

L'astrolabe universel

Charles-Henri Eyraud

On appelle astrolabe universel un astrolabe pouvant être utilisé à n'importe quelle latitude.

Il est constitué de deux parties : un disque sur lequel sont représentés les méridiens et parallèles célestes et une règle mobile graduée.

Charles-Henri Eyraud nous explique ici le principe de construction et de fonctionnement de ce bel objet et nous propose une maquette permettant de nous exercer à résoudre de nombreux problèmes d'astronomie de position.

Historique et principe de l'astrolabe universel

L'astrolabe

C'est un instrument de calcul inventé par Hipparque (astronome grec du 2^e siècle avant J.C.) permettant d'établir les relations entre la position des étoiles et le temps. Son développement par les Arabes fut lié aux nécessités du culte pour connaître les heures de lever et coucher du Soleil, de son passage au méridien et à une hauteur donnée l'après-midi (pour fixer les heures des prières). Le plus ancien instrument date de l'an 315 de l'Hégire (927-928 de notre ère) et se trouve au Musée National du Koweït. L'astrolabe le plus connu est celui qui utilise une projection plane équatoriale de pôle sud de la sphère céleste, mais qui nécessite un tympan pour chaque latitude (projection des coordonnées locales de l'observateur).

Les créateurs de l'astrolabe universel

'Ali b. Khalaf (Tolède vers l'an 1000)

"... il est bien connu que l'astrolabe conventionnel a besoin d'un tympan pour chaque latitude. Je me suis demandé comment faire un instrument qui serait valable pour toutes les latitudes afin de supprimer le travail ingrat de graver les tympanes. En y réfléchissant, il s'est trouvé que j'ai compris comment pouvoir faire un instrument qui n'aurait pas plus d'un tympan et d'une araignée. Je lui ai donné le nom d'horizon universel, je l'ai dédié à mon seigneur le roi de Tolède Ma'mun et j'ai fait ce livre ..."

Al-Zarqalluh (1029 - Cordoue ; 1087 - Tolède), appelé Azarquiel en Occident médiéval latin, ramène le tympan à une simple règle munie d'un curseur glissant à angle droit.

Principe de l'astrolabe universel

La projection stéréographique est la base de la construction de l'astrolabe.

On considère une sphère de centre O, on choisit un diamètre qui coupe la sphère respectivement en S et S', et on considère le plan P passant par O et orthogonal à la

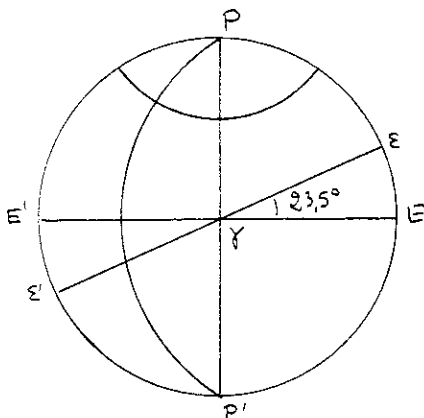
droite (SS'). On appelle projection stéréographique de pôle S sur le plan P, la transformation de l'espace qui à tout point M de la sphère associe le point m intersection du plan P avec la droite (SM)¹.

Dans le cas de l'astrolabe universel, le pôle de projection est soit γ (point équinoxial de printemps) soit γ' (point équinoxial d'automne), et le plan de projection est le plan du colure des solstices.

Le colure des solstices est le grand cercle de la sphère céleste contenant l'axe des pôles PP' et les points ϵ , point solsticial d'été, et ϵ' , point solsticial d'hiver. Ce cercle coupe l'Equateur céleste respectivement en E et E'. L'axe $\gamma\gamma'$ est orthogonal au colure des solstices.

Le colure des équinoxes est le grand cercle de la sphère céleste contenant l'axe des pôles PP' et les points équinoxiaux γ et γ' .

La projection stéréographique transforme un cercle ne passant pas par le pôle en un cercle, et un cercle passant par le pôle en une droite.



Le colure des solstices a pour projeté lui-même, les points γ et γ' se projettent au centre du colure des solstices et le colure des équinoxes a pour projeté la droite (PP'). L'Equateur céleste se projette sur la droite (EE').

