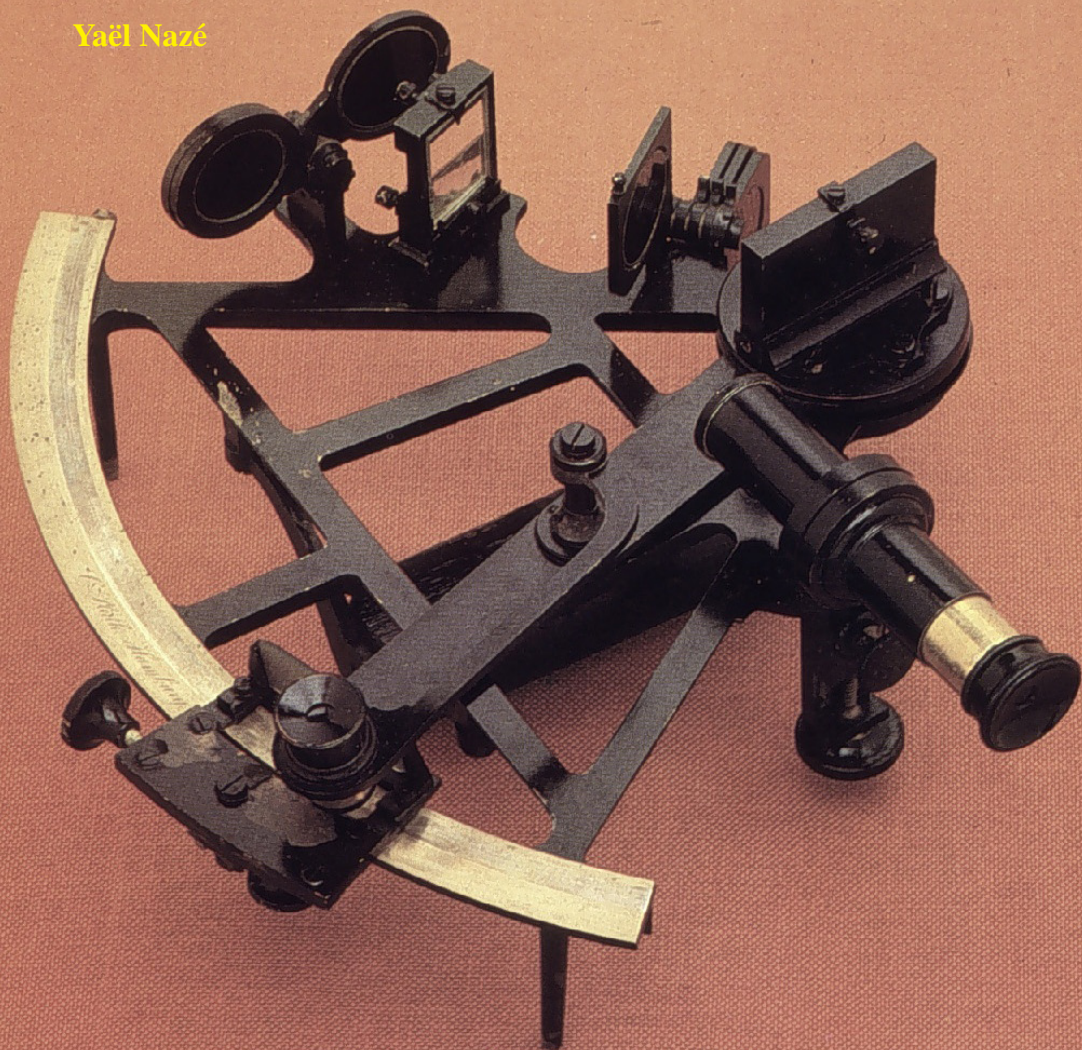


Instruments anciens

# Mesures d'angles

Yaël Nazé



Ah, les angles, une unité de base en astronomie... Par le passé, mesurer le ciel voulait bien dire évaluer des positions, et ce pour les étoiles, les planètes, la Lune ou encore le Soleil. Sans une jauge angulaire appropriée, comment trouver sa position en voyage ? Sans les mesures angulaires de Tycho Brahe, comment Kepler aurait-il pu établir ses célèbres lois décrivant les orbites planétaires ? Mais si l'intérêt est évident, la mesure, elle, ne l'est pas nécessairement. Plusieurs instruments permettent toutefois de se lancer dans cette aventure qui constituait l'ordinaire des astronomes et navigateurs anciens : arbalestrille, kamal, quartier de Davis, et la série des arcs de cercle (quadrant, sextant, octant).

