REPERES - IREM. N° 37 - octobre 1999

L'ASTROLABE

Christian VASSARD
Groupe Astrolabe de l'IREM de Rouen

"...Unique empereur qui tient, en vérité,
Le globe du monde dans sa main..."
Fernando Pessoa
(26 septembre 1928)

Ce poème de Fernando Pessoa est dédié à Henri le Navigateur (1394-1460), roi du Portugal ayant mis en œuvre une politique systématique de reconnaissance des côtes atlantiques de l'Afrique. Or, il se trouve que ces deux vers résument bien la finalité de l'astrolabe : tenir un astrolabe, c'est un peu, comme Henri le Navigateur, tenir le globe du monde dans sa main. *Astrolabe* signifie d'ailleurs étymologiquement *preneur d'étoiles*. Nous nous proposons donc de tenter d'expliquer comment l'on peut, avec un astrolabe, *prendre les étoiles*.

Les astrolabes

Il existe une multitude de sortes d'astrolabes : nous nous attacherons à l'astrolabe astronomique (dont on rencontre encore plusieurs types – astrolabe quadrant, astrolabe universel, etc.), non sans avoir fait un détour par l'astrolabe nautique, qui est une simple adaptation du précédent, faite par les Portugais au XV^{e} siècle.

L'astrolabe nautique

Par opposition à l'astrolabe astronomique, on pourrait qualifier l'astrolabe nautique d'instrument sommaire (figure 1), dans le sens où il n'a qu'une seule fonction : mesurer (en degré) la hauteur d'un astre (étoile ou Soleil) sur l'horizon.

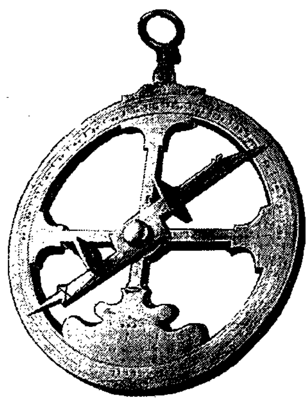

Figure 1. Un astrolabe nautique portugais datant de 1555 (Dundee Art Gallery and Museum).

Mais sommaire ne veut pas dire laid ni d'ailleurs inutile : les marins des Grandes Découvertes ont eu un impérieux besoin de se repérer sur les océans. En mesurant la hauteur d'un astre (étoile polaire ou Soleil au méridien) sur l'horizon, ils déterminaient la *latitude* de leur bateau ; en revanche, ils n'avaient *aucun moyen* de déterminer leur *longitude* (le premier procédé simple apparaît tardivement, à la deuxième moitié du XVIII^{e} siècle, avec l'invention des montres de marine, par l'horloger anglais John Harrison). Bref, il fallait à ces marins une bonne dose de courage, voire d'inconscience, pour se lancer sur les océans. L'astrolabe nautique était donc un instrument précieux et nombre d'entre eux ne sont pas parvenus jusqu'à nous pour s'être usés sur les ponts des navires.

L'astrolabe de mer est un disque de 15 à 30 centimètres de diamètre, lourde plaque de bronze de 15 à 20 millimètres d'épaisseur, évidée dans sa partie haute pour donner moins de prise au vent. L'alidade B (figure 2) porte deux pinnules D et D' par lesquelles on vise l'astre, pendant que l'on tient l'astrolabe par l'anneau A. La visée d'une étoile se fait directement, sans risque pour les yeux (figure 2-1) ; pour le Soleil (trop éblouissant !), il faut impérativement procéder par ombre portée (figure 2-2) : on cherche alors à superposer les ombres des deux pinnules en faisant pivoter l'alidade.

La précision d'une telle mesure est, on s'en doute, très mauvaise : si l'on est adroit, on

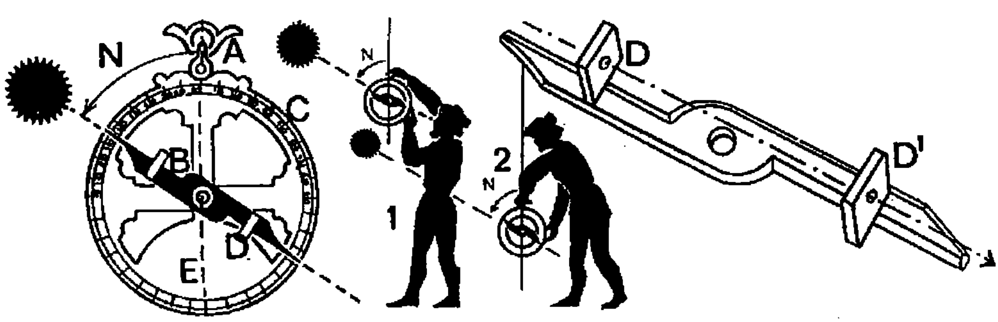

Figure 2. Comment mesurer la hauteur d'un astre sur l'horizon en utilisant un astrolabe nautique (tiré de *L'Antiquaire de marine*).

peut l'estimer à 1°, par beau temps et mer calme (quand cela arrive !). Pour mémoire, 1° de latitude correspond quand même à une centaine de kilomètres...

L'astrolabe astronomique

A première vue, l'astrolabe astronomique (figure 3) lui aussi semble simple : pas de mécanisme complexe ni de système de visée élaboré. Cependant le regard qui s'attarde sur l'instrument devient vite fasciné par ce qu'il voit. L'astrolabe astronomique suscite incontestablement l'émerveillement, car il témoigne à la fois d'une rare maîtrise scientifique, technique et artistique et d'un savoir presque palpable.

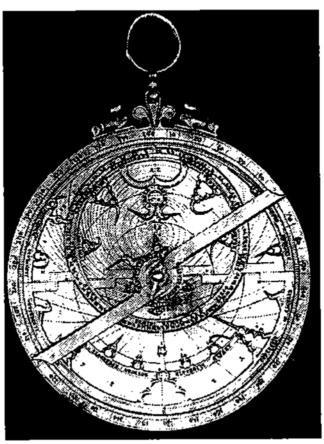

Figure 3. Un astrolabe astronomique (Museum of the History of Science, Oxford).

Commençons par le décrire, en apprenant à nommer ses différentes parties.

La pièce essentielle, comme support à toutes les autres, est la *mère* de l'astrolabe, entourée par le *limbe*. Dans la mère de l'astrolabe, se placent le *tympan* (il change avec la latitude), puis l'*araignée*, finement découpée – à la manière d'une toile d'araignée – car elle ne doit pas gêner la lecture sur le tympan (et c'est dans ce travail de ciselage que le *facteur* d'astrolabe exprime le plus son sens artistique). Un *index* permet de faire les lectures sur l'astrolabe. L'araignée et l'index peuvent tourner autour du centre de la mère.

