

 Hemisferium®
www.hemisferium.com

L'ASTROLABE





L'ASTROLABE

→ UN PEU D'HISTOIRE

Le nom d'astrolabe provient du mot grec Astro, qui signifie «étoile» et de Labos, qui veut dire «prendre». Nous pourrions le traduire par «preneur d'étoiles». Cependant, au-delà de la lecture de la position des étoiles, ce complexe instrument a beaucoup d'autres applications.

La première expression de l'astrolabe était celle d'un simple graphomètre vertical permettant de mesurer des hauteurs (du soleil ou d'autres astres) et de faire du calcul horaire et de position. Plus tard, il est devenu une représentation de la sphère céleste pour répondre à des questions plus complexes, débutant ainsi sa triomphale carrière quand, en prenant la forme plane ou planisphérique, il a permis de résoudre avec facilité les problèmes relatifs aux repères orthonormés, aux crépuscules et aux questions en rapport avec l'horizon pour un endroit déterminé.

Progressivement, on arrive à une complexe superposition d'abaques, dont le nombre était limité uniquement pour éviter une confusion excessive sur les plateaux astrolabiques. En conclusion, l'instrument commençait à percer, dans l'espace limité de ses plateaux, les mystères de l'astronomie, de la mécanique céleste, des éphémérides chronologiques et de la tri-

Textes, assistance scientifique et développement technique:
D. Luis Hidalgo Velayos (L. H. V.)

Hemisferium®. Instrumentos Científicos Antiguos, S. L.
www.hemisferium.es
Madrid, 2008
Made in Spain



gonométrie, tout en incluant –comme il était l'usage– des références à la Kabbale et à l'astrologie, ce qui l'a permis de devenir une machine de calcul et un vrai Vademécum où l'astronome et le marin trouvaient l'information aujourd'hui fournie par les éphémérides nautiques, les tables à logarithmes et le sextant.

Les premières notes trouvées à propos du développement de l'astrolabe font référence au Centre de Recherches d'Alexandrie. Hipparque, l'astronome (150 avant JC), a conçu le premier Astrolabe Planisphérique, grâce à la théorie de la projection stéréographique.

Claude Ptolémée, en 140 après JC, dans son livre « Almageste », écrit à propos d'un instrument appelé « Astralobon Organon », très semblable à une Sphère Armillaire en matière de coordonnées écliptiques. D'autres textes importants sur l'astrolabe sont ceux laissés par Jean Philopon (Ecole d'Alexandrie, 530 après JC), et ceux de Severus Sebokhr (650 après JC). L'œuvre du érudit arabe Masha-Alla Albategnus (850 après JC) se détache du reste par l'influence qu'elle a eu sur les scientifiques européens des siècles postérieurs.

La reconquête de Tolède par les Rois Catholiques ouvrait les portes d'Europe à la nouvelle science. Pendant le XIII siècle, Alfonso X, le sage de Castille, a créé l'école de traducteurs de Tolède, où des nombreuses oeuvres islamiques ont été traduites, constituant ainsi les bases pour la réalisation de nouvelles tables astronomiques.

En Europe, l'utilisation de l'astrolabe est devenue indispensable pour astronomes, astrologues et géomètres jusqu'à la fin du XVII siècle, quand il a été remplacé par des instruments plus exacts. Dans le monde arabe, son utilisation s'est prolongée jusqu'au XIX siècle.



COMPOSANTS DE L'ASTROLABE

1. La mère, qui est un disque fixe ajouré (sorte de grille) permettant l'emplacement du tympan (plateau) et de l'araignée.
2. Le Tympan ou Plateau, qui est une plaque gravée avec les coordonnées de la sphère céleste (almuqantarats); il indique aussi le zénith, l'horizon, les lignes d'altitude, l'azimut, l'équateur et les lignes des tropiques de Cancer et de Capricorne. Il correspond à 50,5° de Latitude (fig. 1).
3. L'Araignée, qui est une carte astrale où l'axe central marque la position de l'Etoile Polaire; et où la trajectoire du Soleil est montrée sur le cercle écliptique, qui est divisé en douze signes zodiacaux (fig. 2).
4. La Règle, située sur l'araignée, sert à aligner la date sur le cercle écliptique avec l'heure correcte du cercle horaire.
5. L'Alidade est utilisée pour signaler, grâce aux pinnules, les graduations gravées au dos de l'astrolabe ou au dos de la mère (fig. 3).
6. Dos de la Mère, où l'on réalise toutes les observations et mesures; le cercle gradué qui l'entoure est appelé le Limbe (fig.4).