### 1. Arbalestrille

L'arbalestrille tire son nom de sa forme d'arbalète. En effet, elle est constituée de deux bâtons perpendiculaires : la flèche de bois, graduée en degrés, et le marteau, plus petit et qui coulisse sur la flèche. On l'appelle aussi « cross staff » (puisque'il s'agit d'une « croix ») ou « bâton de Jacob ». Ce dernier nom, très populaire, possède une origine plutôt mystérieuse car il pourrait s'agir du nom de son inventeur, ou d'une allusion au patriarche biblique qui aurait, d'après la Bible, « traversé le Jourdain avec un bâton ». La plus ancienne trace de cet instrument date du début du 14<sup>e</sup>

siècle, sous la plume de Lévi ben Gerson. Elle est ensuite décrite par Jean Werner en 1514, qui propose son utilisation en mer – suite à cela, on la retrouvera dans tous les traités de navigation jusqu'au 18<sup>e</sup> siècle.

Sa construction est très simple pour qui se souvient de ses cours de trigonométrie ; pour les autres, on peut conseiller une méthode de construction géométrique pas très compliquée (Figure 1). Son utilisation ne demande que peu d'efforts : l'œil est placé au bout de la flèche, on fait ensuite coulisser le marteau jusqu'à ce que les deux astres dont on veut mesurer l'écart angulaire soient placés aux deux extrémités du marteau (Figure 2) ; on lit alors la graduation correspondant à la position du marteau, qui donne l'angle cherché. Si l'on désire mesurer la hauteur d'un astre, il suffit de placer une des extrémités du marteau et le bout de la flèche sur un support horizontal, et de faire coulisser le marteau jusqu'à voir l'autre extrémité « toucher » l'étoile désirée (par exemple la Polaire). Toutefois, si l'astre en question est le Soleil, il vaut mieux ne pas viser avec l'œil : dans ce cas, on fait glisser le marteau jusqu'à ce que l'ombre de son extrémité coïncide avec le bout de la flèche. En mer, il est parfois difficile de s'assurer de l'horizontalité d'un support : on vise alors l'horizon avec une des extrémités du marteau (Figure 2).

*Figure 1 : Comment construire son arbalestrille : méthode trigonométrique (à droite) et méthode géométrique (à gauche). Dans ce dernier cas procéder comme suit : tracer un cercle de rayon l ainsi que deux segments parallèles à un rayon et éloignés de m (l et m doivent être dans le rapport des longueurs de la flèche et du marteau de l'arbalestrille); tracer des rayons inclinés d'angles choisis par rapport au rayon principal, et repérer les endroits où ils coupent les segments; vous avez ainsi les graduations associées aux doubles des angles choisis.*

