

Les secrets de l'astrolabe

Yaël Nazé



Aujourd'hui, on regarde peu le ciel. Pour s'y repérer, celui qui suit la mode chargera une mini-application sur son iphone ou ipad (ou autres du même acabit) qui lui donnera immédiatement la carte céleste de la zone vers laquelle on dirige l'engin, ou l'aspect du ciel à n'importe quelle date et pour n'importe quel lieu. Évidemment, ce genre de gadgets n'existait pas il y a un millénaire, et pourtant, se retrouver dans le ciel était (presque) un jeu d'enfant, car les amoureux du ciel pouvaient compter sur leur ordinateur antique : l'astrolabe (fig. 1).

Les premiers astrolabes, simples, furent construits dans le monde grec antique, quelques siècles avant notre ère. Grandement améliorés dans le monde arabo-musulman au cours du Moyen-âge, ils devinrent des « must » pour les navigateurs et les astronomes, y compris dans les pays occidentaux qui en héritèrent aux alentours du 10^e siècle et l'utilisèrent jusqu'au 18^e siècle. Les premières horloges astronomiques – et peut-être la machine d'Anticythère – s'inspirèrent de cette vedette technologique.

1. De quoi se compose-t-il ?

Cet appareil ressemble un rien à un jeu de lego qu'il faut assembler (fig. 2). Sa structure de base porte le nom de mère ou matrice, et on en utilise chaque côté. Au recto, son bord est gradué en heures. À l'intérieur, elle accueille différentes plaques fines, les tympan. Si l'on y regarde de plus près, on verra que chacune de ces plaques comporte une indication numérique (en degrés), et que leur allure générale change de l'une à l'autre (fig. 9). En fait, chaque tympan correspond à une latitude donnée, et il suffit de choisir le bon pour le lieu où l'on se trouve (cf. ci-dessous). Toutefois, il arrive que le tympan soit unique et fixé à la mère – dans ce cas, l'astrolabe perd ses avantages pour le voyageur... mais reste extrêmement utile pour les calculs astronomiques !

Au-dessus du tympan, on trouve le rete, « filet » en latin. Cette structure arachnoïde (qui lui vaut parfois le nom d'araignée) est en fait une carte du ciel. Chaque « griffe » pointue marque la position d'une étoile brillante (son nom est d'ailleurs indiqué à côté) et le grand cercle de guingois correspond tout simplement à l'écliptique, le chemin du Soleil sur la voûte céleste. Le tout est surmonté d'un marqueur mobile, parfois gradué en degrés et appelé ostenseur.

Sur sa face opposée, la matrice comporte diverses gravures. Le pourtour accueille traditionnellement une graduation angulaire, ainsi qu'un calendrier zodiacal permettant de convertir la date en position du Soleil sur l'écliptique.

Fig 1 : Exemple d'astrolabe (11^e siècle)

commons.wikimedia.org/wiki/Astrolabe



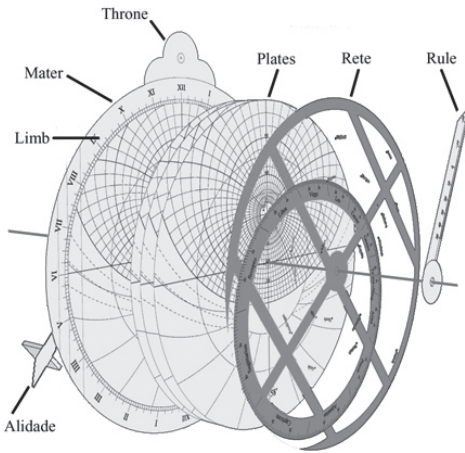


Fig 2 : L'astrolabe décomposé
(astrolabeproject.com/)

Le cercle intérieur est souvent divisé en deux parties, le « carré des ombres » en bas et les « heures inégales » en haut. Cette face comporte également un marqueur mobile, l'alidade. Elle possède un système de visée (fig. 3, droite) qui permet de pointer un astre, Soleil ou étoile, et d'en relever ainsi la hauteur sur l'horizon grâce au pourtour gradué (voir plus loin, fig 11).

En haut, un anneau permet de suspendre l'astrolabe (fig. 3), ce qui facilite les relevés angulaires (on s'assure ainsi de la verticalité de l'appareil au moment des mesures).

2. C'est quoi ces lignes ?

De prime abord, les plaques de l'astrolabe paraissent incompréhensibles, à cause de toutes ces lignes qui s'entrecroisent. C'est pourtant grâce à elles que l'astrolabe devient

un véritable instrument astronomique : il est donc important de comprendre ce qu'elles représentent.

