre bois dur, se nomme la *Flèche*. C'est un bâton quarré qui a deux piers

¹ Pierre Bouguer (1698-1758) est un mathématicien, astronome, physicien et hydrographe français. Il est connu des astronomes photométristes par la « droite de Bouguer » qui permet de s'affranchir de l'absorption atmosphérique. Il est aussi connu pour son voyage au Pérou pour la mesure du degré d'arc de méridien près de l'équateur avec La Condamine, Godin et Jussieu.

² L'arbalestrille n'a cependant pas disparu brusquement et a continué d'être utilisée en particulier par les Hollandais.

& demi ou trois pieds de longueur, lequel passe perpendiculairement au travers de l'autre pièce qu'on nomme le *Marteau*, qui est percée d'un trou carré. La *Flèche* doit glisser librement dans ce trou, mais ne doit pas y jouer; & il faut que les deux pièces fassent toujours des angles exactement droits, ce qui oblige de rendre le *marteau* beaucoup plus épais vers le milieu.

21. La *Flèche* est graduée sur chacune de ses quatre faces; on voit sur chacune deux rangées de chiffres, l'une vient en augmentant vers le bout de la *Flèche*, qui est plat, & qu'on nomme le *Bout de l'œil*, par la raison qu'on verra dans un instant. Cette rangée ou colonne de chiffres finit à 90 degrés, qui est la plus grande hauteur, & l'autre colonne marque le complément ou les distances de l'*Astre* au *Zénith*. Celle-ci commence par zéro qui est marqué vis-à-vis de 90 degrés de hauteur; on trouve 10 degrés de complément vis-à-vis de 80 degrés de hauteur; 20 degrés de complément vis-à-vis de 70, &c. La marche des deux rangées de chiffres se fait en sens contraire; il faut bien que cela soit ainsi, puisque l'*Astre* ne peut pas monter ou s'éloigner de l'*Horizon* sans approcher du *Zénith*.

22. Chaque face de la *Flèche* ayant sa graduation particulière, elle a aussi son *marteau*. On reconnoît le *marteau* qui appartient à chaque face, en voyant si la moitié de sa longueur est égale à la distance qu'il y a sur la *Flèche* depuis le bout de l'œil jusqu'à 90 degrés de hauteur ou zéro de complément. On doit toujours dans les observations préférer les plus grands *marteaux*; mais lorsque l'*Astre* est fort bas, il faut nécessairement avoir recours aux plus petits, comme les *Lecteurs* vont s'en convaincre.

Usage et utilisation

Son usage, que l'on associe souvent aux marins pour la mesure de hauteurs ou des distances lunaires comme sur la figure 1, pouvait s'étendre aux géomètres et arpenteurs pour des relevés sur la terre ferme: dimensions de bâtiments, profondeur de puits, distance à un objet inaccessible (artilleurs), etc. Dans ce cas, l'instrument était adapté et parfois perdait sa forme symétrique d'arbalète, et la graduation donnait plutôt des tangentes (figure 2) pour calculs ultérieurs. Les astronomes la trouvaient trop imprécise et inutilisable.

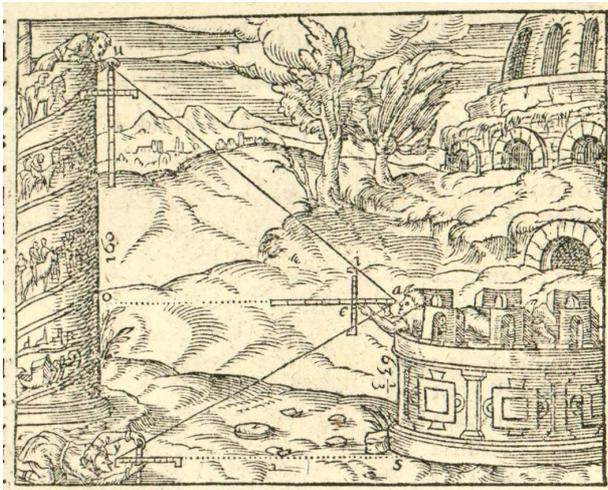


Fig.2.- *Arithmeticae libri duo...* Pierre de la Ramée (1569) [6].

Avec l'arbalétrille, la mesure directe (figure 3) est difficile, car elle demande la visée de deux directions simultanément avec des accommodations de l'œil très différentes: très proche pour l'origine de la tige, mi-distance sur le *marteau* et à l'infini pour l'objet et l'horizon.