UTILISATION DE L'ASTROLABE

Les possibilités de calcul de l'astrolabe dépassent la centaine, selon Christophoro Clavio. Nous n'aborderons ici que celles qui restent essentielles pour les amateurs de ces instruments. Nous démontrerons leur précision et nous remarquerons la simplicité et l'élégance avec lesquelles il est capable de résoudre les problèmes astronomiques basés sur la trigonométrie sphérique.

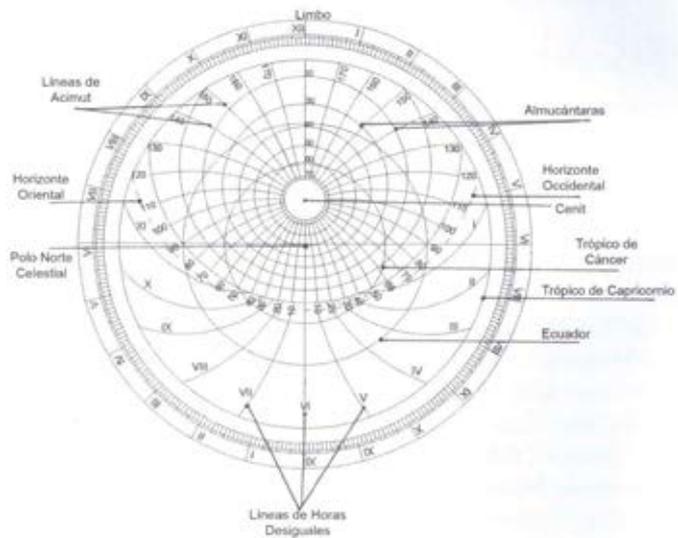


Fig. 1: Tympan ou Plateau

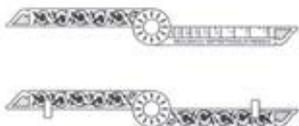


Fig. 3: Pinnules de l'Alidade

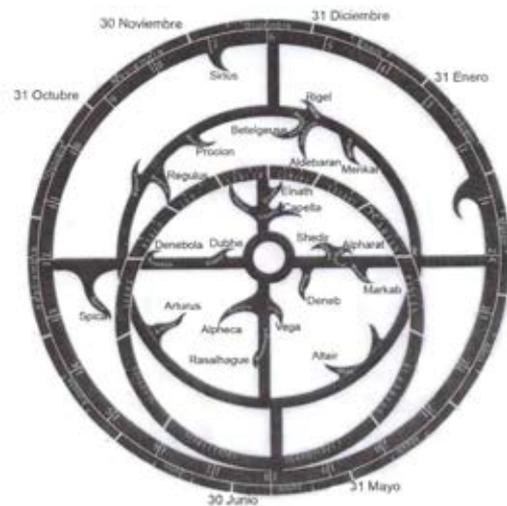


Fig. 2: L'Araignée



Fig. 4: Dos de la Mère



→ GÉNÉRALITÉS

Le Tympan ou Plateau représente les coordonnées locales de hauteur h et d'azimut Az pour l'endroit de l'observateur. Il y aura autant de tympan différents que de latitudes, même s'il est possible, sans faire de grandes erreurs, d'utiliser des tympan ayant une différence d'un demi degré, par excès ou par défaut, par rapport à la latitude d'observation. L'Araignée nous indique les coordonnées célestes par la représentation des astres dans la voûte céleste (ascension droite AR et déclinaison δ), grâce à ses pointes ou crochets utilisés dans les instruments anciens. En supposant les étoiles fixes (au moins dans des périodes très longues), tant l' AR que le δ peuvent être considérés comme constants, ce qui rend cette Araignée adaptable à toutes les latitudes. Cela équivaut à dire qu'elle peut être utilisée sur tout astrolabe plan, quelque soit le tracé de son tympan, car elle est universelle. Comme la Terre tourne dans le sens Ouest-Est, nous observons les astres se déplacer de l'Est vers l'Ouest, dans le sens des aiguilles d'une montre. Ce mouvement apparent est celui qui réalise l'Araignée de l'astrolabe, en déplaçant le Soleil, les étoiles et le reste des astres de l'horizon Est vers le Sud, en effectuant le crépuscule par l'horizon Ouest.