On trouve en fait deux groupes de lignes (fig. 4) : le premier est associé aux parallèles principaux (équateur et tropiques) et est indépendant du lieu, tandis que l'autre représente des repères étroitement liés à l'endroit où l'on se trouve. Le tout est dessiné par projection

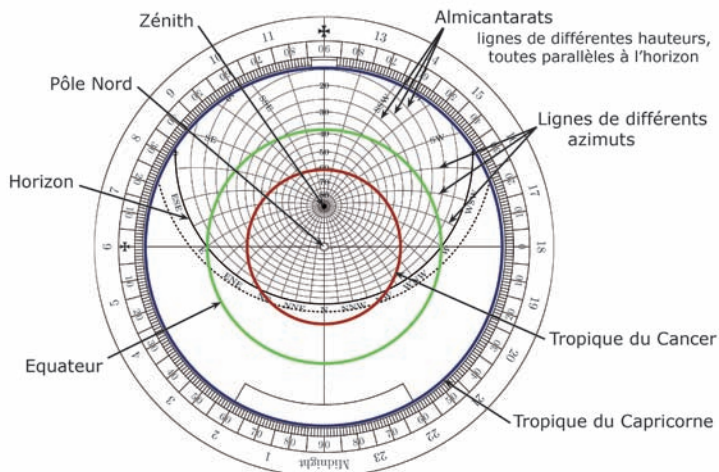


Fig 4 : Ce qu'il y a sur un tympan



*Fig 3 : astrolabe remonté – face avant et face arrière
(Paris, musée de l'Institut du monde arabe, AI 86-45, Legs Destombes)*

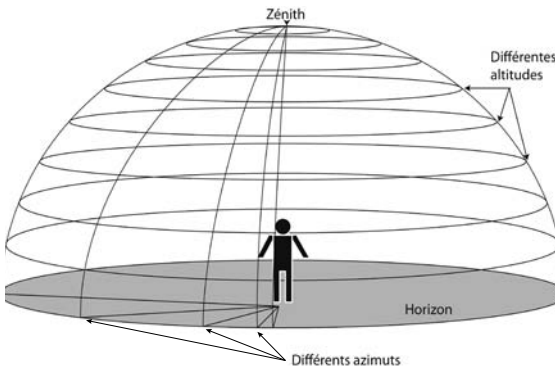


Fig 5 : repères

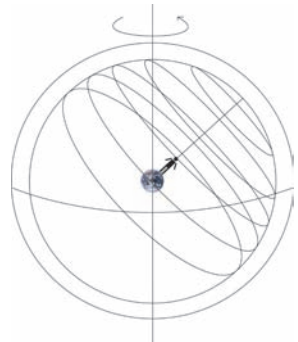


Fig 6 : vue globale

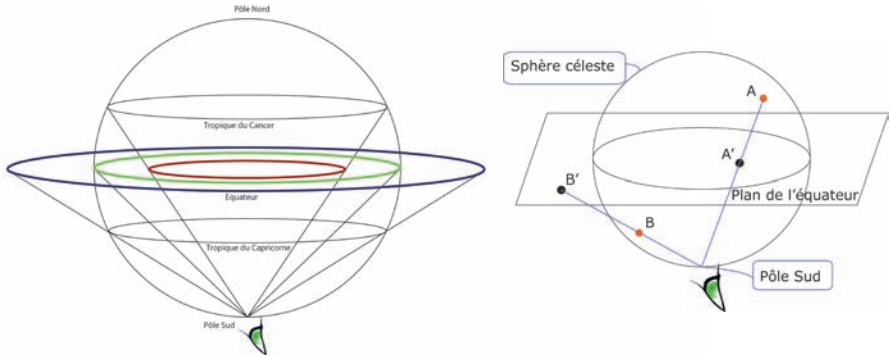


Fig 7 : projection stéréographique – équateurs et tropiques à gauche, étoiles à droite

stéréographique, et une petite explication est bien nécessaire pour comprendre le processus.

Depuis un endroit donné, on peut dessiner sur le ciel (ce que l'on appelle la sphère céleste) des repères particuliers (fig. 5) : l'horizon et le zénith (point situé juste au-dessus de nos têtes), ainsi que des cercles à différentes altitudes au-dessus de l'horizon et/ou des lignes correspondant à différentes directions (ou azimuts – nord, sud, est, ouest, sud-est, etc.). On indique parfois aussi une altitude négative, sous l'horizon : il s'agit de l'arc crépusculaire – quand le Soleil le croise, le crépuscule finit (le soir) ou commence (le matin).

Si l'on regarde la Terre dans son ensemble, l'observateur liégeois

apparaît incliné, et avec lui tous ses repères (fig. 6).