Chaque méridien, i.e. chaque demi-grand cercle passant par P et P' se projette suivant un cercle passant par P et P'. Chaque parallèle a pour projeté un cercle centré sur (PP') (voir le principe du tracé de l'astrolabe universel).

Les étoiles d'ascension droite 0 h à 6 h et 18 h à 24 h sont projetées par la projection stéréographique de pôle γ , les étoiles d'ascension droite 6h à 18h par celle de pôle γ'

Le principe de l'astrolabe universel réside dans le fait que les courbes tracées sur le disque peuvent être interprétées de 3 manières différentes selon le rôle que l'on attribue à l'axe horizontal et à l'axe vertical (voir les systèmes de coordonnées de l'astrolabe universel).

Dans le premier cas, on attribue à l'axe horizontal le rôle d'équateur (E'E) et à l'axe vertical celui de l'axe des pôles (PP') : les méridiens sont donc les demi-cercles d'angle horaire constant ou d'ascension droite constante, et les parallèles sont les cercles d'égale déclinaison ; un point du disque est alors défini par ses coordonnées équatoriales ou par ses coordonnées horaires.

Dans le second, l'axe horizontal joue le rôle d'écliptique ($\epsilon\epsilon'$) et l'axe vertical, celui d'axe des pôles écliptiques (PP') : les méridiens sont alors les demi-cercles d'égale longitude écliptique λ et les parallèles les cercles d'égale latitude écliptique β ; un point du disque est alors défini par ses coordonnées écliptiques.

Enfin, dans le troisième, on fait jouer à l'axe horizontal le rôle de l'horizon ($H_S H_N$) et à l'axe vertical le rôle de la droite (ZNa) (zénith-nadir) : les méridiens sont alors les demi-cercles d'égale azimut tandis que les parallèles sont les cercles d'égale hauteur ; un point du disque est alors défini par ses coordonnées horizontales.

Astrolabe ci-joint

L'astrolabe tracé ci-joint est inspiré de l'astrolabe d'Arsenius (vers 1550) : il comprend une règle munie d'une deuxième règle de longueur moitié de la précédente, sur laquelle est articulé un bras prolongé d'une autre pièce (les deux pièces articulées forment le "brachiolus"). L'ensemble permet par simple rotation de passer des coordonnées équatoriales aux coordonnées écliptiques ou aux coordonnées horizontales (voir la maquette de l'astrolabe universel).

Si E'E représente l'équateur céleste, le plan de l'écliptique est représenté par une droite inclinée de 23,5° par rapport à l'équateur.

La règle est graduée en coordonnées écliptiques avec des intervalles de 1° et des séparations tous les 30° limitant les signes du zodiaque.

Sur l'astrolabe ci-joint on a représenté comme Al-Zarqalluh les signes du zodiaque.

On utilisera la correspondance entre longitude écliptique du Soleil et position dans les signes du zodiaque : la graduation commence au milieu, croît de gauche à droite de 0° à 90° pour les signes du Bélier, du Taureau des Gémeaux, puis elle continue de droite à gauche de 90° à 270° pour les signes du Cancer, du Lion, de la Vierge, de la Balance, du Scorpion, du Sagittaire. Enfin, elle croît à nouveau de gauche à droite de 270° à 360° pour les signes du Capricorne, du Verseau et des Poissons.

Lorsque l'on place la règle le long de l'écliptique, on vérifie que chaque signe correspond à deux heures en ascension droite. Pour simplifier, lorsqu'on voudra faire correspondre une longitude écliptique du Soleil au jour de l'année, on fera l'approximation d'un accroissement de sa longitude de 1° par jour.

Remarques importantes :

E'E représentant l'équateur céleste, bien visualiser :