Afin d'avoir une représentation intuitive de la projection de la sphère céleste par rapport à l'horizon, il est conseillé d'orienter l'astrolabe de façon à ce que le point de suspension regarde vers le Sud. De cette façon, l'Est se trouvera à gauche de l'observateur, l'Ouest à sa droite et le méridien (ligne des XII) au centre.

Au dos de l'astrolabe, comme on le voit sur la figure 4, on trouve le calendrier qui, au moyen de l'alidade, converti les mois et les jours de l'année en degrés d'un des signes du Zodiaque, indiquant de cette façon la situation exacte du Soleil sur l'écliptique.



Si la règle est placée sur le point de l'écliptique où le Soleil se trouve, l'astrolabe répondra à toutes les questions tant de jour que de nuit et la règle fonctionnera comme l'aiguille horaire d'une montre conventionnelle, où les heures sont disposées sur le limbe périphérique de la mère, et la marque des XII (près du point de suspension) correspondra aux 12 heures solaires, pendant que les XII à l'opposé, correspondront aux 24 ou 0 heures.

L'araignée est gravée avec les marques de l'ascension droite AR , et la règle porte l'échelle de déclinaison δ . Dans les exemples proposés à continuation, on utilise les valeurs de $\varphi = 51.5^\circ$, $\lambda = 0$ min 20s et le jour de l'observation, sauf quand indiqué autrement, sera le 17 août. Evidemment, l'instrument peut être utilisé pour n'importe quel jour de l'année et à n'importe quel moment de la journée (jour ou nuit). Il offre l'avantage de fournir des nombreuses données astronomiques sans devoir sortir à l'extérieur.

→ PRÉPARATION POUR LA LECTURE

Nous placerons l'astrolabe pour l'observation de données pour la nuit du 17 août. Pour ce faire, nous viserons l'étoile Arcturus (Arturo) avec l'alidade des pinnules au dos de l'instrument. Si l'on obtient une hauteur de 20° sur le côté occidental, nous devons rapporter la pointe ou crochet de l'étoile représentant Arcturus (α Bootes) sur l'almicantarar 20° du côté droit du tympan et nous ramènerons la règle sur la marque des 24° (Léo) de l'écliptique qui correspond à la position du Soleil pour ce jour.

Dans cette position l'astrolabe sera prêt à répondre à toutes les questions de manière immédiate : la voûte céleste sera exactement représentée par la conjonction de l'araignée et du tympan de l'astrolabe. Les premières données que nous pourrions obtenir sont :



- La déclinaison du Soleil : la règle, qui est sur le point 24° (Léo) de l'écliptique, indiquera $\delta = 13^\circ 20'$
- La déclinaison d'une étoile : on plaçant la règle sur le crochet d'Arcturus, elle indiquera $\delta = 19^\circ$.
- L'ascension droite du Soleil : la règle indiquera 9h 49min pour ce jour.
- L'ascension droite d'une étoile : avec la règle sur la pointe qui représente Arcturus, son extrémité indiquera les 14h 14min sur l'échelle AR de l'araignée.
- L'angle horaire d'une étoile : Comme Arcturus est sur l'almicantarar 20° , en positionnant la règle sur cette étoile, elle indiquera les Vh 20 min sur le limbe périphérique de la mère, prenant comme origine les XII heures.
- L'angle horaire du Soleil, heure solaire : l'extrémité de la règle située sur 24° Léo, indiquera les IXh 50min ou les 21h50min de l'heure civile.
- Temps sidéral à ce moment : Comme celui-ci est égale à la somme de l'ascension droite du Soleil et de son angle horaire, $t Hs = 9h 50min + 9h 49min = 19h 40min$. On commence à compter le temps sidéral à partir du méridien ou des XII heures de l'astrolabe. Le signal du point gamma γ (0° Bélier) indiquera sur le limbe périphérique le nombre d'heures et de minutes, comptés dans le sens rétrograde, c'est-à-dire, dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir des XII.
- Heure inégale du Soleil : nous observerons que la III heure inégale nocturne vient de passer.
- Positions de quelques étoiles. Nous pouvons observer immédiatement : que Spica (Épi) a réalisé son crépuscule et qu'elle se trouve à une hauteur de -11° en finissant son crépuscule nautique ; que Capella (α Aurigae) est circumpolaire, c'est-à-dire, qu'elle n'a ni ortho, ni crépuscule ; que Vegas (α Lyrae) a fini son transit sur le méridien supérieur et qu'elle se