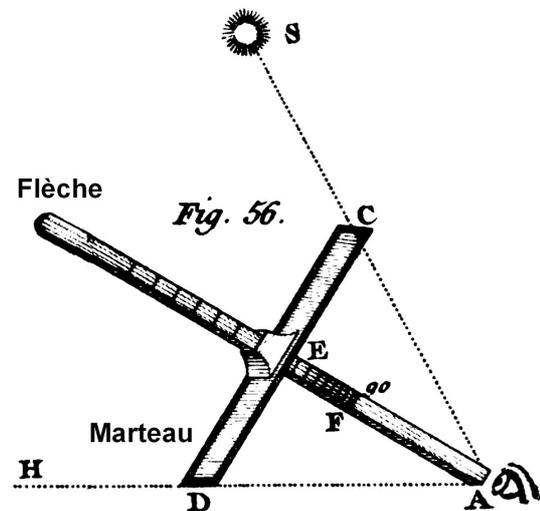


Fig.3. Arbalétrille: visée par devant. (Bouguer 1753).

La lecture de l'angle en degrés se fait sur la flèche par la graduation se rapportant au *marteau*. Si à terre sur un sol stable, la mesure était déjà faite avec un handicap visuel, sur un bateau il fallait ajouter la non stabilité due au roulis et au tangage. Y a-t-il eu des accidents et quelques marins se sont-ils fait éborgner en se mettant la flèche dans l'œil (intermédiaire entre la paille et la poutre) et ont camouflé cet accident en glorieuse blessure au combat?

Pour éviter de viser le Soleil sans protection, on pouvait s'en servir en visée arrière par la visée de l'ombre d'un *marteau* (figure 4).

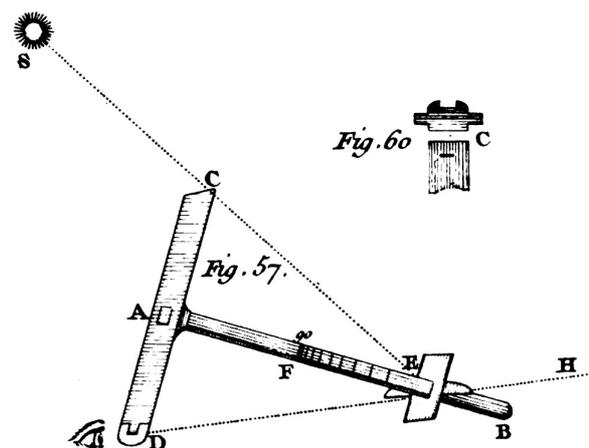


Fig.4. Arbalétrille: visée par derrière (Bouguer 1753).

Dans ce cas, la difficulté de viser deux directions est réduite, il y a une seule ligne de visée, l'ombre solaire du bord C à amener en E se superpose à la visée de l'horizon. Un œilleton en D peut aussi

faciliter la visée. Mais seule la hauteur du Soleil peut être mesurée ainsi.

Il y avait des corrections (illusoires ?) à faire pour les effets d'ombre floue dus au diamètre angulaire du Soleil et pour la courbure de la Terre pour l'horizon en fonction de l'altitude de l'observateur.

Principe de construction

Le schéma de gauche de la figure 1 agrandi dans la figure 5 résume toute la construction et le tracé des graduations de la flèche pour un marteau.

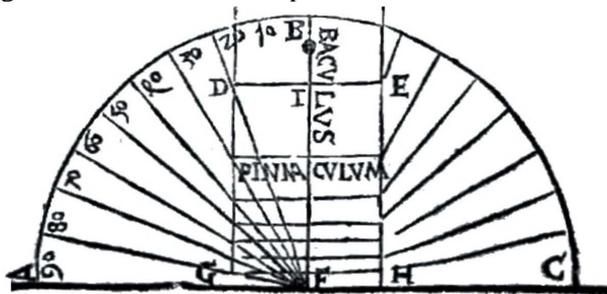


Fig.5. Le graphique du tracé des graduations chez Pierre Apian en fonction de la largeur du marteau DE.

Remarque : le graphique était dessiné à l'échelle 1 et les traits étaient directement reportés sur le support de la flèche.

La flèche est le segment FB (que l'on peut prendre comme unité). Noter que le point B est sur le demi-cercle. Le marteau dont il faut faire la graduation sur la flèche a pour longueur GH ou DE, écart entre les segments parallèles GD et HE symétriques par rapport à la flèche. La graduation du demi-cercle ABC permet de graduer la flèche pour ce marteau de longueur DE. Par exemple, ici, la marque 40° sera à l'intersection I de la flèche et du segment DE construit à partir des rayons du demi-cercle orientés à 20°, angle moitié et coupant les deux segments. Si I est l'intersection des segments FB et DE, ID/FI est la tangente de 20° et l'angle DFE vaut 40°. I est le repère 40° sur la flèche.

Il y avait autant de tracés à faire que de marteaux à fabriquer.