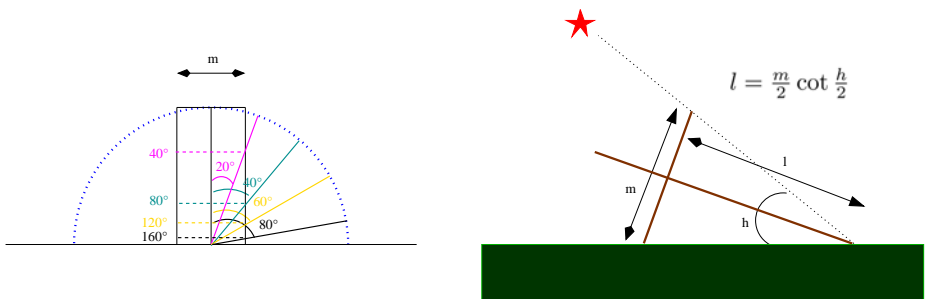


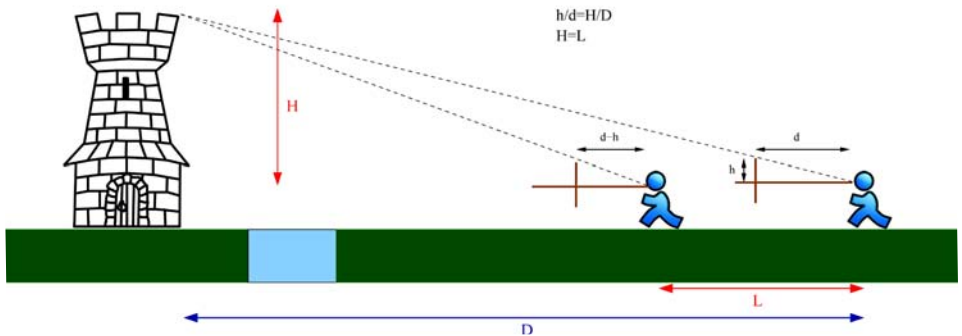


Figure 2 : Utilisation de l'arbalétrille.



Figure 3 : Utilisation terrestre et céleste de l'arbalétrille, dans « Introductio Geographica » d'Apian (1532).

Figure 4 : comment mesurer la hauteur d'un bâtiment ?

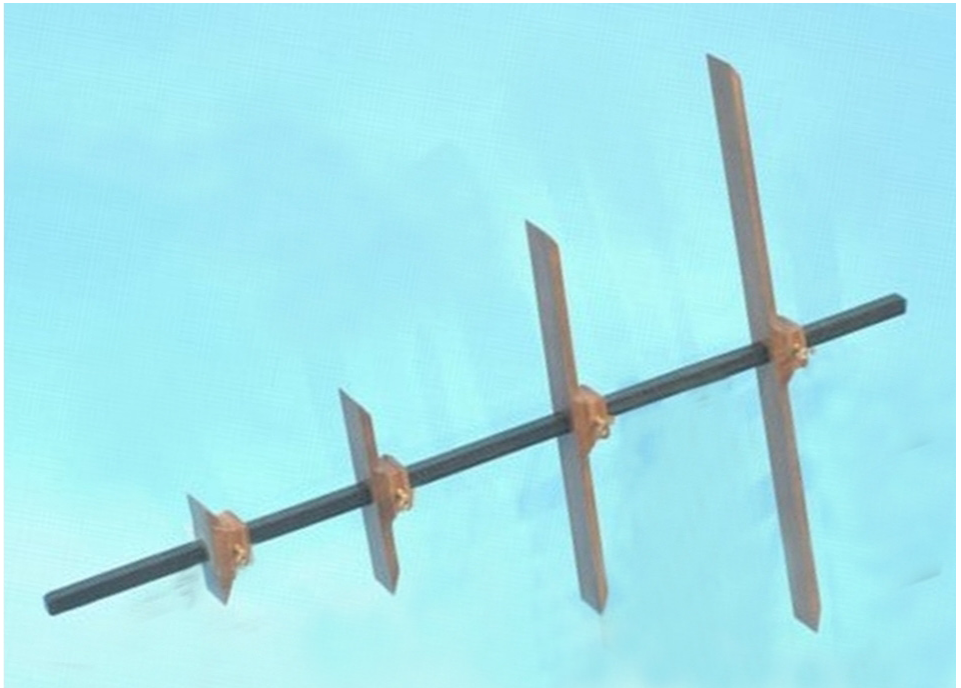


L'arbalestrille ne sert pas que les astronomes et les navigateurs. Les arpenteurs anciens l'utilisaient également (Figure 3). Pour la triangulation, bien sûr, mais aussi pour mesurer la hauteur d'un bâtiment. Ainsi, si l'on désire estimer la hauteur d'un bâtiment, il suffit de se placer à une distance connue de celui-ci, et d'en viser le sommet avec l'arbalestrille : le rapport entre la taille du bâtiment et sa distance vaut le rapport entre la taille du demi-marteau et sa position le long de la flèche (Figure 4). Si le bâtiment est inaccessible, pour une raison quelconque, pas de panique, ça marche aussi ! Il suffit cette fois de viser le sommet depuis une position éloignée, puis d'avancer le marteau sur la flèche de la longueur du demi-marteau, et de se rapprocher ensuite du bâtiment jusqu'à viser le sommet avec cette nouvelle configuration (Figure 4) : la distance parcourue vaut alors la hauteur du bâtiment. Évidemment, on peut viser horizontalement plutôt que verticalement, et détermi-

ner par la même méthode l'écartement entre deux objets situés de l'autre côté d'une rivière, par exemple...