trouve à 71° de hauteur et 40° d'azimut S.W. ; que Altaïr (α Aquilla) a une hauteur de 48° et un azimut de 5° SE, proche de sa culmination; que Deneb (α du Cygne) se trouve à une hauteur de 79° et un azimut $Az = 70^\circ$ SE. Nous avons sélectionné ces trois dernières étoiles parce qu'elles constituent le «triangle de l'été», comme un exemple très représentatif du ciel de l'hémisphère nord, pendant ces mois.

A. Exemples d'utilisation du Soleil

L'astrolabe fait référence au temps solaire réel, sans aucune sorte de correction, ni pour la longitude, ni pour l'équation du temps E.T., ni pour l'heure adoptée par souci d'épargne énergétique.

Nomenclature

Hs, angle horaire du Soleil ou **He** pour une étoile fixe ; **t**, le temps en heures ; **δ** , déclinaison du Soleil ou d'une étoile fixe ; **A**, $180 - Az$, **Az**, azimut à partir du Sud : / (SE Sud-est, SW Sud-ouest) ; **λ** , Longitude écliptique ou terrestre ; **ϕ** , Latitude de l'endroit d'utilisation ; **A.Rs**, Ascension Droite du Soleil ; **A.Re**, Ascension droite d'une étoile ; **ϵ** , angle de l'écliptique avec l'équateur céleste 23.44° ; **ω** , angle auxiliaire ; **h**, hauteur solaire ou d'une étoile fixe ; **γ** , Point Bélier (point d'intersection de l'écliptique avec l'équateur céleste, origine de l'AR et indicateur du temps sidéral) ; **α** , 1ère magnitude d'une étoile dans sa constellation et **β** 2ème magnitude ; **E.T.**, équation du temps ; **A.M.**, ante meridiem et **P.M.** post meridiem ; **T.U.**, Temps Universel et **t Hs**, temps sidéral.



A.1. Calculer l'heure de l'ortho ou heure du lever du Soleil

Le jour choisi pour cette opération est le 17 août. Sur le calendrier zodiacal au dos de l'instrument, ce jour correspond au 24° Léo. Nous signalerons avec la règle le 24° Léo sur le cercle de l'écliptique, et nous tournerons l'ensemble jusqu'à ce que ce point touche le bord oriental de l'horizon. L'extrémité de la règle signalera les 4h50min solaires. L'heure officielle pour cet endroit, dont la longitude est de 0°05' Ouest est équivalente à 20s ; nous avons donc que : l'heure officielle = l'heure solaire réelle + λ différence de longitude (Ouest) + équation du temps (ET) + 1h (avancement de l'heure d'été). La valeur d'ET est de 4min05s pour cette heure (5h du matin). Par conséquent, l'heure officielle est : 5h 54min 25s.

A.2. Nombre d'heures de lumière pour ce jour (de l'aube jusqu'à la nuit totale)

Nous procédons comme pour l'exemple de l'ortho, mais dans ce cas, nous emploierons les heures des crépuscules ; 21h 35min – 2h 25min = 19h 10min. Le double de Hs, déjà calculé, sera : 2 x 9h 35min = 19h 10 min.

A.3. Obtention de l'heure connaissant la hauteur du Soleil

La hauteur du Soleil peut être lue sur le dos de l'astrolabe, en le faisant suspendre de sorte que le rayon solaire pénètre par les deux pinnules. Il faut observer ceci indirectement, c'est-à-dire, en laissant passer le rayon solaire par le petit trou de la pinnule antérieure de l'alidade, jusqu'à ce qu'il se projette sur le deuxième orifice de la pinnule postérieure. **Ne regarder jamais le Soleil à travers des pinnules, car vous vous exposez à un dommage oculaire.** L'alidade indiquera, sur le limbe périphérique, la hauteur du Soleil, en degrés.