L'arbalestrille de carton

C'est une mini arbalestrille avec trois marteaux ; le tracé de toutes les pièces tient sur une page A4. Cette page est à imprimer sans changement d'échelle sur carton bristol. La fabrication demande soins et minutie afin d'avoir un découpage et des pliages nets.

Pour rigidifier l'instrument, une règle carrée de bois de 11 mm × 11 mm × 300 mm peut être glissée dans le corps de la flèche..

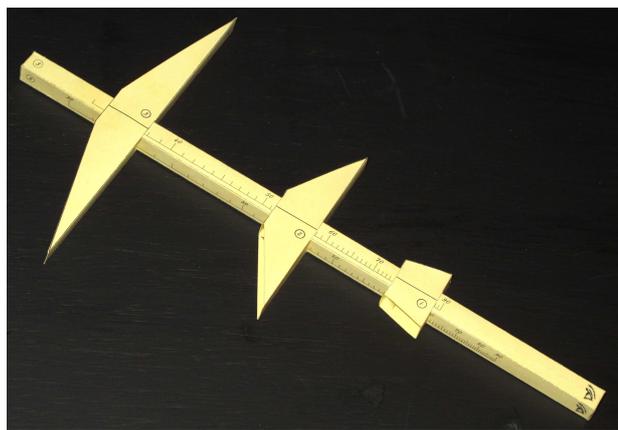


Fig.6. L'arbalestrille avec ses trois marteaux. En pratique, on monte un seul marteau adapté à la grandeur de l'angle à mesurer.

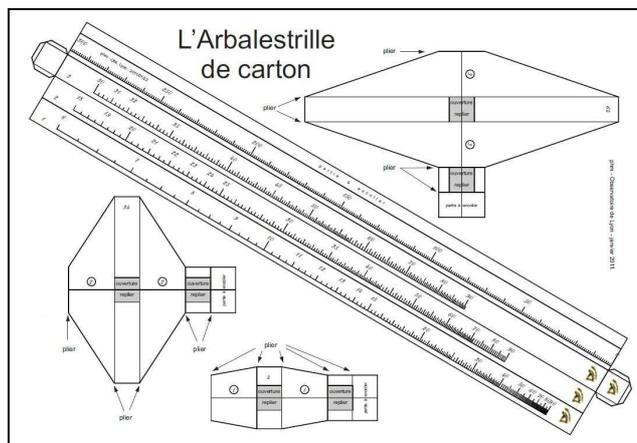


Fig.7. La planche à imprimer, découper, monter et coller.

Pour ne pas charger le dessin, la règle est graduée en degrés pour la mesure des hauteurs en vision directe.

Elle pourrait aussi comporter les compléments des angles donnant directement la distance zénithale.

Si l'on construit soi-même une arbalestrille en faisant le tracé des graduations, on peut suivre la méthode de Pierre Apian en utilisant la figure explicative de la figure 5.

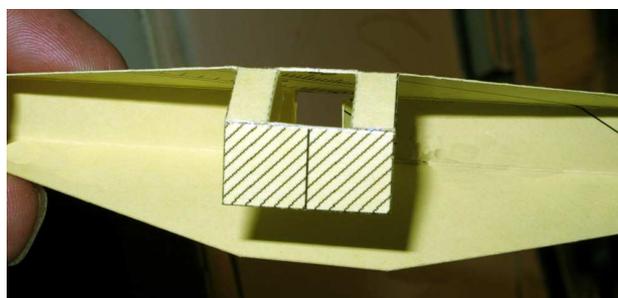


Fig.8. Un marteau en pliage avant collage.

Avec les moyens informatiques modernes, l'usage de GeoGebra facilite le tracé en permettant de faire varier à l'aide de curseurs les différentes dimensions de la flèche et des marteaux. En imprimant avec une

échelle adaptée, les graduations peuvent être découpées et collées ou reportées sur une flèche en bois ou en carton.

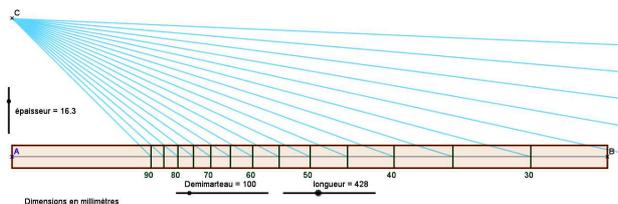


Fig.9. Le tracé modulaire des graduations des degrés sous GeoGebra.

En utilisant sous GeoGebra des séquences de valeurs et de segments, on peut faire apparaître sans difficultés toutes les subdivisions de degrés et écrire les valeurs correspondantes.