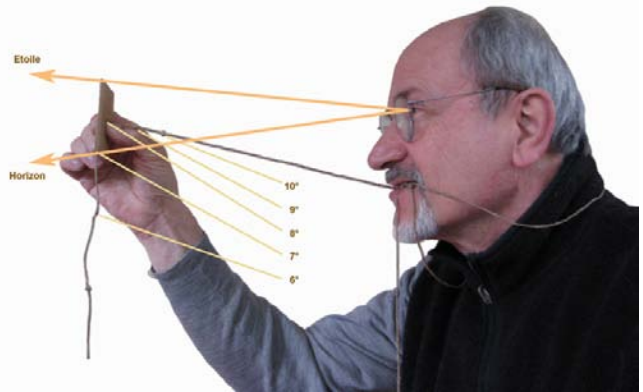
Bien sûr, plus l'instrument est grand, plus il est précis : selon l'utilisation, la taille de ces instruments variait donc, atteignant quatre mètres en astronomie, deux mètres en arpentage et un mètre en navigation. De plus, un petit marteau permettra de mesurer des petits angles et un grand des grands angles : pour avoir une arbalestrille utilisable dans toute situation, plusieurs marteaux étaient mis à disposition des anciens. En général, il y en avait trois (Figure 5), à utiliser avec la graduation adéquate sur la flèche (qui comportait alors une graduation par côté). Le constructeur louvaniste Gemma Frisius proposa une solution alternative avec un seul marteau, mais ce dernier comportait deux viseurs qui peuvent

*Figure 5 : Arbalestrille ancienne.*



être écartés ou rapprochés : cela permet une visée précise et simple, sans besoin de modifier l'outil, mais rend la graduation plus complexe (on ne peut plus graduer directement en degrés, il faut utiliser les formules trigonométriques).

Terminons en signalant un problème pratique : quand on utilise l'arbalétrille, l'œil ne se trouve jamais exactement au bout de la flèche – à moins d'un accident malencontreux ! L'angle mesuré sur la flèche est donc toujours un peu différent de l'angle réel, d'un demi-degré au plus.



**Figure 6 : Utilisation du Kamal**  
(© 2008 Jean-Michel Kalouguine)

## 2. Kamal

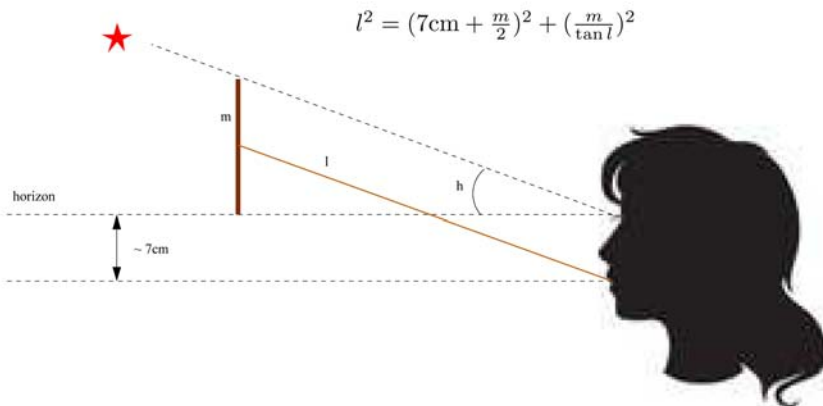
Le kamal est une version simplifiée de l'arbalétrille. Il se compose d'un simple rectangle de bois, percé en son centre, et d'une corde. Pour l'utiliser, il faut tenir verticalement la tablette de bois (qui fait office de marteau) et tendre la corde (qui remplace la flèche de l'arbalétrille) – on tient généralement la corde en bouche (Figure 6). Des nœuds le long de la corde marquent les positions correspondant à différents angles, comme les graduations sur la flèche de l'arbalétrille (Figure 7).