Pour faire la projection stéréographique, il faut s'imaginer au pôle sud (géographique ou céleste), en train de regarder la Terre ou le ciel dans la direction du nord. Tout ce que l'on voit, il faut alors le projeter sur le plan équatorial. Dans ces conditions, l'équateur et les tropiques donnent naissance à trois cercles concentriques (fig. 7), qui seront gravés sur le tympan et ne changent pas d'une plaque à

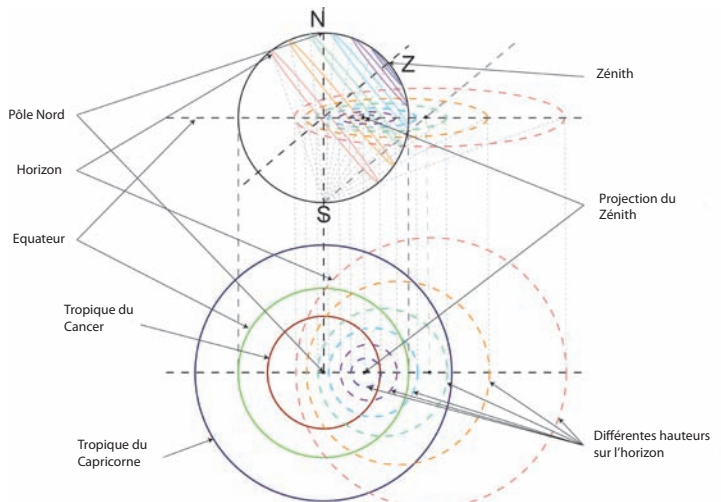


Fig 8 : Projection stéréographique des repères locaux. Ce qui est observable se trouve évidemment à l'intérieur de l'horizon.

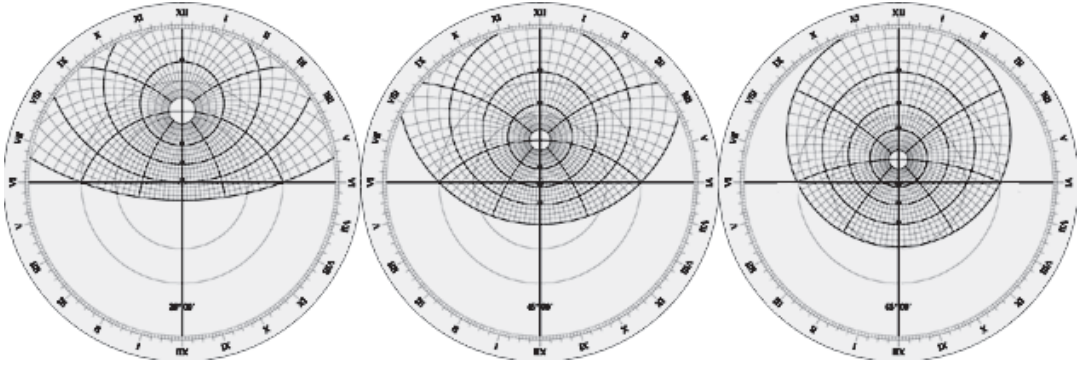


Fig 9 : Tympan pour différentes latitudes (20°, 45° et 65°)
(astrolabeproject.com)

l'autre, tandis que les projections des étoiles brillantes parsèment le plan, formant le réseau du rete (fig. 7).

Dernière étape : projeter cercles d'altitude, arcs d'azimut, zénith et horizon (fig. 8). On obtient ainsi la plaque de l'astrolabe valable pour un endroit donné. Pour les autres positions sur Terre, il faut recommencer le processus en adaptant la latitude (fig. 9). La projection des cercles d'altitude porte le nom d'almicantarats.

3. Comment l'utiliser ?

On ne trouve pas des astrolabes anciens – ou même de bonnes reproductions – à tous les coins de rue, mais divers sites web vous proposent les plans pour en construire un en carton. Trois exemples assez bien faits sont : astrolabeproject.com/build/# , www.pyxplot.org.uk/astrolabe/simplified/ et www.planetarium-provence.com (partie « histoire de l'astronomie » - pour une version simplifiée www.planetarium-provence.com/astrolabe-simplifiee.pdf). On peut également utiliser le logiciel ShadowsPro (www.shadowspro.com). Pour lire la suite et mieux comprendre les diverses fonctionnalités

de l'astrolabe, il serait judicieux d'en réaliser un.

Une fois votre astrolabe prêt, que faire ? L'utiliser, pardi ! Cette merveille technologique est multitâche : l'astronome Al-Sufi en recense ainsi un millier d'utilisations possibles ! Ce ne sont donc pas les possibilités qui manquent... Avant d'expliquer les principes de base de l'astrolabe, précisons une chose : on suppose ici le lecteur familier avec les mouvements apparents des étoiles et du Soleil sur la voûte céleste – il faut avoir au moins une vague idée des changements d'apparence du ciel au cours d'une journée (levers, culminations, couchers) ou de l'année (équinoxes, solstices) pour pouvoir comprendre « comment ça marche »... Au cas où une révision s'impose, consultez par exemple le « Cahier d'exploration du ciel » édité par Réjouissiences...