Sur le dos de l'astrolabe, à peine visible sur la vue éclatée ci-contre (figure 4), nous retrouvons l'alidade et les pinnules de l'astrolabe nautique, dont les fonctions sont d'ailleurs exactement les mêmes sur les deux instruments : quand l'astrolabe est suspendu ou porté par son anneau, elles permettent de mesurer la hauteur d'un astre par rapport à l'horizon.

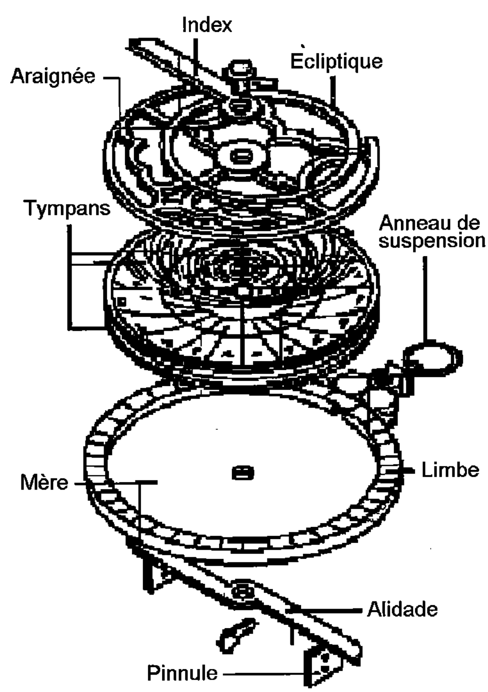

Figure 4. Vue éclatée de l'astrolabe astronomique (*Encyclopédie BORDAS* sur AOL).

Quelques connaissances d'astronomie, utiles à la compréhension de l'astrolabe

L'astrolabe est un instrument ancien, datant, bien qu'aucune certitude ne puisse être établie, du IIe siècle après Jésus-Christ. Il est fondé sur la conception suivante du monde, développée tout au long de l'Antiquité Grecque :

1. la Terre est ronde, ce que l'on sait depuis Aristote ; la fameuse expérience d'Ératosthène (vers 230 avant Jésus-Christ) donne une mesure semble-t-il précise de sa circonférence ; on repère donc un point sur la sphère terrestre à l'aide de ses coordonnées géographiques (latitude et longitude) ;
2. la Terre est au centre de l'univers et le Soleil, en particulier, décrit autour de la Terre une orbite circulaire.

Cette vision, dite *géocentrique*, trouve son apogée avec Ptolémée (IIe siècle de notre ère) : elle a été supplantée par la vision *héliocentrique* de Copernic au XVIe siècle (le Soleil cette fois est placé au centre de l'univers et les planètes, dont la Terre, gravitent autour de lui sur des orbites circulaires), que Képler améliorera encore en introduisant des orbites *elliptiques*. Le géocentrisme est bien sûr mécaniquement incorrect ; cependant, cinématiquement ou géométriquement, il ne pose aucun problème : rien n'interdit donc de supposer que la Terre est fixe dans l'espace, ce que je ferai à partir de maintenant.

La sphère céleste

En parodiant Pascal, on pourrait dire que "c'est une sphère dont le centre est partout et la circonférence nulle part". Observons la voûte étoilée dans un endroit dégagé : tout se passe comme si les étoiles étaient toutes incrustées sur une sphère de très grand rayon (*la sphère des fixes*), ayant pour centre la Terre. Si l'observation se prolonge, il est facile de constater que la sphère des fixes est animée d'un lent mouvement de rotation autour d'un de ses diamètres (*l'axe du monde*) : la rotation complète s'effectue en 23 heures et 56 minutes (*le jour sidéral*). Les peuples de l'hémisphère nord ont très tôt remarqué que cet axe passait par l'étoile Polaire (*pôle nord céleste*).

Le *plan équatorial* est alors le plan perpendiculaire à l'axe du monde et coupant la sphère céleste selon un grand cercle (*l'équateur céleste*) (figure 5).

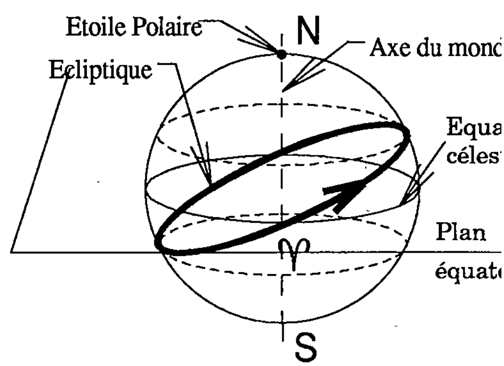

Figure 5. La sphère céleste.

Remarquons enfin que l'intersection du plan équatorial avec la sphère terrestre définit l'équateur terrestre et que l'intersection de l'axe du monde avec la sphère terrestre définit les pôles nord et sud terrestres.

Les étoiles de la sphère des fixes, comme son nom l'indique, sont *immobiles les unes par rapport aux autres* : ainsi par exemple, la Grande Ourse que l'on observe de nos jours se présente dans la même configuration géométrique que dans le passé... La Lune, quant à elle, "se promène" dans la sphère des fixes : elle n'occupe jamais la même place d'un soir sur l'autre par rapport au fond étoilé. Quelques "points lumineux" ont aussi ce privilège de *vagabonder* dans la sphère des fixes, et parfois même de se cacher des observateurs : ce sont les planètes (du grec *planêtês* vagabond), dont cinq sont visibles à l'œil nu (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne).

Enfin, le Soleil lui-même fait aussi partie des *vagabonds* du ciel ; c'est un peu moins flagrant car c'est une lumière si forte qu'elle éteint toutes les autres. Pour mettre en évidence ce mouvement apparent du soleil, il suffit d'observer les premières étoiles qui apparaissent juste après son coucher : sur l'ensemble d'une année, ce ne sont jamais les mêmes. Le soleil semble ainsi décrire en une année un grand cercle de la sphère céleste que l'on appelle *l'écliptique*. Le plan de l'écliptique n'est pas confondu avec le plan de l'équateur : l'écliptique coupe l'équateur céleste en deux points, dont l'un est appelé le point γ (figure 5), correspondant à la position du Soleil à l'équinoxe de printemps.

Ainsi le Soleil parcourt les 360° de l'écliptique en une année (il avance à peu près de 1° par jour). Pour repérer la position du Soleil, on partage l'écliptique en 12 signes (de 30° chacun) : par exemple, le Soleil peut se trouver dans le signe du Cancer à 28°.