Supposons que la hauteur solaire obtenue le 17 août, dans l'après-midi, est de 30°, et que nous voulons connaître l'heure solaire. Nous procédons,



comme d'habitude, en positionnant l'astrolabe pour le travail, avec le Soleil en 24° Léo de l'écliptique, en y plaçant la règle sur son bord fiduciel. Nous tournerons l'ensemble règle-araignée jusqu'à ce que le point tombe sur l'almicantarate de 30° sur la partie droite ou occidentale de l'astrolabe. La règle indiquera sur le limbe périphérique les III h et 50 min PM ou les 15h50.

Celui-ci est l'exemple classique exposé dans la plupart des livres et le plus utilisé dans l'Antiquité. On raconte que pendant l'invasion, la conquête et l'emprise des musulmans sur la Péninsule Ibérique, les chefs arabes, lors de leurs incursions, se faisaient accompagner par ses astrolabistes, considérés des assistants inestimables à leurs fins stratégiques.

B. Chronométrie nocturne

L'astrolabe est capable de nous donner l'heure, non seulement pendant la journée grâce à notre étoile, le Soleil, sinon également en tant que **Nocturlabe**. Il permet aussi de connaître l'heure solaire en se servant des étoiles, même si celles-ci ne sont pas circumpolaires, bien que son application ne peut être que locale, à différence du Noctulabe qui est universel.

B.1. Quelle heure sera-t-il au moment où Arcturus (α Bootes) atteint une hauteur de $h = 20^\circ$ au Ouest?

Ceci peut être observé directement avec l'alidade, car il n'y a pas de danger de cécité. Pour la date du 17 août, l'AR (ascension droite) du Soleil à cette heure est de 9h 49min. C'est facile de déterminer. Il faut déplacer la pointe de l'étoile Arcturus sur l'almicantarate de 20°, dans la partie droite ou occidentale de l'astrolabe. En fixant l'araignée sur ce point, on fait glis-



ser la règle jusqu'à la position 24° Léo. Son extrémité indiquera sur le limbe horaire les IXh 50min de l'après-midi (21h50).

Nous pouvons même nous poser la question: est-ce que Arcturus sera visible à cette heure? L'astrolabe répond immédiatement, car le Soleil en 24° Léo à cette heure, déjà déterminée, est sous la ligne du crépuscule. Nous savons par ailleurs que le crépuscule astronomique vespéral pour cette date fini à 21h35. Par conséquent, Arcturus est visible depuis 15 minutes.

C. Problèmes relatifs à l'Azimut

Note: L'origine de l'azimut et de sa numération est objet de controverse. Les astronomes, marins et gnomonistes établissent une origine déterminée et un sens pour la numération. Dans ces notes, l'azimut a son origine au Sud et on compte de façon ascendante dans les deux sens, tant vers l'Est que vers l'Ouest, jusqu'au 180°. Si la notation est $Az = 15^\circ E$, cela indique que le méridien forme avec la verticale de l'astre un angle de 15° vers l'Est et que l'origine est sur le point Sud. Quand sur les formules on le désigne par A, on fait référence au supplément de l'azimut, c'est-à-dire : $A = 180^\circ - Az$.

C.1. Pour connaître l'azimut du Soleil si nous prenons sa hauteur dans la matinée du 17 août

Nous faisons tourner l'araignée jusqu'à ce que le point 24° Léo soit sur l'almicantarat 20°, si celle-ci est la hauteur qui a été prise, sur la partie orientale. Le point de rencontre coïncide avec l'azimut 85.5° SE.

C.2. Orientation avec l'astrolabe, connaissant l'azimut.

Bien que la méthode ne soit pas très exacte, à des effets pratiques, elle est suffisante.