De quoi avons-nous besoin avant de commencer à utiliser l'astrolabe ? De la latitude du lieu ! En effet, il faut choisir le tympan adéquat... Dans l'hémisphère Nord, cette latitude est facile à évaluer car il suffit de mesurer la hauteur de l'étoile polaire au-dessus de l'horizon. Coup de chance, l'astrolabe permet

justement de mesurer de tels angles (cf. fig. 11). On supposera donc cette valeur connue dès le départ – pour rappel, la latitude de la Belgique est d'environ 50°N.

Que peut alors nous indiquer l'astrolabe ? Pour le savoir, il suffit de revenir à la description et à la projection expliquées ci-dessus. Les arcs gravés sur le tympan indiquent la hauteur sur l'horizon ainsi que l'azimut ; le pourtour contient les heures¹ ; le rete donne la position des étoiles ainsi que celle du Soleil (quelque part sur l'écliptique, en fonction de la date). Bien sûr, il ne faut pas oublier que le rete peut tourner autour de l'axe polaire... Quelque part, c'est un peu comme une grande carte du ciel : on fait tourner la carte céleste pour faire

correspondre date et heure, de manière à tenir compte de la rotation de la Terre sur elle-même et autour du Soleil.

Tout est donc en place pour utiliser l'astrolabe. Rappelons que quatre informations sont disponibles – date, heure, hauteur sur l'horizon et azimut – et si l'on en connaît deux, on peut trouver les deux autres.

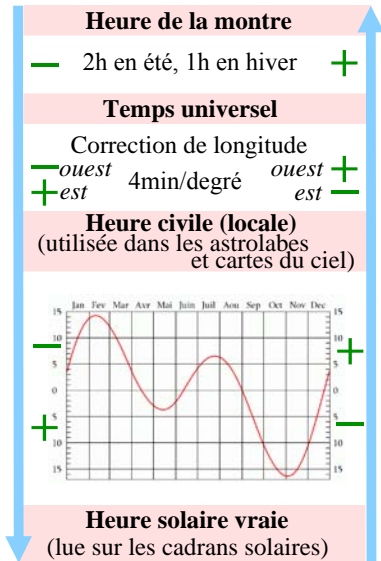
Par exemple (fig. 10), supposons connaître la date ainsi que la hauteur ou l'azimut d'un astre : à quel moment cela se produit-il ? Facile ! Tournez le rete jusqu'à « voir » l'événement sur l'astrolabe – le Soleil qui se lève en croisant la ligne d'horizon côté est, Aldébaran qui se couche en croisant cette même ligne côté ouest, Deneb qui s'élève de 20° au-dessus de l'horizon (position sur l'almicantarat 20°), ou encore Bételgeuse qui se trouve exactement au sud-est (position sur l'arc correspondant à cet azimut). Positionnez ensuite l'ostenseur pour qu'il pointe la position du Soleil sur l'écliptique (soit la « bonne » date) : le bout de l'ostenseur indique alors l'heure de l'événement sur le pourtour gradué !

De même, si l'on connaît la date et l'heure, on déterminera la position de tous les astres indiqués sur le rete. Tournez le rete et l'ostenseur de sorte que la position du Soleil sur l'écliptique soit en face de l'heure choisie. Lisez ensuite sur le tympan les hauteurs et azimuts de toutes les étoiles...

Vous cherchez la hauteur maximale d'une étoile, ou l'excursion en hauteur du Soleil au cours de l'année ? Facile, tournez le rete jusqu'à ce que l'étoile ou l'écliptique croise le méridien céleste de référence – soit l'azimut sud dans l'hémisphère Nord – et regardez alors à quel almicantarat cette position correspond...