La figure 6 donne l'explication héliocentrique du parcours *apparent* du Soleil sur l'écliptique. Ainsi, le 21 mars par exemple, le Soleil semble se trouver dans la constellation des Poissons, alors que le 21 juin, il semble être dans celle du Taureau : nous savons aujourd'hui qu'il n'a pas bougé mais que la Terre s'est déplacée sur son orbite, offrant à des dates différentes de l'année

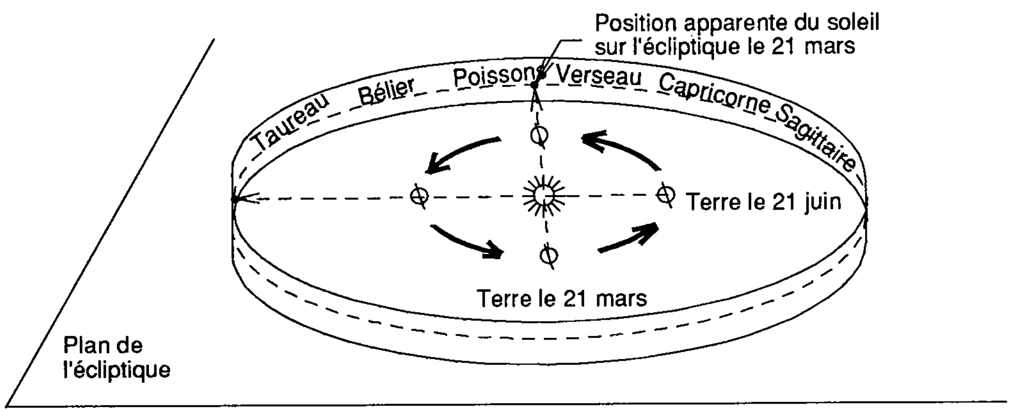

Figure 6. Parcours apparent du soleil sur l'écliptique : l'explication héliocentrique.

des points de vue distincts sur le Soleil. Concrètement, l'écliptique matérialise le plan formé par le Soleil et la trajectoire annuelle de la Terre autour du Soleil ; à très peu près, la Lune et les planètes se déplacent également dans ce plan. Fin de la parenthèse héliocentrique...

Un des problèmes les plus anciens de l'astronomie a été de dresser des catalogues d'étoiles et de repérer leur position sur la sphère des fixes. Une étoile est repérée par son *ascension droite* α (équivalente à la longitude sur Terre) et sa *déclinaison* δ (équivalente à la latitude sur Terre). La déclinaison est mesurée par rapport à l'équateur céleste ; pour l'ascension droite, il faut définir un "méridien" origine : c'est par convention le méridien passant par le point γ, défini plus haut (figure 7).

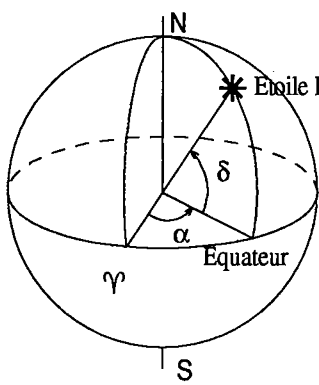

Figure 7. Les coordonnées équatoriales d'une étoile *E*.

Par exemple, l'étoile Sirius, qui est la plus lumineuse de la voûte céleste, a pour ascension droite 6h 45min 9s tandis que sa déclinaison vaut −16° 42' 58" (remarquer les unités utilisées !) : cette valeur négative indique qu'elle est située légèrement sous l'équateur céleste, dans l'hémisphère austral.

La sphère céleste locale

Chaque observateur, suivant sa position sur la Terre, a sa propre vision de la sphère céleste : on parle alors de sphère céleste locale (figure 8).

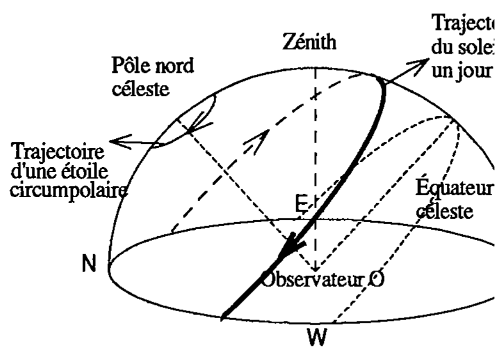

Figure 8. La sphère céleste locale.

L'astronomie pratique se fait bien sûr au niveau local, et ce ballet des astres dans le ciel nocturne au-dessus des têtes, a dû intriguer les hommes depuis les temps les plus anciens. Le Soleil se lève *approximativement* à l'est pour se coucher *approximativement* à l'ouest : les étoiles ont un mouvement analogue, sauf les étoiles dites *circumpolaires*, qui semblent décrire des cercles entiers autour du pôle nord céleste, sans jamais se coucher.

On repère les étoiles sur la sphère céleste locale par leurs *coordonnées locales* (figure 9, page suivante), à savoir leur *hauteur* mesurée de 0° à 90° et leur *azimut* mesuré, à partir du sud et dans le sens horaire, de 0° à 360°. Alors que les coordonnées équatoriales sont absolues en ce sens qu'elles sont les mêmes pour tous les observateurs, les coordonnées locales ne sont que relatives et dépendent étroitement du lieu et de l'heure considérée.

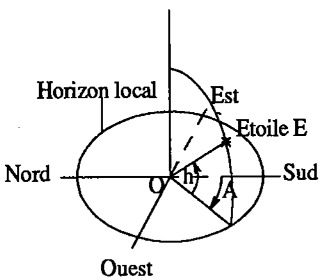

Figure 9. Les coordonnées locales.

L'ensemble des points de la sphère céleste locale ayant une hauteur constante est un cercle que l'on nomme *almucantarat*. Ainsi l'almucantarat 0° n'est autre que l'horizon et l'almucantarat 90° est ce que l'on appelle le *zénith* du lieu d'observation (cercle réduit à un point). A la suite d'une mesure de la hauteur du Soleil avec le dos d'un astrolabe (ou avec un astrolabe nautique), une valeur de 25° par exemple permet d'affirmer que le Soleil se trouve à cet instant précis de sa course, sur l'almucantarat 25°.

De même, l'ensemble des points de la sphère céleste locale ayant un azimut constant est un demi-cercle que l'on appelle... *cercle d'égal azimut.*

On peut donc imaginer tout une série de lignes quadrillant la sphère céleste locale de nos observations astronomiques (figure 10) : il pourrait y avoir tous les almucantarats depuis 0° jusqu'à 90° de 10° en 10° par exemple ; on y verrait aussi tous les cercles d'égal azimut depuis 0° jusqu'à 360° de 10° en 10°. Ce réseau, virtuel, nous permet de repérer les différents objets célestes et de décrire éventuellement leur course : ainsi le Soleil qui se lève franchit l'almucantarat 0° ; en montant dans le ciel du matin, il traverse successivement les almucantarats dans le sens croissant, jusqu'à arriver à midi solaire à sa position la plus haute dans le ciel (on peut préciser sur quel almucantarat) et ainsi de suite...