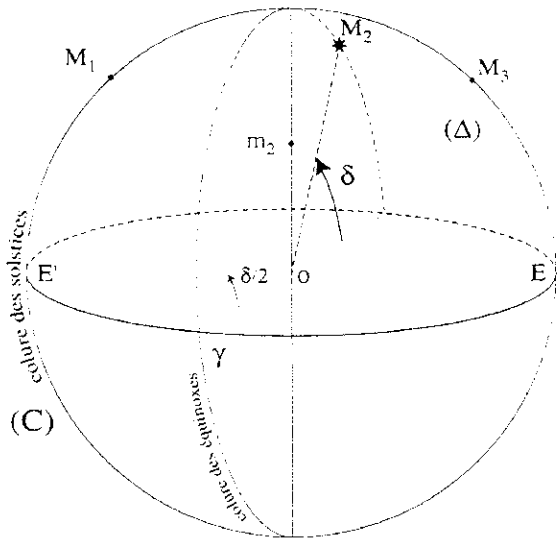
- le mouvement d'un astre de déclinaison δ lors du mouvement diurne : il suit l'arc de cercle de déclinaison δ alternativement de gauche à droite ("par derrière") et de droite à gauche ("par devant"). Dans le premier système de coordonnées, on a la relation $H = T - \alpha$ (angle horaire, temps sidéral, ascension droite) ; les étoiles sont dessinées sur le disque avec la valeur $T = 18$ h.
- le mouvement annuel du Soleil : il se déplace sur la droite inclinée de 23,5° par rapport à l'équateur.

Une simple rotation de la règle de l'angle égal à l'obliquité de l'écliptique permet de passer des coordonnées équatoriales aux coordonnées écliptiques et vice-versa.

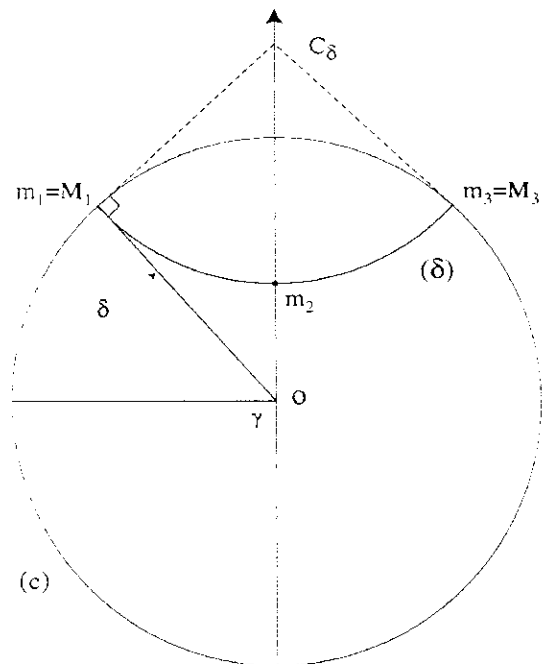
Une simple rotation de la règle de l'angle $90^\circ - \phi$ (ϕ latitude du lieu) permet de passer des coordonnées locales aux coordonnées horaires et vice-versa.

Principe du tracé de l'astrolabe universel

Parallèles célestes

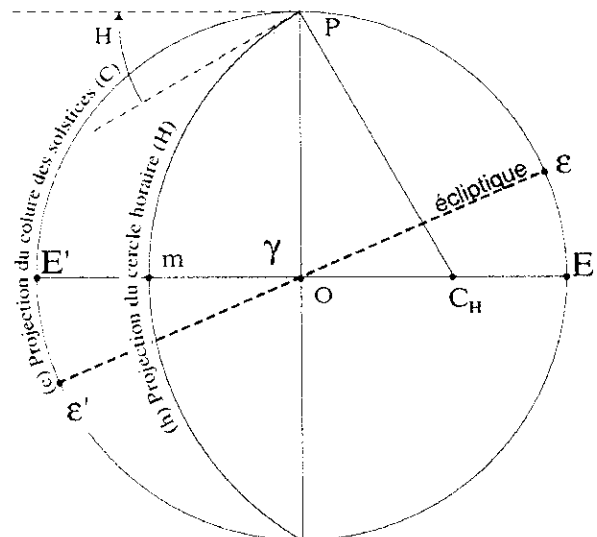
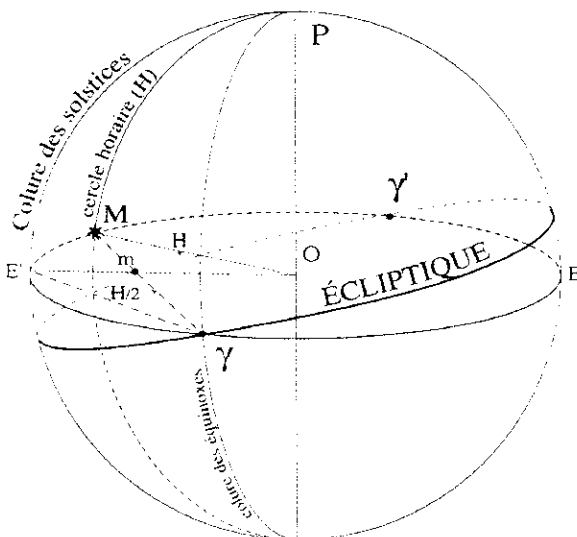