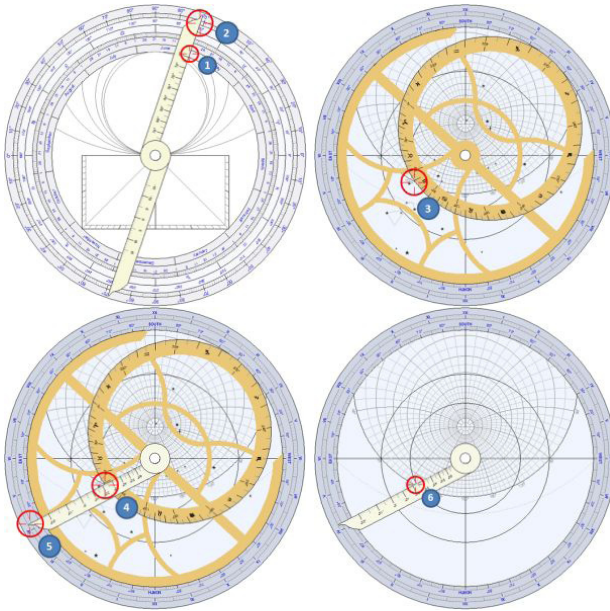
L'astrolabe aime aussi les tâches très complexes. Amateur éclairé ou professionnel de l'astro, vous voulez connaître les coordonnées d'un astre (ascension droite et déclinaison) ? Très simple... Tout d'abord, l'ostenseur est souvent gradué : il s'agit en fait des déclinaisons des astres, soit la distance angulaire à l'équateur céleste ou le complément de la distance angulaire au pôle céleste. Pour connaître la déclinaison d'un astre en particulier, il suffit donc de tourner

¹ L'heure dont il est question n'est pas l'heure de la montre. Il faut en effet utiliser le temps universel et non l'heure de la montre (ce qui nécessite une correction différente en été et en hiver), puis corriger du fait que l'on ne se trouve pas exactement sur le méridien de Greenwich, mais à environ 5° de longitude est. Ce sont les mêmes corrections que pour une carte du ciel. Enfin, pour ce qui concerne la véritable position du Soleil dans le ciel, il faut en plus tenir compte de l'« équation du temps », correction liée à l'excentricité de l'orbite terrestre et l'obliquité de notre planète.

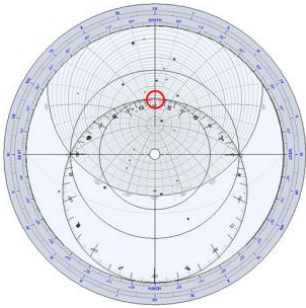


(adapté de www.planetarium-provence.com)

Fig. 10 : Quelques exemples de calculs avec l'astrolabe



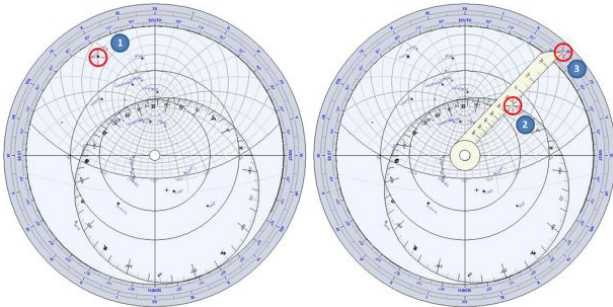
A) Quels sont l'heure et l'azimut du lever de Soleil à une date donnée (par ex. le 1^{er} juin) et un lieu donné (par ex. Paris) ?
 Tout d'abord, regardons sur la face arrière à quel « signe » sur l'écliptique correspond cette date : il suffit de pointer celle-ci avec l'alidade (1-2 : on trouve 71° de longitude écliptique ou 11° dans les Gémeaux). Ensuite, on retourne l'astrolabe et on amène cette position de l'écliptique sur la ligne d'horizon, côté est (3). On tourne l'ostenseur jusqu'à ce qu'il marque cette position (4), et on lit dans le prolongement l'heure (5). Enfin, on lit l'azimut en regardant où cela s'est produit sur l'horizon (6 : on trouve 35° au nord de l'est).



B) Quelle est la hauteur maximale du Soleil en un lieu donné ?

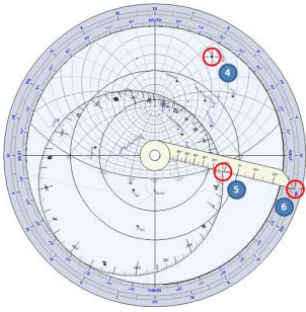
Dans l'hémisphère Nord, les astres culminent au sud. Tourner le rete jusqu'à avoir le cercle écliptique le plus proche du pôle dans cette direction. Il suffit alors de lire la hauteur sur les almicantrats. Vous ne serez pas surpris si, en convertissant la longitude écliptique du Soleil pour cet événement, vous tombez sur une date égale au 21 juin...

Dans le cas d'une étoile, le raisonnement est identique, mais la date n'a que peu d'importance.