Le tracé personnel de l'arbalestrille a souvent tenté des gens de toute formation, par son côté géométrique, graphique et manuel. Il est intéressant d'aller consulter le livre de Denoville [4], manuscrit colorié à la main. Marin dieppois, Jean-Baptiste Denoville aurait été fait prisonnier par les Anglais durant la guerre de succession d'Autriche (1756-1763). Durant sa captivité, il écrit un gros livre avec de nombreuses illustrations de toutes ses connaissances : mathématique, physique, navigation, etc.

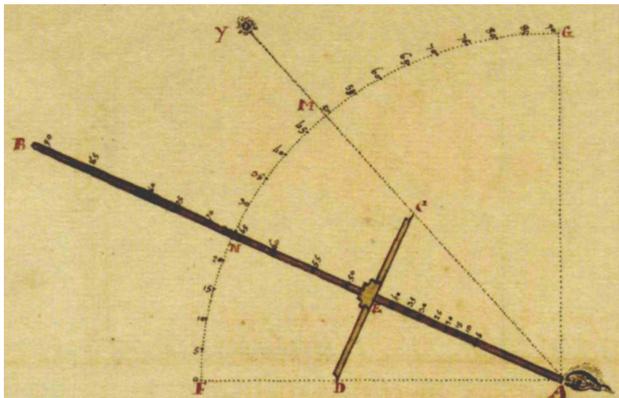


Fig.10. Le tracé de l'arbalestrille par devant par Denoville.

Il décrit dans un français difficile pour nous par son écriture et orthographe, deux procédures pour tracer l'arbalestrille, l'une géométrique et l'autre basée en partie sur la trigonométrie.

La première s'apparente au tracé proposé par Pierre Bouguer, la deuxième est celle que l'on emploie dans l'exemple d'utilisation de GeoGebra, avec l'utilisation de table de tangentes.

Note : l'usage des décimales en trigonométrie est récent. Dans les tables jusqu'au XVIII^e siècle les valeurs des sinus, cosinus, tangentes... étaient données en entier, en rapport avec l'unité de longueur de référence ou *sinus total* valant suivant la précision de la table, 60 000 (Ptolémée pour les cordes), 10^6 et jusqu'à 10^{10} .



BNP Univ. Strasbourg

Fig.11. Soyez aux anges avec l'arbalestrille comme dans Harmonia Macrocosmica d'Andreas Cellarius (1660).

Quelques livres très intéressants et d'époque.

Ces textes en ancien français et caractères d'imprimerie sont accessibles à la lecture sans difficultés après quelques temps d'accoutumance.

[1] *Cosmographie, ou description des quatre parties...* Pierre Apian corrigée et augmentée par Gemma Frison 1586. (Parmi de nombreuses autres éditions).

[2] *Nouveau traité de Navigation* Bouguer Pierre 1753

[3] *Traité de la construction et des principaux usages des instrumens de mathématique* Bion Nicolas (1652-1733) Éditions multiples 1709, 1723, 1752, etc.

[4] *Traité de Navigation* Jean-Baptiste Denoville (1732-1783). Livre manuscrit de la Bibliothèque Municipale de Rouen réédité chez Éd. Point De Vues sous forme de fac-similé par l'ASSP-Rouen avec de nombreux documents sur le site <http://assprouen.free.fr/denoville/>

[5] *Institutiones astronomicae & geographicae*, Metius, 1621 (en allemand d'époque). Livre très intéressant par les dessins de nombreux instruments d'usage astronomique et géométrique.

[6] *Arithmeticae libri duo : geometriae septem et viginti* P. Rami ou Pierre de La Ramée Ramus (dit Petrus.) 1559 (en latin). <http://docnum.u-strasbg.fr/cdm/compoundobject/collection/coll7/id/41040/rec/53>

À part les textes de Denoville, tous ces livres se trouvent sous forme de fichier PDF dans les grandes librairies numériques : Gallica, E-rara, Google Books et pour certains, en meilleure définition à la Bibliothèque numérique patrimoniale de l'Université de Strasbourg (<http://docnum.u-strasbg.fr/cdm/>).

Sur le Web

L'arbalestrille dans les pages du site *Mesurer le Ciel et la Terre* : <http://www.astrolabium.be/mesurercieletterre/Arbalestrille>

Documents complémentaires à télécharger sur les pages de la Formation Continue de l'Observatoire de Lyon : www-obs.univ-lyon1.fr/labo/fc/navigation/astronavig.htm et plus particulièrement sur <http://www-obs.univ-lyon1.fr/labo/fc/navigation/arbalestrille> : la fiche bristol, la fiche conseil de montage, et les textes originaux et interprétés pour l'arbalestrille selon Denoville.

À noter aussi "astronomy picture of the day" du 28/10/13 apod.nasa.gov/apod/ap131028.html avec arbalestrille et grande comète de 1680. ■