D'après la figure : $OM_2 = R \tan(\delta / 2)$
 R rayon du colure des solstices



La projection stéréographique est conforme, i.e. "conserve" la mesure des angles.
 Le colure des solstices (C) fait un angle de 90° avec le parallèle (Δ) en M_1 et M_2 donc
 les projetés (c) et (δ) font aussi entre eux un angle de 90° , d'où $OC_\delta = R / \sin d$

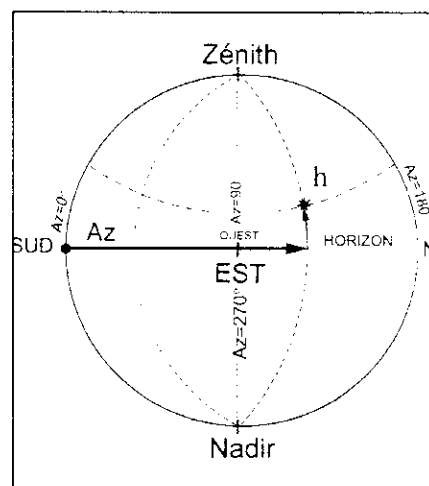
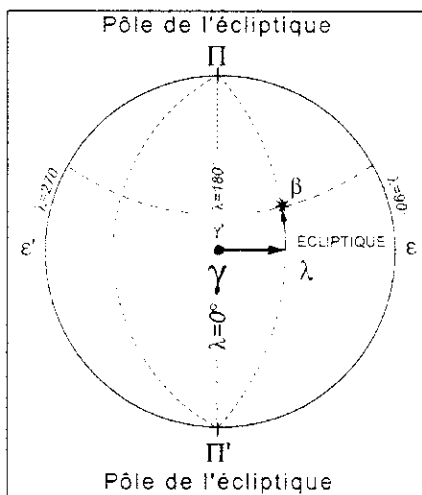
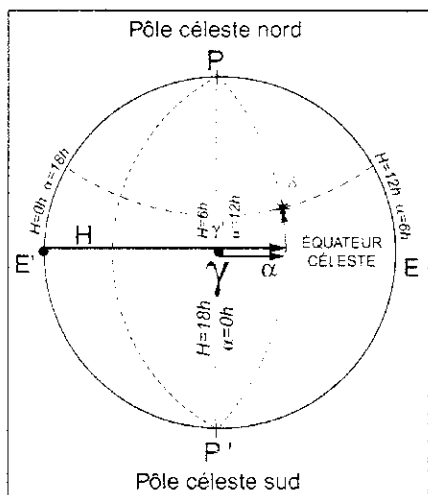
Cercles horaires (H = cte ou $\alpha = cte$)



D'après la figure, $Om = R / \tan(\pi/4 - H/2)$

Le colure des solstices et le cercle horaire (H) font un angle H en P, donc leurs projetés font aussi l'angle H en P.
 $OC_H = R / \tan H$

Systemes de coordonnées de l'astrolabe universel



Projection :
sur le colure des solstices

Pôle de projection :
 γ ou γ'

Axe horizontal :
équateur céleste

Axe vertical :
axe des pôles célestes Nord-Sud

Coordonnées équatoriales ou coordonnées horaires :
ascension droite : α
angle horaire : H
déclinaison : δ
 $H = T - \alpha$ avec $T = 18$ h.

Orientation des axes :
 α : de 0 h (droite (P'P)) à 6 h (demi-cercle P'EP) : de gauche à droite ;
de 6 h (demi-cercle P'EP) à 18 h (demi-cercle P'E'P) : de droite à gauche ;
de 18 h (demi-cercle P'E'P) à 24 h (droite (P'P)) : de gauche à droite.

H : de de 0 h (demi-cercle P'E'P) à 12 h (demi-cercle P'EP) : de gauche à droite ;
de 12 h à 24 h : de droite à gauche.