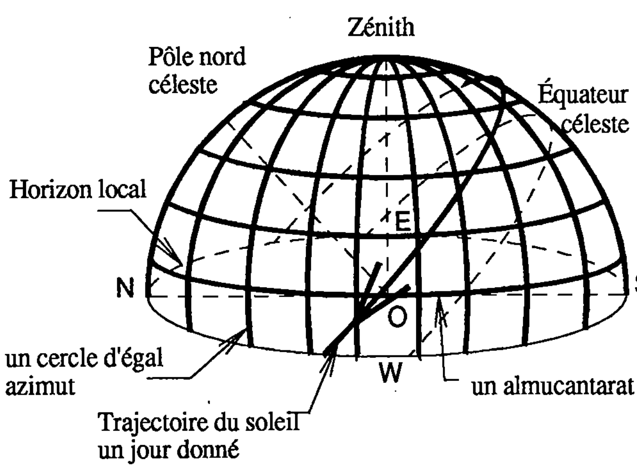

Figure 10. Almucantarats et cercles d'égal azimut.

Idée à suivre... car on retrouve la trace d'un tel réseau d'almucantarats et de cercles d'égal azimut sur les astrolabes astronomiques...

Problèmes posés par la réalisation d'un astrolabe

Comment peut-on représenter, au moyen d'un instrument, l'univers, en conciliant les deux modèles précédents, d'une part celui de la sphère céleste et d'autre part celui de la sphère céleste locale, au besoin régulièrement quadrillée d'almucantarats et de cercles d'égal azimut (figure 11) ?

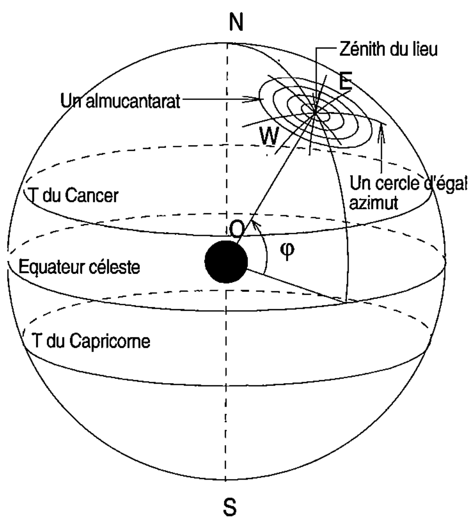

Figure 11. Sphère céleste et sphère céleste locale pour un lieu de latitude : y figurent l'équateur et les tropiques, mais aussi des almucantarats et des cercles d'égal azimut du lieu considéré.

La première idée, la plus naturelle, consiste à représenter chacune de ces deux sphères par des sphères plus petites : on obtient l'*astrolabe sphérique* (figure 12) ou la *sphère armillaire* (figure 13).

L'encombrement se révèle être le princi-

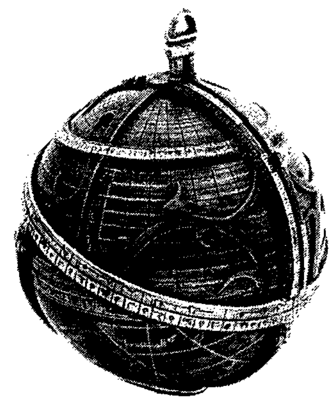

Figure 12. Un astrolabe sphérique (Museum of the History of Science, Oxford).

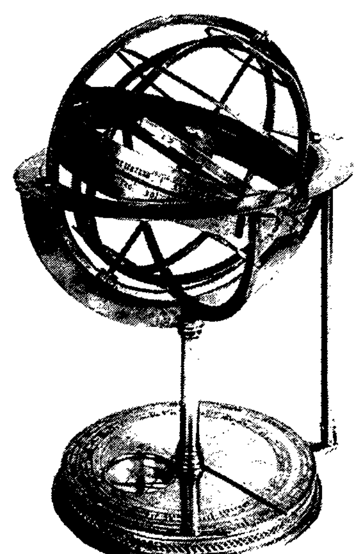

Figure 13. Une sphère armillaire (Museum of the History of Science, Oxford).

pal inconvénient de tels objets. Par ailleurs, les deux sphères doivent pouvoir se déplacer l'une par rapport à l'autre, car, à cause du mouvement journalier de rotation de la sphère des fixes, les positions relatives des sphères célestes et célestes locales ne sont jamais les mêmes. De plus, l'une ne doit pas masquer l'autre : la sphère extérieure est en général une simple structure d'anneaux (d'ailleurs *armilla* veut dire anneau en latin). Bref, toutes ces conditions rendent extrêmement fragile un tel objet, et en tout cas peu adapté à des manipulations fréquentes.

La seconde idée est de passer à une représentation plane et l'on obtient alors l'astrolabe astronomique. On y gagne sur la facilité de transport et la solidité. Mais apparaissent des difficultés mathématiques ardues. Le problème à résoudre est finalement un problème de cartographie : comment peut-on représenter une sphère par un plan ? On sait aujourd'hui qu'une sphère n'est pas une surface développable : autrement dit, il est impossible de la reporter sur un plan sans la déchirer ou l'altérer. Mais en acceptant de perdre des propriétés (c'est le prix à payer), on peut contourner cette difficulté par des méthodes dont certaines sont déjà connues à l'époque de Ptolémée (lui-même grand cartographe) : par exemple, en utilisant la projection stéréographique, étudiée depuis Hipparque.

La projection stéréographique présente deux avantages, essentiels pour ce qui nous préoccupe. Tout d'abord, elle conserve les angles : nous avons vu que les astronomes utilisaient des angles pour repérer les objets célestes. Enfin elle agit simplement, en ce sens qu'elle transforme (la plupart du temps) un cercle en un cercle.

La projection stéréographique

Ou comment "ramener" les points d'une sphère sur un plan... Il est finalement assez naturel de procéder comme le personnage de la figure 14 : un point de la sphère a pour image un point du plan équatorial.

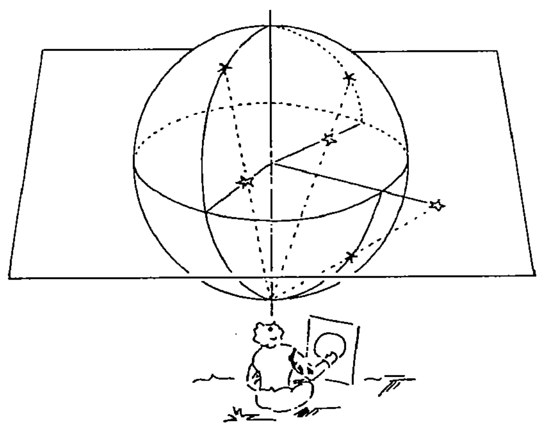

Figure 14. Projection stéréographique de la sphère céleste (tiré de *L'astrolabe* de L Clauss).

Dans tout ce paragraphe, on utilisera les notations suivantes :

(Γ) est une sphère de centre O et de rayon 1 ;
(P) son plan équatorial, E son équateur et S et N ses deux pôles sud et nord.

Définition

On appelle *projection stéréographique de pôle S* la transformation de (Γ) dans (P) qui, à tout point M de (Γ) distinct de S, associe le point M', intersection de la droite (SM) et du plan équatorial (P) (figure 15).