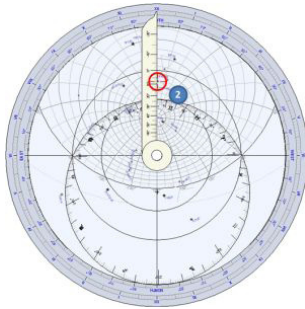
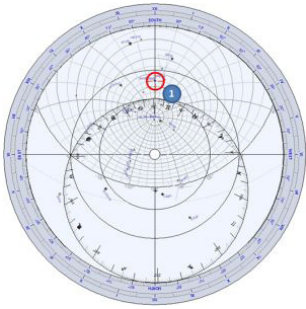


C) À quelle heure un astre atteint-il une altitude donnée en un jour donné et un lieu donné ?
 Soit par exemple le cas de Sirius, observé à 35° de hauteur depuis le Caire, un 20 avril. Après avoir trouvé la position de l'écliptique correspondant à cette date (voir exemple A), tourner le rete jusqu'à amener Sirius sur l'almicantrat correspondant à 35° (1).

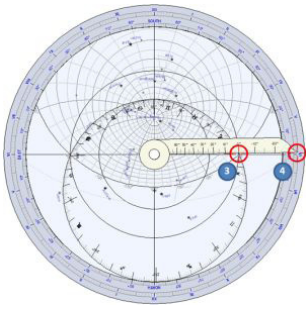
Fig. 10 (suite) : Quelques exemples de calculs avec l'astrolabe



Tourner ensuite l'ostenseur pour voir quelle heure (3) est en face de la position éclipstique du jour (2) : on trouve 15h. Attention, il existe une deuxième solution, si Sirius est observé après son passage au méridien (4-5-6 : on trouve 19h). Les deux solutions correspondent à des azimuts différents (sud-est ou sud-ouest) symétriques par rapport au méridien.



D) Que valent l'ascension droite et la déclinaison d'un astre (par ex. Bételgeuse) ? En tournant le rete, amener l'étoile sur le méridien (1, azimut pile au sud). Aligner l'ostenseur et lire sur sa graduation la valeur de la déclinaison, en degrés (2, environ 8°). Sans bouger le rete, tourner l'ostenseur pour regarder à quelle heure correspond le point vernal (3-4, environ 6h). Rappelons que le point vernal correspond à 0° de longitude éclipstique, 0° du signe Bélier, et est le croisement entre l'équateur et l'éclipstique (équinoxe de printemps).



Les images proviennent de www.shadowspro.com

l'ostenseur jusqu'à le faire toucher cet astre, et la déclinaison se lira juste à côté de l'objet. Ensuite, l'ascension droite... Tournez le rete jusqu'à mettre l'astre au méridien et tournez l'ostenseur pour voir à quelle « heure » correspond alors la position du point vernal (position du Soleil à l'équinoxe de printemps – c'est le croisement entre éclipstique et équateur marquant le début du signe du Bélier) : vous

avez la réponse. Enfin, vous êtes en quête de l'heure sidérale (locale) correspondant à une heure civile (locale elle aussi, cf. fig. de la note) et une date données ? Pas de problème ! Positionnez le rete de manière que le Soleil, pour la date donnée, indique l'heure civile adéquate (vous le vérifiez grâce à l'ostenseur) : lisez alors l'heure correspondant au point vernal, et voilà, c'est tout.

Fig 11 : Peser un astre, c'est en mesurer la hauteur avec l'astrolabe. Attention, pour le Soleil, ne pas regarder directement, mais utiliser les ombres du système de visée.
(d'après www.astrolabes.fr)

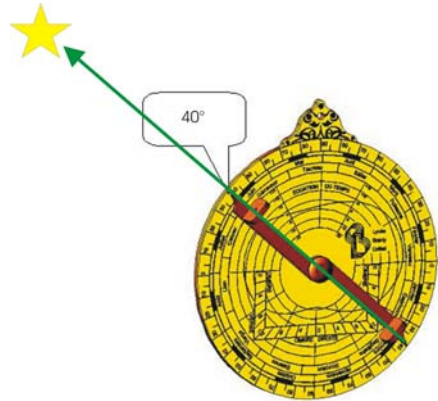
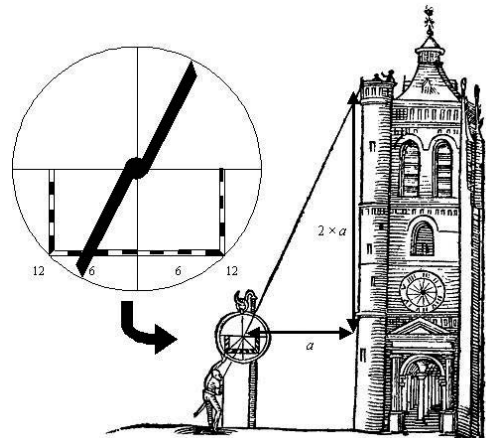


Fig 12 : Mesure de la tangente ou la cotangente grâce au carré des ombres. Visons le sommet d'un bâtiment avec l'astrolabe et relevons la position de l'alidade. La hauteur du bâtiment est estimée grâce à la formule suivante : le rapport entre hauteur du bâtiment et distance à celui-ci vaut le nombre total de graduations (souvent 10 ou 12) divisé par la valeur mesurée sur le côté vertical du carré des ombres (cas d'un angle inférieur à 45°) ou la valeur mesurée sur le côté horizontal du carré des ombres divisé par le nombre total de graduations (cas d'un angle supérieur à 45°) – voir table. Précisons qu'il faut ajouter à la hauteur trouvée, la hauteur entre le sol et l'astrolabe...