La plupart du temps, un seul nœud était fait sur la corde : il correspondait à la hau-

teur de la Polaire au-dessus de l'horizon telle qu'observée depuis le port à rejoindre. Une fois en mer, il suffisait de mesurer la position de la Polaire en plaçant la partie inférieure de la tablette le long de l'horizon, tandis que la Polaire effleure sa partie supérieure, et en ajustant la longueur de la corde. Si le nœud n'était pas en bouche, alors on ne se trouvait pas à la bonne latitude, et il fallait se déplacer encore pour espérer retrouver le port.

Le kamal est probablement d'origine indienne et date du 9<sup>e</sup> siècle. Il a été utilisé par

**Figure 7 : Relation entre angles et longueurs de cordes pour un kamal.**



les Arabes lors de leurs croisières dans l'océan Indien, et a été ramené en Occident par Vasco de Gama au 15<sup>e</sup> siècle. Il fut cependant peu utilisé en Europe, car sa taille est adaptée à la mesure de la hauteur de la Polaire dans les régions tropicales.

Aujourd'hui, certains adeptes du kayak de mer l'utilisent toujours, pour estimer leur distance à la côte. Il faut dans ce cas viser un objet de taille connue (maison, arbre,...) en ajustant la longueur de la corde. Le rapport entre taille du kamal et longueur de la corde vaut alors quasiment celui entre la taille des objets côtiers et leur distance à l'observateur.

### 3. Quartier de Davis

Mesurer, depuis un navire, la hauteur du Soleil avec l'arbalétrille n'est pas simple, car il ne faut pas se brûler les yeux. Sur terre, on dépose l'arbalétrille sur un support horizontal (cf. ci-dessus) mais cela n'est pas possible en mer : le bateau bouge continuellement, et il faut donc garder l'horizon à l'œil – ce qui est impossible sans viser en même temps le dangereux Soleil...

Pour résoudre le problème, le capitaine John Davis inventa le « backstaff » en 1594

– « back » car on garde le Soleil dans le dos durant la mesure. Aussi appelé quartier de Davis, cet instrument fut utilisé jusqu'à la fin du 18<sup>e</sup> siècle.

Au départ composé d'un seul arc, le quartier de Davis évolua ensuite vers sa forme classique, de précision plus grande, comportant de deux arcs de cercles concentriques, placés côte à côte (Figure 8). Il y a un petit de 60° d'envergure et un grand de 30° d'envergure, tous deux gradués et accueillant une pinnule. En mettant l'œil à la pinnule du grand arc, on vise précisément l'horizon en utilisant le repère placé au centre des cercles. En même temps, on ajuste la position de celle du petit arc de manière à ce que les rayons solaires viennent frapper le repère en question : il suffit alors d'additionner les angles repérés par les pinnules pour avoir la hauteur de l'astre du jour, le tout sans danger pour l'œil du navigateur.



*Figure 8 : Schéma du quartier de Davis (forme typique du milieu du 17<sup>e</sup> siècle).*



**Figure 9 : Un astrolabe nautique du 16<sup>e</sup> siècle, dû à Sancho Gutierrez (Musée des Arts et Métiers, Paris).**



un objet portable, utilisable en toute circonstance, donc assez petit (un mètre maximum), les astronomes cherchent la précision. Les instruments astronomiques pouvaient donc être très grands, quitte à sacrifier leur mobilité (Figure 10) : le grand quadrant mural de Tycho Brahe faisait 2 m de rayon et celui d'Ulug Beg à Samarcande 40 m de rayon, mais aucun des deux ne pouvaient observer l'ensemble du ciel, ils ne regardaient les étoiles que dans un plan bien défini...

Les instruments de marine, sextant et octant, évoluèrent aussi vers une forme plus complexe, comportant des miroirs (Figure 11). L'idée en re-

viendrait à Isaac Newton, mais la réalisation se fit plus tard, au cours du 18<sup>e</sup> siècle. Ces instruments possèdent une petite lunette, qui permet de viser précisément l'horizon. En parallèle, on tourne un alidade relié à un miroir jusqu'à ce que l'image réfléchie vienne se superposer à l'horizon, et on lit alors la graduation. L'intérêt de ces instruments nautiques, comparés au « backstaff », est de pouvoir observer les étoiles et planètes en plus du Soleil. À noter que les astronautes de la mission Apollo ont utilisé les cousins spatiaux de ces instruments, pour peaufiner leur trajet céleste.