Projection :
sur le colure des solstices

Pôle de projection :
 γ ou γ'

Axe horizontal :
écliptique

Axe vertical :
axe des pôles de l'écliptique

Coordonnées écliptiques :
longitude écliptique : λ
latitude écliptique : β

Orientation des axes :
 λ : de 0° (droite (PiPi')) à 90° (demi-cercle Pi'ePi) : de gauche à droite ;
de 90° (demi-cercle Pi'ePi) à 270° (demi-cercle Pi'ePi) : de droite à gauche ;
de 270° à 360° : de gauche à droite.

Projection :
sur le méridien du lieu

Pôle de projection :
Est ou Ouest

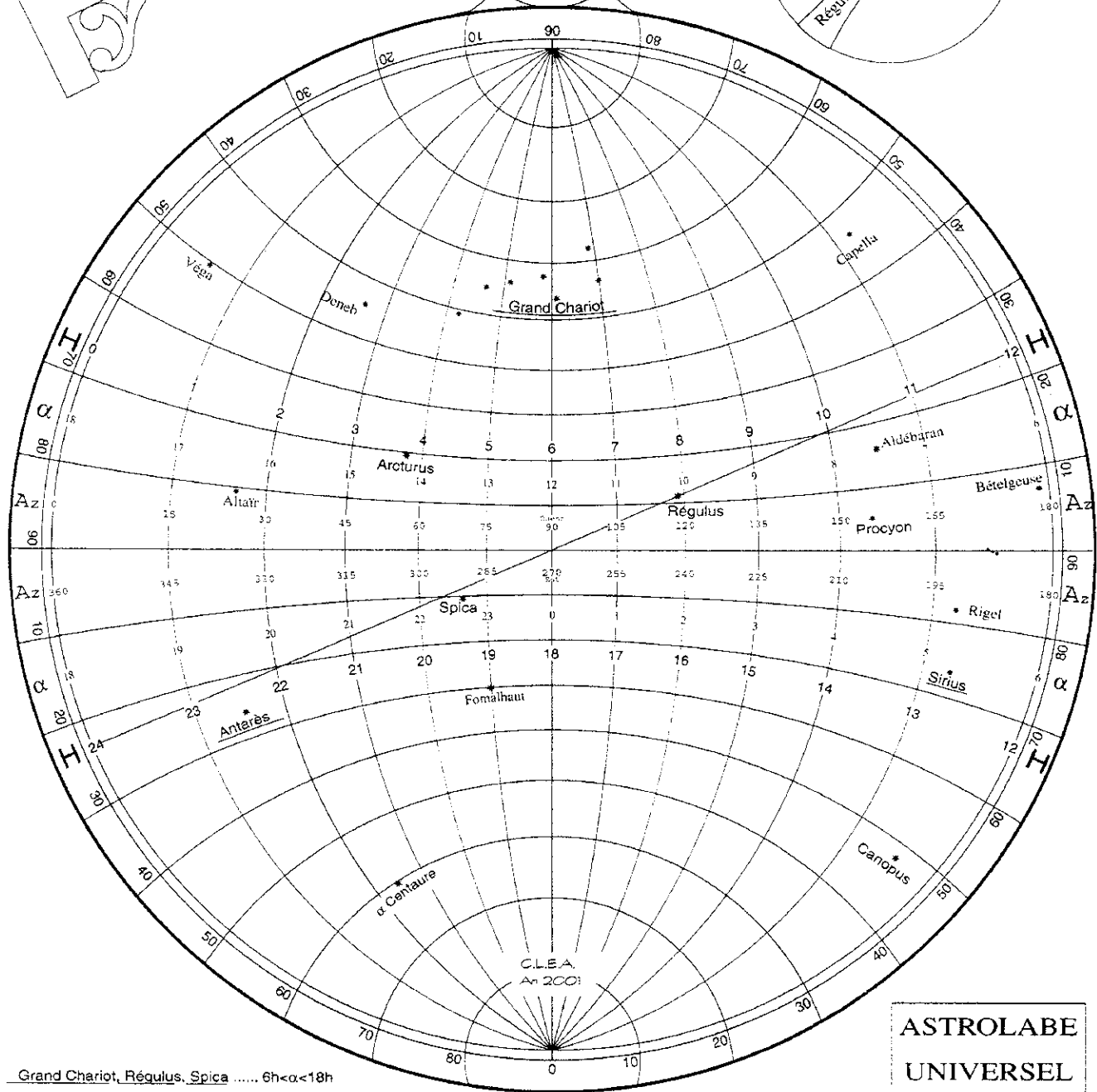
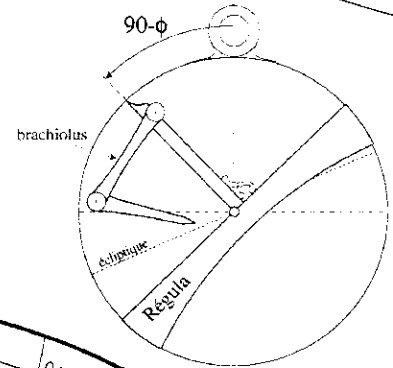
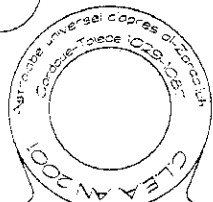
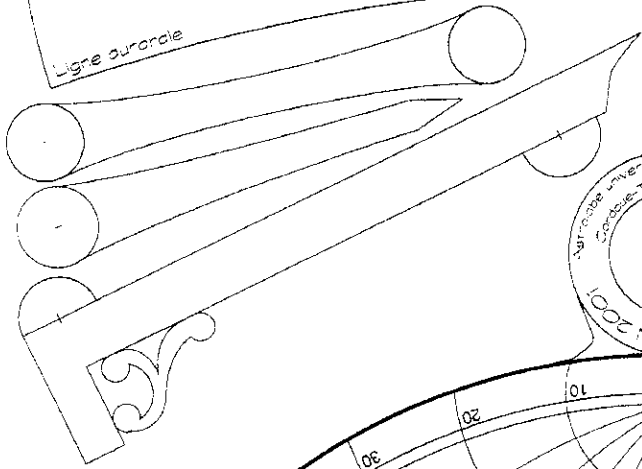
Axe horizontal :
horizon du lieu