(dutarte.perso.neuf.fr/instruments/comment_utiliser_astro.htm)



4. À quoi sert la face arrière ?

En comparaison du recto de l'astrolabe, qui attire les regards par ses lignes entrecroisées et son délicat filet stellaire, le verso semble bien terne. Pourtant, il est très utile !

Commençons par les graduations externes. Si l'écliptique du recto est gradué en signe du zodiaque ou en longitude écliptique, il faut pouvoir convertir la date du jour dans ces unités fantasmagiques : le calendrier zodiacal du verso sert précisément ce dessein. D'autre

part, la graduation en degrés permet de relever la hauteur des astres (fig. 11). Pour ce faire, on vise un astre avec l'alidade², puis, sans en changer la position, on lit à quelle graduation elle correspond sur le bord gradué.

² On peut évidemment pointer directement les étoiles ou la Lune, mais il ne faut surtout pas viser le Soleil ! Pour relever la hauteur de notre astre du jour, il faut utiliser les ombres et aligner l'ombre de la partie supérieure du système de visée de l'alidade avec l'inférieure.

Table : Imaginons un carré des ombres à 12 graduations et un angle de visée supérieur à 45°. Si l'on s'éloigne du bâtiment jusqu'à ce que l'alidade marque 6, la hauteur vaut le double de la distance et si l'on s'arrange pour qu'elle marque 12, la hauteur est alors égale à la distance.

Relevé de l'alidade sur le côté vertical du carré des ombres	distance au bâtiment (qui a 6m de haut)	distance au bâtiment (qui a 12m de haut)
4	2m	4m
6	3m	6m
8	4m	8m
12	6m	12m

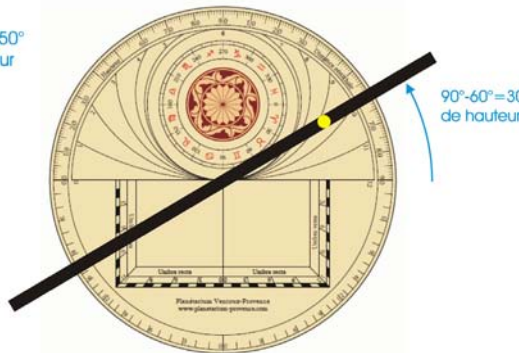
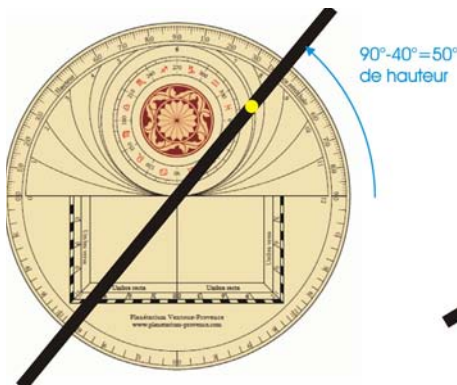
La partie inférieure de cette face arrière est souvent un « carré des ombres », que l'on utilise avec l'alidade. Il s'agit en fait... d'une table de tangentes et cotangentes ! Les côtés sont gradués, souvent en dix ou douze parties ; le côté vertical correspond aux valeurs de cotangentes et le côté horizontal aux valeurs de tangentes. Si l'on tourne l'alidade jusqu'à

indiquer un certain nombre de degrés³, on lira la valeur de la fonction trigonométrique là où le côté opposé de l'alidade croise le carré des ombres (fig. 12). Quelle utilité, à part pour les mathéux dépourvus de calculatrice (ce qui n'était pas rare au Moyen-Âge...)? Eh, bien, il s'agit d'un moyen très simple d'estimer la hauteur d'un bâtiment, par exemple (cf. Table ci-contre). Ajoutons que les astrolabes islamiques comportent souvent dans un des quadrants supérieurs (gauche ou droite) une table des sinus et cosinus : il s'agit simplement d'un quadrillage régulier, et la valeur du sinus et cosinus se lit directement dès qu'on indique l'angle avec l'alidade.