Le montage d'un petit quadrant portatif est proposé dans le *Cahier d'exploration du ciel II*.

#### 4. Arcs de cercles

On peut aussi mesurer les angles grâce à des arcs de cercles gradués. Un cercle complet, par exemple, est disponible sur les astrolabes : si l'on réduit ceux-ci à ce seul composant (exit araignée, tympan, heures inégales et carré des ombres), on obtient un astrolabe nautique (Figure 9). Si l'on limite l'arc de cercle à un quart de tour, on obtient un quadrant, à un sixième un sextant et à un huitième un octant. À chaque fois, l'idée est la même : pointer un astre et son collègue ou un astre et l'horizon, puis lire la graduation...

La différence principale entre les instruments de marine et ceux d'astronomie est la taille. Alors que les navigateurs désirent

Figure 10 : Exemples historiques – sextant astronomique et quadrant astronomique.

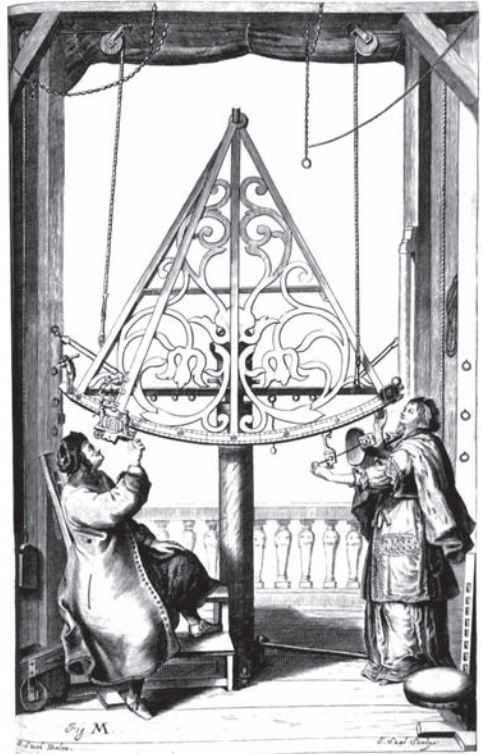
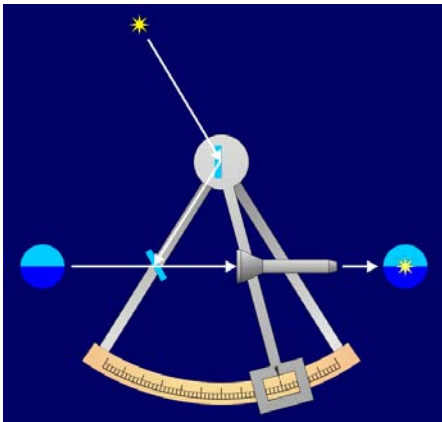
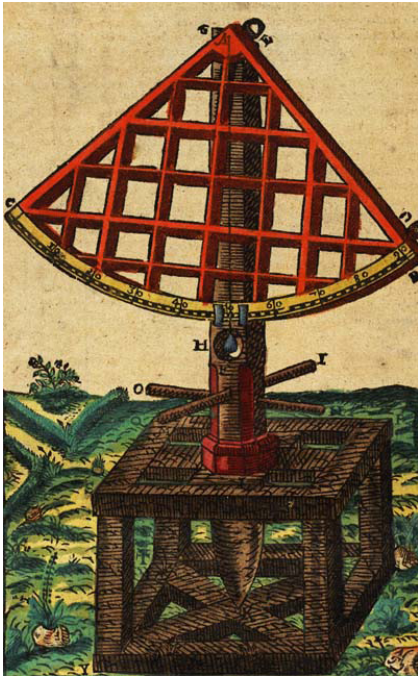


Figure 11 : Schéma et utilisation du sextant de marine (exemple en page de titre).  
Voir animation [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Using\\_sextant\\_swing.gif](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Using_sextant_swing.gif)