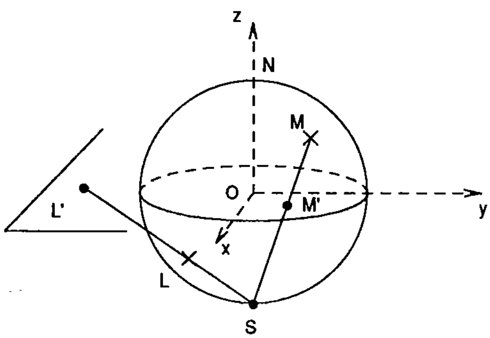

Figure 15. Projection stéréographique de pôle S.

Traduction analytique

Soit $Oxyz$ un repère orthonormé direct dans lequel l'axe Oz est dirigé par le vecteur $\overrightarrow{ON}$. Dans ce repère, la sphère (Γ) a pour équation : $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ et le plan équatorial a pour équation $z = 0$; le point S par ailleurs a pour coordonnées (0,0,–1).

On suppose que le point M a pour coordonnées (x,y,z) et que le point M' a pour coordonnées (x', y', z'). Comme les vecteurs $\overrightarrow{SM}$ et $\overrightarrow{SM'}$ sont colinéaires, il existe un réel k tel que : $\overrightarrow{SM'} = k\,\overrightarrow{SM}$. En passant aux coordonnées, il vient :

$$\begin{cases} x' = kx \\ y' = ky \\ z' + 1 = k(z + 1) \end{cases}$$

Mais nous savons aussi que le point M' est dans le plan (P), donc que $z' = 0$. La troisième égalité écrite précédemment nous donne donc la valeur de k :

$k = \dfrac{1}{z+1}$ ($z \neq -1$ puisque le point M est supposé être distinct du point S)

En remplaçant, on obtient :

$$\begin{cases} x' = \dfrac{x}{z+1} \\ y' = \dfrac{y}{z+1} \\ z' = 0 \end{cases}$$

C'est l'expression analytique de la projection stéréographique de pôle S.

Quelques propriétés immédiates

– L'ensemble des points invariants de la projection stéréographique de pôle S est l'équateur (E) de la sphère (Γ).

– Le point M' est intérieur (*resp* extérieur) à l'équateur si et seulement si le point M est situé dans l'hémisphère boréal (*resp* austral).

– Calculons le produit scalaire

$$\overrightarrow{SM} \cdot \overrightarrow{SM'} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z+1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x/(z+1) \\ y/(z+1) \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$= \frac{x^2 + y^2 + (z+1)^2}{z+1} = 2$$

car $x^2 + y^2 + z^2 = 1$.

La projection stéréographique de pôle sud est finalement la restriction à la sphère de l'inversion de pôle S et de puissance 2.

L'INVERSION

Définition

Soit S un point et k un réel non nul.
On appelle inversion la transformation ponctuelle, qui, à tout point M de l'espace, distinct de S, fait correspondre le point M' de la droite (SM) tel que $\vec{SM}.\vec{SM'} = k$.

Le point S est appelé centre (ou pôle) de l'inversion ; le réel k est appelé la puissance de l'inversion.

Quelques propriétés de l'inversion de centre S et de puissance k.

(P0) Si **$k > 0$, l'ensemble des points invariants est la sphère de centre O et de rayon $\sqrt{k}$. Si $k < 0$, il n'y a pas de points invariants.**

(P1) Une inversion conserve les angles.

(P2) Image d'une sphère.

Toute sphère passant par S se transforme en un plan ne passant pas par S

Toute sphère ne passant pas par S se transforme en une sphère ne passant pas par S.

(P3) Image d'un plan.
Tout plan passant par S est globalement invariant.

Tout plan ne passant pas par S se transforme en une sphère passant par S.

Propriétés de la projection stéréographique

a) Il résulte de la propriété (P1) que **la projection stéréographique conserve les angles** : c'est essentiel car toute mesure d'angle faite sur l'astrolabe sera valide dans la réalité et réciproquement.
b) Image d'un cercle de la sphère.

Théorème

Soit (C) un cercle de la sphère (Γ) :
s'il passe par S, son image est une droite de (P) (figure 16) ;

s'il ne passe pas par S, son image est un cercle de (P) (figure 17 page suivante).

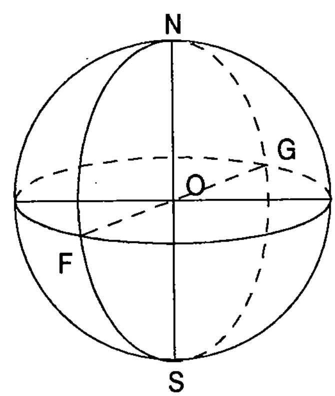

Figure 16. Image d'un cercle passant par S.

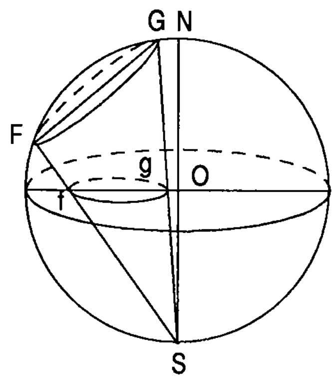

Figure 17. Image d'un cercle ne passant pas par S.

Démonstration

(C) peut être considéré comme l'intersection de la sphère (Γ) et d'un plan (Q), qui est le plan du cercle. L'image de (C) est donc l'intersection de l'image de la sphère (c'est-à-dire (P)) et de l'image du plan (Q).

Si le cercle (C) passe par S, le plan (Q) passe aussi par S et il est globalement invariant par la projection stéréographique (propriété P3). L'image de (C) est donc l'intersection de (P) et de (Q) : c'est bien une droite du plan (P).

Si le cercle (C) ne passe pas par S, le plan (Q) lui-même ne passe pas par S et l'image du plan (Q) est une sphère (Λ) passant par S (propriété P3). L'image du cercle (C) est cette fois l'intersection de (P) et de (Λ) : c'est bien un cercle du plan (P).

Descriptif des différentes pièces

Avant de voir comment on peut utiliser un astrolabe, et tenant compte de ce qui a été dit précédemment, nous allons maintenant donner un descriptif plus détaillé des différentes pièces de cet instrument.

Tout d'abord, quel est en général sa taille ? Nous savons qu'un astrolabe doit être petit, pour demeurer maniable, mais pas trop, pour ne pas nuire à la précision des tracés et des lectures. Ordinairement, les diamètres peuvent aller de 100 à 300 millimètres.