Enfin, la partie supérieure, très jolie avec ses arcs s'ouvrant progressivement, permet de calculer les heures inégales. Pour l'utiliser, il faut d'abord connaître la hauteur du Soleil à midi pour le jour choisi – qu'il est facile de calculer avec la face avant de l'astrolabe (voir section précédente). Il faut ensuite pointer

³ Attention, utiliser la graduation angulaire commençant à zéro sur l'horizontale et 90° sur la verticale, c-à-d celle permettant de mesurer les hauteurs. Si on utilise la graduation inverse (0° vertical, 90° horizontal), les zones où lire tangente et cotangente sont inversées (celle qui donnait la tangente donne désormais la cotangente et vice-versa).

Fig 13 : Calcul de l'heure inégale. Supposons que le Soleil culmine à 50° de hauteur le jour considéré, et qu'on l'observe l'après-midi à 30° d'altitude : l'alidade indique que nous venons juste de commencer la 9^e heure du jour.



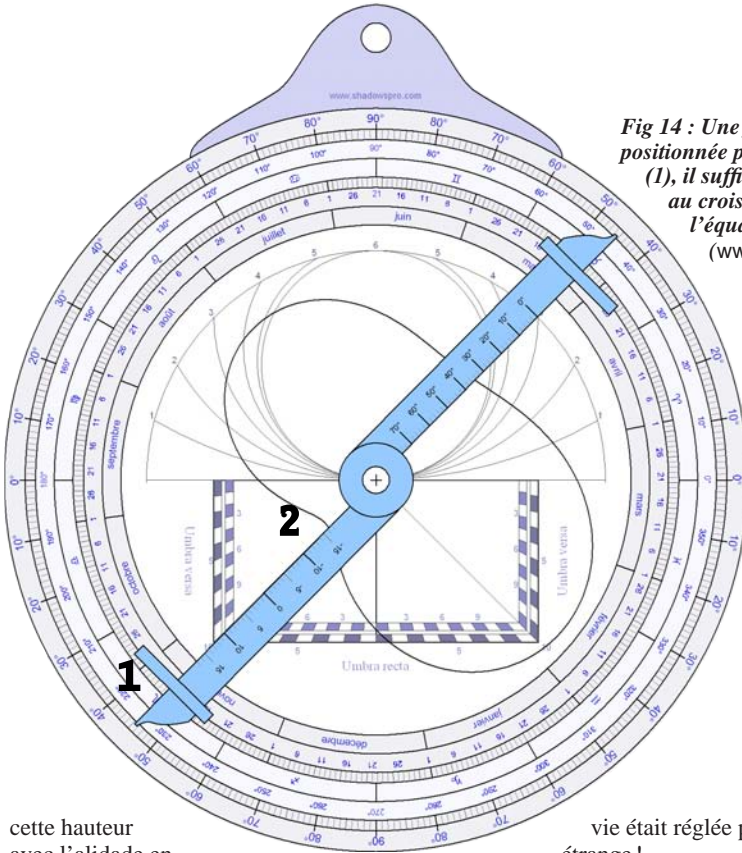


Fig 14 : Une fois l'alidade positionnée pour la date du jour (1), il suffit de lire la correction au croisement avec l'équation du temps (2). (www.shadowspro.com)

cette hauteur avec l'alidade en utilisant le bord gradué, et repérer l'endroit où l'alidade croise l'arc marqué « 6 » – appelons cet endroit X (point clair ci-contre dans la fig. 13). Si l'on mesure ensuite la hauteur réelle du Soleil, il faut voir quel arc la position X croise alors, et l'indication associée à l'arc indique alors l'heure inégale (fig. 13). Bien, mais qu'est-ce que cette heure bizarroïde ? Il ne faut pas oublier que nos ancêtres n'utilisaient pas nos montres aux heures si constantes. Ils divisaient le jour ainsi que la nuit en 6 parties égales : du coup, en été, les heures de jour étaient très longues et celles de nuit très courtes ; l'hiver, c'était le contraire. Ces heures de durée variable sont ces fameuses heures inégales... Pouvoir les calculer, c'était indispensable pour nos ancêtres, dont la

vie était réglée par cette horloge étrange !

Pour terminer sur cette question du temps, ajoutons que certains astrolabes comportent au dos une ligne en forme de rein ou de flageolet qui donne « l'équation du temps » (voir figure de la note) : c'est indispensable lorsqu'on travaille avec le « vrai » Soleil, et non avec une horloge bien gentiment constante. Pour obtenir la valeur de la correction temporelle à appliquer à l'heure solaire, il faut simplement tourner l'alidade jusqu'à ce qu'elle indique la date du jour, et puis noter la valeur lue sur l'alidade (car les alidades portent dans ce cas une graduation en minutes) là où elle croise la ligne en forme de rein (fig 14).

Devant, derrière, tout a été passé en revue. Il ne vous reste plus qu'à vous lancer. Bon amusement avec votre astrolabe !