Axe vertical :
axe zénith-nadir

Coordonnées horizontales :
azimuth Az
hauteur h

Orientation des axes :
Az : de 0° (demi-cercle Nadir-Sud-Zénith), par 90° (Ouest), à 180° (demi-cercle Nadir-Nord-Zénith) : de gauche à droite ;
de 180° (demi-cercle Nadir-Nord-Zénith), par 270° (Est), à 360° (demi-cercle Nadir-Sud-Zénith) : de droite à gauche.

270	240	300	210	330	180	0	150	30	120	60	90
♐ Capricorne	♑ Verseau	♒ Poissons	♈ Bélier	♉ Taureau	♊ Gémeaux						
♏ Sagittaire	♍ Scorpion	♌ Balance	♍ Vierge	♌ Lion	♋ Cancer						



Se familiariser avec l'astrolabe universel

1 - Passage des coordonnées équatoriales aux coordonnées écliptiques et vice-versa.

Recherche des coordonnées écliptiques de Capella :

On lit sur le disque les coordonnées équatoriales de Capella :

$$\alpha = 5\text{h } 15 \text{ et } \delta = 46^\circ.$$

Aligner la régula avec l'écliptique, pointer Capella avec le brachiolus, faire tourner l'ensemble pour aligner la régula avec l'équateur EE' : lire $\lambda = 80^\circ$ $\beta = 23^\circ$.

Recherche des coordonnées équatoriales du Soleil le 15 avril :

Le 15 avril, le Soleil se trouve dans la constellation du Bélier et sa longitude écliptique est 25° . Sa latitude écliptique est bien sûr 0° .

On fait tourner la régula pour l'aligner sur l'écliptique et on lit les coordonnées équatoriales du Soleil : $\delta = 10^\circ$ et $\alpha = 1\text{ h } 40$ environ.

2 - Quelles sont les étoiles circumpolaires à Lyon de latitude 46°N ?

On place d'abord la régula suivant l'équateur E'E : elle correspond à l'horizon du pôle Nord, on la fait pivoter de $44^\circ = 90^\circ - 46^\circ$ pour qu'elle corresponde à l'horizon de Lyon. On cherche quel est le parallèle céleste qui vient tangenter cet horizon : sa déclinaison est de 44° . Les étoiles dont la déclinaison est supérieure ne passent pas sous l'horizon lors de leur mouvement diurne et seront toujours visibles.