Le tympan

On commence par placer l'équateur céleste et les tropiques (figure 18) : l'équateur EE' est invariant et se projette en le

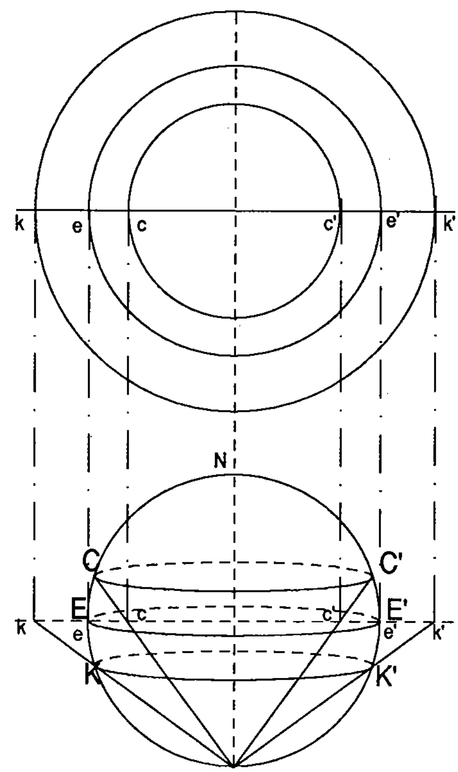

Figure 18. L'équateur céleste et les tropiques sur un tympan d'astrolabe.

cercle de diamètre [ee'] ; le tropique du cancer CC' se projette en le cercle de diamètre [cc'] et le tropique du capricorne KK' se projette en le cercle de diamètre [kk']. Ce cercle est la limite extérieure du tympan de l'astrolabe et c'est lui qui détermine la taille finale de l'instrument ; remarquons aussi que l'on choisit de ne pas représenter la partie de la sphère céleste située sous le tropique du Capricorne.

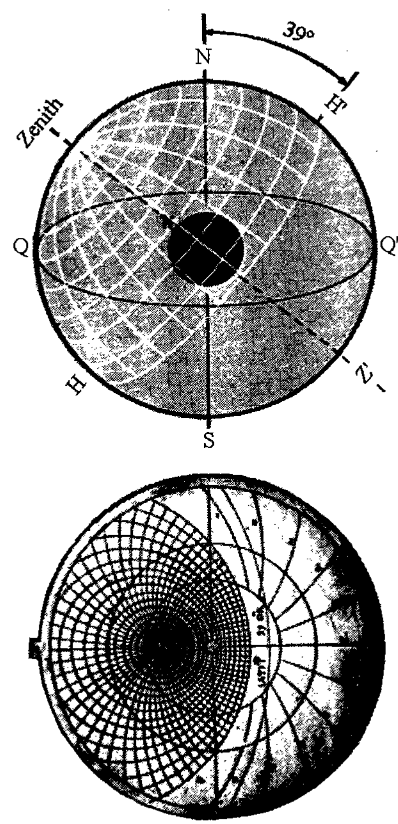

Figure 19. Almucantarats et cercles d'égal azimut pour un lieu de latitude 39° ; tympan correspondant (tiré de *The Planispheric Astrolabe*, National Maritime Museum, Greenwich).

On place ensuite les almucantarats (ou cercles d'égale hauteur) et les cercles d'égal azimut : comme projetés de cercles, ce sont encore des cercles, mais plus difficiles à tracer cependant que l'équateur ou les tropiques (figures 19 et 20). Puisqu'il comporte des almucantarats et des cercles d'égal azimut (c'est-à-dire des tracés essentiellement *locaux*), **le tympan dépend étroitement de la latitude du lieu considéré :** l'astrolabe astronomique n'est donc pas un instrument de navigation... Il est cependant facile de changer de tympan quand on change de lieu d'observation ; on peut ainsi avec un même instrument travailler à des latitudes différentes.

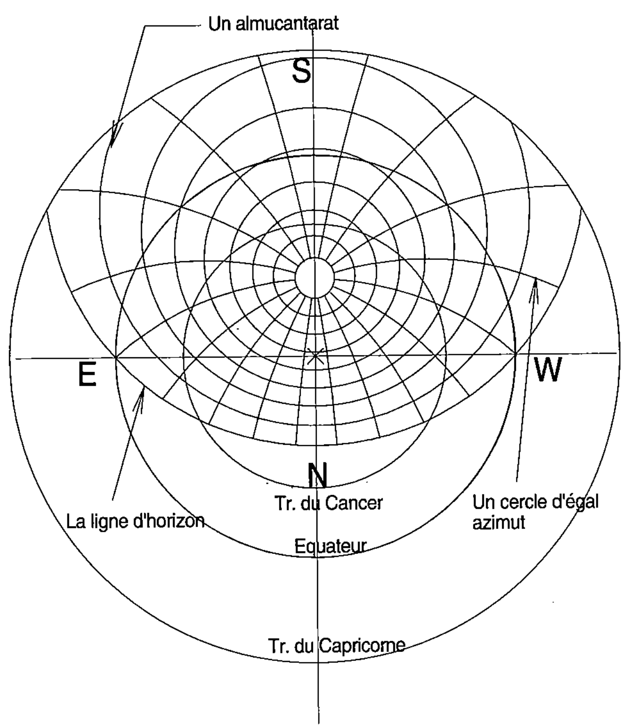

Figure 20. Le tympan de l'astrolabe, pour une latitude donnée.

L'araignée

L'araignée (figure 21), quant à elle, est universelle : elle est la trace simplement de quelques étoiles de la sphère des fixes, ainsi que de l'écliptique, c'est-à-dire de la trajectoire annuelle apparente du Soleil (qui est un cercle).

Le tracé de l'écliptique est basé sur le fait que ce cercle est tangent à la fois au tropique du Cancer et du Capricorne (revoir la figure 5). L'écliptique comporte les douze signes du zodiaque, partagés chacun en 30°, qui nous permettent de repérer la position du Soleil en fonction du jour de l'année.

Quelques étoiles enfin sont disposées sur l'araignée d'après leurs coordonnées équatoriales.

Le limbe

A part l'équateur céleste et les tropiques, on ne trace pas d'autres "parallèles" sur l'astrolabe, dans le but de ne pas surcharger inutilement l'instrument. Qu'en est-il des "méridiens" ? En tant que demi-cercles passant par S (et N), on sait qu'ils se projettent suivant une demi-droite passant par O. Ces demi-droites ne figurent pas sur le tympan de l'astrolabe mais on retrouve leur trace sur le limbe : comme c'est sur le limbe que s'effectueront certaines lectures, il est donc en général gradué à la fois en degré, pour les mesures d'angles et en heure, pour les mesures de temps (360° pour 24 heures donc 15° par heure ; le midi correspond à la partie sud du limbe).