3 - Hauteur de culmination d'Arcturus ($\alpha = 14\text{h } 13$ $\delta = 19^\circ 26'$)

Faire pivoter la régula de 44° à partir de E'E pour qu'elle corresponde à l'horizon de Lyon.

On suit la trajectoire diurne d'Arcturus sur la courbe de déclinaison $\delta = 20^\circ$ jusqu'au méridien, on pointe le brachiolus sur le point trouvé.

On ramène la régula suivant E'E ; le brachiolus indique alors la hauteur : $h = 66^\circ$.

4 - Valeur de la déclinaison δ d'une étoile qui culmine à Lyon.

Faire pivoter la régula de 44° à partir de E'E pour qu'elle corresponde à l'horizon de Lyon.

On voit que toutes les étoiles du parallèle de déclinaison 46° passent au zénith lors du mouvement diurne.

Exercices

1 - Durée de la trajectoire de Véga au-dessus de l'horizon.

On lit en quel point Véga intercepte l'horizon de Lyon :

$$H = 9\text{h } 30, \text{ azimut} = 145^\circ \text{ Est}$$

La trajectoire diurne des étoiles étant symétrique par rapport au méridien, la durée cherchée est 19h.

2 - Heure de coucher du Soleil et son azimut un jour donné.

Par exemple le 21 mai : on "sait" que le Soleil entre dans le signe des Gémeaux et on lit sa longitude écliptique de 60° ce jour là.

Aligner la régula avec la droite écliptique inclinée de 23° par rapport à E'E. La déclinaison du Soleil est $\delta = 20^\circ$ et son ascension droite $\alpha = 4\text{h}$

Incliner la régula de 44° par rapport à E'E pour qu'elle représente l'horizon de Lyon.

Le parallèle de déclinaison 20° coupe l'horizon à l'azimut 122° et à l'angle horaire 7h 30.

Le coucher du soleil a lieu à :

$$12\text{h} + 7\text{h } 30 = 19\text{h } 30$$

avec l'azimut $Az = 122^\circ$.

3 - Trouver l'heure et la date connaissant la hauteur et l'azimut du Soleil.

Par exemple à Lyon, on mesure pour le Soleil $h = 42^\circ$, $Az = +58^\circ$ (vers le sud-ouest).

Pointer le brachiolus sur les coordonnées ($h = 42^\circ$, $Az = 58^\circ$), la régula étant

alignée sur E'E.

La régula étant inclinée de 44° par rapport à E'E, on trouve que le Soleil a une déclinaison $\delta = 12^\circ$.

Lire l'angle horaire du Soleil : 2h 40 ; l'observation a donc eu lieu à 14h 40 (heure solaire).

Aligner la régula sur l'écliptique ; on trouve deux dates possibles pour $\delta = 12^\circ$: le 21 avril ou le 21 août.

4 - Trouver la hauteur et l'azimut du Soleil, connaissant le jour et l'heure solaire.

Par exemple à Lyon le 21 février à 15h solaire, ($H = 3\text{h}$).

La régula étant alignée sur l'écliptique on lit $\delta = -12^\circ$.

La régula étant inclinée de 44° par rapport à E'E, pointer avec le brachiolus le point de déclinaison $\delta = -12^\circ$ et d'angle horaire $H = 3\text{h}$.

Aligner la régula sur E'E ; le brachiolus indique $h = 20^\circ$, $Az = 48^\circ$

Bibliographie et site web :

1 - On peut relire les articles de Cécile Schulman dans les Cahiers Clairaut n° 47 (automne 89) et n° 48 (hiver 89-90) : l'astrolabe planisphérique, l'astrolabe du débutant, l'astrolabe simplifié.

2 - L'Astrolabe, Association Française de Topographie (1993) par Raymond d'Hollander.

3 - Histoire des sciences arabes (1997), tome 1, chapitre sur les observatoires portatifs par Francis Maddison (p.146 à 164). Editions du Seuil.

<http://astrolabes.org/astrolab.htm>
de nombreux liens avec d'autres sites

Note :

Le principe et les propriétés de la projection stéréographique sont explicités dans la fiche "Astrolabe" du Hors-Série n° 3 : le temps et les constellations. Cette fiche propose une construction de l'astrolabe planisphérique septentrional. ■