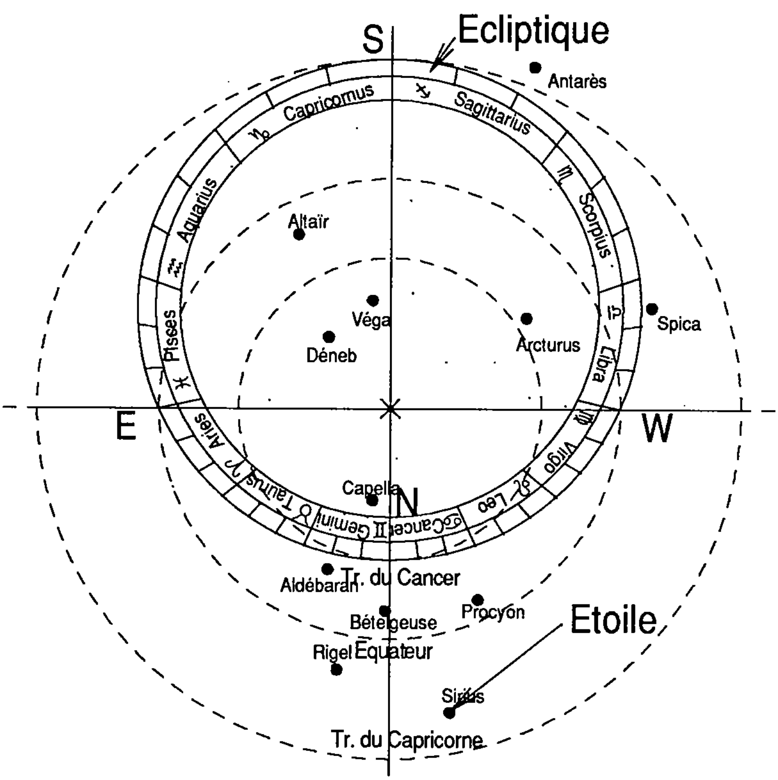

Figure 21. L'araignée de l'astrolabe.

Le dos de l'astrolabe

Le dos de l'astrolabe comporte principalement le calendrier zodiacal et le cercle du calendrier annuel. Le rapprochement des deux permet de déterminer la position du Soleil sur l'écliptique en fonction de la date de l'année.

C'est aussi avec l'alidade du dos de l'astrolabe que l'on mesure la hauteur d'un astre sur l'horizon.

Utilisation de l'astrolabe
(les résultats dépendant du lieu sont donnés pour une latitude de 48°)

Position du Soleil sur l'écliptique de l'astrolabe

Avant tout travail avec un astrolabe, on doit commencer par déterminer la position du Soleil sur l'écliptique, position que l'on reporte ensuite sur l'araignée de l'astrolabe. On sait que cette position dépend du jour dans l'année.

On utilise pour ce faire le dos de l'astrolabe : sur le cercle annuel, on pointe avec l'alidade la date du jour et on lit la position du Soleil sur le cercle zodiacal. Par exemple, le 25 janvier, le Soleil est à 5° dans le signe du Verseau (Aquarius). Cette détermination étant effectuée, en retournant l'astrolabe, on positionne le Soleil sur l'écliptique de l'araignée (point que j'appelerai A par la suite).

Pour autant, et à cause du phénomène de la précession des équinoxes (découvert dans l'antiquité par Hipparque), le Soleil ne se trouve pas le 25 janvier *effectivement* dans la constellation du Verseau mais environ 29° plus tôt sur le cercle zodiacal c'est-à-dire à 4° dans la constellation du Capricorne. Autrement dit, la position du Soleil sur l'écliptique est purement formelle (elle pourrait d'ailleurs être simplement donnée en degré, entre 0° et 360°) et ne correspond plus, à un décalage près (–29°), à la véritable constellation du zodiaque que l'on peut observer dans le ciel. En fait, cela ne gêne absolument pas le fonctionnement de l'astrolabe...

Principe de l'utilisation

Nous avons vu que la sphère des fixes et la sphère locale changent continuellement de positions relatives : c'est en tournant l'araignée autour du limbe que l'on mettra ces deux sphères dans la disposition où elles se trouvent au moment de l'observation.

Une mesure (hauteur du Soleil ou d'une étoile à un moment donné) permet de placer le Soleil ou l'étoile sur le bon almucantarat du tympan et du même coup, de positionner correctement *l'intégralité de la sphère des fixes* (il faut penser bien sûr à avoir au préalable localisé le Soleil sur l'écliptique).

A partir de là, l'astrolabe devient un modèle réduit de l'univers au moment de l'observation, et permet de réaliser toutes les lectures voulues. Les fonctions décrites ci-après font partie du minimum de ce que l'on peut faire avec un astrolabe : suivant les instruments, et les perfectionnements qu'ils comportent, de nombreuses autres fonctions peuvent être accessibles mais nous ne les aborderons pas dans le cadre de cet article.

Mouvement du Soleil pendant une journée

Le mouvement de rotation de l'araignée (et donc du point A) va en fait simuler la course du Soleil le jour choisi (ici le 25 janvier). Il se lève vers l'est en franchissant l'horizon c'est-à-dire l'almucantarat 0° ; en poursuivant le mouvement de rotation de l'araignée, on voit le Soleil traverser les almucantarats dans le sens croissant (il monte dans le ciel) ; à midi solaire, il atteint sa hauteur la plus élevée (culmination) pour redescendre les almucantarats cette fois dans le sens décroissant (il descend dans le ciel) ; il se couche vers l'ouest en franchissant l'horizon c'est-à-dire l'almucantarat 0°. Sa course n'est alors pas terminée mais comme il est sous notre horizon, on ne le voit plus. Après un tour complet, le Soleil est à nouveau prêt à se lever : il faut cependant penser qu'il a aussi, au cours de son périple journalier, avancé d'environ 1° sur l'écliptique (le point A se décale donc tout doucement).

– Lever du Soleil : on place le point A de l'araignée (5° Verseau dans notre exemple) sur la partie est de l'almucantarat 0°. L'index placé sur le point A permet ensuite d'aller lire sur le limbe l'heure solaire du lever du Soleil (on trouve environ 7 h 10), ainsi que l'azimut de son lever (on regarde sur le *tympan* – pas le limbe ! – le cercle d'azimut correspondant à son lever, ici environ 292°). Remarquons que le Soleil ne se lève presque jamais exactement à l'est (c'est-à-dire à l'azimut 270°), en fait deux fois dans l'année, aux équinoxes...

– Coucher du Soleil : on positionne cette fois le point A sur la partie ouest de l'almucantarat 0°. Comme précédemment, on obtient l'heure du coucher du Soleil ainsi que son azimut.

– La différence entre l'heure du coucher et l'heure du lever donne la durée du jour.

– Culmination du Soleil : la culmination du Soleil est son passage au méridien ; c'est le moment où le Soleil est au plus haut dans le ciel, qui définit le *midi solaire vrai*.

Ceci est matérialisé par le passage au sud (le méridien est un demi-cercle nord-sud de la sphère céleste, se projetant sur l'astrolabe en le segment $[NS]$) et sur l'astrolabe, on constate bien visuellement que le Soleil atteindra à ce moment le point le plus haut de sa course.

Ainsi pour la date du 25 janvier, le Soleil culmine à midi solaire à une hauteur de 27°.

Ceci explique aussi (voir plus haut) que le limbe (trace des méridiens de la sphère céleste) soit lui-même gradué en heures en plaçant 12 heures au sud.

Détermination de l'heure diurne

L'astrolabe permet de déterminer l'heure (solaire), à tout moment d'une journée, pourvu qu'elle soit ensoleillée, et qu'on en connaisse la date (pour fixer les idées, nous supposerons que nous sommes comme précédemment le 25 janvier et que le point solaire A a été repéré sur l'araignée).

Le principe est alors simple : on mesure la hauteur du Soleil avec l'alidade du dos de l'astrolabe (par exemple 15°) ; le Soleil se trouve donc sur l'almucantarat 15° ; en retournant l'instrument, on fait pivoter l'araignée jusqu'à ce que le point A soit placé sur l'almucantarat 15° (il y a deux possibilités, une le matin et une autre l'après-midi, et il faut donc repérer si le Soleil lors de la mesure était dans sa phase montante ou descendante). L'index amené sur le point A permet de lire (sur le limbe) l'heure solaire au moment de la mesure.

Comment passe-t-on à ce que l'on appelle l'heure légale ? Trois étapes sont à prendre en compte.

– Tout d'abord la correction de *l'équation du temps* (liée au décalage entre le Soleil vrai et un Soleil fictif définissant l'heure), décalage certes minime mais important dans la détermination de l'heure. Les tableaux ci-dessous (source *Midi au Soleil* page 27, voir la bibliographie) donnent la correction (en minutes) à apporter en fonction de la date.

– Ensuite l'heure de notre fuseau horaire est l'heure du méridien de Greenwich et il faut donc tenir compte du décalage en longitude de notre lieu d'observation. On sait que 15° de longitude représentent une heure de décalage (soit 4 minutes de décalage par degré). Ainsi pour un lieu de longitude 3° ouest, on doit ajouter 12 minutes à l'heure solaire ; on soustrait la correction dans le cas d'une longitude est.

– Enfin il faut tenir compte de l'heure d'hiver (+1 heure en hiver ; +2 heures en été).

Détermination de l'heure nocturne

On procède comme pour la détermination de l'heure diurne, sauf que l'on va viser... une étoile précise (le Soleil est couché !). On choisit d'abord une étoile qui figure sur l'araignée de l'astrolabe ; on la cherche dans le ciel (si elle est présente !) et on mesure sa hauteur. On positionne alors l'étoile de l'astrolabe sur l'almucantarat approprié.

Pour lire l'heure, il faut chercher où se trouve le *Soleil* à ce moment, en principe bien sûr sous l'horizon, c'est-à-dire l'almucantarat 0° (car c'est la nuit) : c'est bien le Soleil qu'il faut rechercher car l'heure, même la nuit, dépend de la position du Soleil. Avec l'index, on vise donc le Soleil et l'on lit sur le limbe l'heure cherchée.

Suivant les saisons, Arcturus, Capella, Sirius... peuvent être utilisées : il faut être capable de les retrouver dans le ciel nocturne.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1	+ 3,4	+ 13,6	+ 12,5	+ 4,1	– 2,8	– 2,3
10	+ 7,3	+ 14,3	+ 10,5	+ 1,5	– 3,6	– 0,8
20	+ 10,9	+ 13,8	+ 7,7	– 0,9	– 3,6	+ 1,3
30	+ 13,3		+ 4,7	– 2,7	– 2,6	+ 3,4

	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1	+ 3,6	+ 6,3	+ 0,2	– 10,1	– 16,3	– 11,2
10	+ 5,2	+ 5,4	– 2,8	– 12,8	– 16,1	– 7,5
20	+ 6,2	+ 3,5	– 6,4	– 15,1	– 14,5	– 2,7
30	+ 6,4	+ 0,8	– 9,8	– 16,3	– 11,5	+ 2,3

Inventé au deuxième siècle de notre ère, l'astrolabe a été de moins en moins utilisé à partir du XVII^{e} siècle : en 1609, Galilée est le premier à pointer une lunette astronomique de sa fabrication vers le ciel étoilé. Une nouvelle ère de l'astronomie commence, où les mesures d'angles en particulier vont devenir considérablement plus précises. Cela étant, l'astrolabe a été en usage pendant une quinzaine de siècles un peu partout autour du grand bassin méditerranéen, en Europe finalement à partir de l'an 1000, sans doute par l'intermédiaire de Gerbert d'Aurillac et des monastères chrétiens de Catalogne. Record de longévité s'il en est pour un instrument scientifique !

Je ne terminerai pas sans mentionner l'influence des Arabes sur l'évolution de cet instrument : ils l'ont perfectionné, en particulier en introduisant les cercles d'égal azimut ; ils l'ont aussi utilisé pour répondre à des problèmes que la société posait (détermination de l'heure des prières, azimut de la Qibla, orientation dans les déserts...). Influence arabe dont les mots eux-mêmes ont gardé la mémoire : almucantarat, alidade, zénith, azimut...

Au seuil de l'an 2000, l'astrolabe n'est quasiment plus utilisé. Pourtant quel plaisir de savoir déterminer l'heure avec le Soleil ou Arcturus, sans même jeter un coup d'œil à sa montre-bracelet ! Que cela puisse aussi nous aider à ne pas oublier que nous sommes tous les *enfants des étoiles...*

BIBLIOGRAPHIE

AUDE, DÉSARNAUD, VENTO et VIDAL, *L'astronomie en questions et par la pratique,* CRDP de Marseille, 1988, 167 pages.

CLAUS L, *L'astrolabe,* FSE du Lycée Bartholdi à Colmar, 90 pages.

D'HOLLANDER Raymond, "L'astrolabe", *Revue du Palais de la Découverte,* n° 230 juillet-août-septembre 1995, pp. 25 à 48.

— *L'astrolabe,* Musée Paul Dupuy, 13 rue de la Pleau, 31000 Toulouse, 1993, 151 pages.

ESTACIO DOS REIS Antonio, "Viagem a roda de um astrolabio pintado", *Oceanos,* n° 7 juillet 1991, pp. 81 à 93.

FULCRAND Jean et BOURGE Pierre, *Midi au soleil ou comment réaliser un cadran solaire ?,* Bonnefoy Imprimeur Éditeur, 61560 La Mesnière, 1994, 111 pages.

POULLE Emmanuel, *Les instruments astronomiques du Moyen-Age,* Librairie Alain Brieux, 48 rue Jacob 75006 Paris, 1983, 44 pages

THE DEPARTMENT OF NAVIGATION AND ASTRONOMY, *The Planispheric Astrolabe,* National Maritime Museum, Greenwich, 1989, 56 pages.

RANDIER Jean, *L'antiquaire de marine,* Editions Maritimes et d'Outre-Mer, 1973, 224 pages.

Pour les propriétés géométriques de l'inversion, on pourra consulter :

LEBOSSÉ et HÉMERY, *Géométrie,* Editions Jacques Gabay, Paris, 1990, 424 pages (réédition).