Supposons que l'azimut observé est de 86° SE, indiquons sur le dos de l'instrument, $90^\circ - 86^\circ = 4^\circ$ sur la ligne de $0^\circ - 0^\circ$ qui fera celle Est - Ouest et appliquons l'alidade sur 4°. Dans ces conditions, nous inclinons l'astrolabe pour que les rayons de soleil passent à travers les pinnules. Quand nous aurons réussi, nous devons descendre soigneusement l'astrolabe à l'horizontale, la ligne $90^\circ - 90^\circ$ indiquera le Sud (méridien). Si nous faisons tourner l'alidade jusqu'au 90° et que nous regardons le Soleil –en l'alignant grâce aux pinnules, sans le viser directement– nous aurons fait apparaître un point sur l'horizon, le Sud.

D. Problèmes relatifs à l'obtention de la hauteur

D.1. Quelle sera la hauteur du Soleil le 17 août à 7h du matin?

Déplacez la règle jusqu'à ce qu'elle indique les VII heures du matin, sur la partie gauche ou orientale du limbe. Faites tourner l'araignée jusqu'à ce que la marque de 24° Léo coïncide avec le bord de la règle. Le point d'intersection déterminera la hauteur de 19°.

D.2 L'azimut du Soleil connu, calculer sa hauteur

Faites tourner l'araignée jusqu'à ce que les 24° Léo tombe sur l'azimut; $Az = 90^\circ$, $A 90^\circ$. Le point d'intersection tombe sur l'almicantarat 18°.

D.3 Quelle est la hauteur maximale du Soleil en ce jour?

Amener la marque 24° Léo au méridien et observer qu'elle coupe l'almicantarat aux 51.7°.



E. Exemples d'utilisation topographique

Sur le dos de l'instrument, à côté de l'abaque de conversion des heures inégales en heures égales, figure ce que l'on appelle «échelle altimétrique» qui a été utilisée à des fins topographiques. Elle est constituée par deux carrés réunis, dont les côtés sont divisés en 10 parties égales. La partie horizontale s'appelle *umbre recta* et les parties latérales s'appellent *umbre verso*. En réalité il s'agit d'une échelle de tangentes et cotangentes.

E.1. Calculer la hauteur d'un arbre à partir de la longueur de son ombre

Le 17 août à 10 heures solaires, l'ombre d'un arbre est de 20m. Il a été vu dans les exemples précédents comment nous pouvons obtenir la hauteur du Soleil ce jour à la même heure: 45°. En plaçant l'alidade du dos à 45°, son bord intersectera la «*umbra recta*» sur la 10ème division de l'échelle la décimale.

Se basant sur la ressemblance entre les triangles réel et celui de l'échelle, nous pouvons écrire: hauteur / 20 = 10 / 10, donc; hauteur = 20m = 20 m. Nous pouvons le calculer en utilisant la tangente de l'angle mesuré: hauteur = 20 tg 45° = 20m.

UTILISATION DE L'ASTROLABE: HEURES TEMPORAIRES

Il est classique d'inclure sur le tracé du tympan celui des heures temporaires ou inégales. Cependant, sur le dos de l'instrument il existe un abaque –ce qui est aussi d'usage– pour convertir les heures égales en temporaires, d'utilisation universelle. Dans l'antiquité, la journée était divisée en 12 parties égales et chacune représentait une heure temporaire. Logiquement,



leur durée changeait selon la saison : elles étaient plus longues quand la période d'insolation est la plus longue (été) et plus courtes quand on était proche du solstice d'hiver. C'est pour cela qu'on les qualifiait d'inégales. Cette distribution horaire était bien pratique pour le déroulement des activités humaines quotidiennes.

Après cette brève introduction, nous observons que sur la partie inférieure de l'astrolabe, sous l'horizon, figurent les ainsi appelées heures temporaires, énumérées en chiffres romains: I, II, III, ...

Le génie des astrolabistes est mis en évidence par le fait qu'ils se sont abstenus de les tracer sur la partie visible, en dessus de l'horizon, car ceci compliquerait le tracé des cercles de hauteur (almicantarats) et des cercles des azimuts. Ils se sont aperçus que la période d'insolation pendant une journée quelconque était exactement identique à la période nocturne de l'opposé au soleil sur l'écliptique ou, dit en termes plus modernes, à une journée dont la déclinaison aurait la même valeur absolue, mais avec signe différent. C'est-à-dire, si la journée en considération a une déclinaison + δ = + δ 13°30', comme dans les exemples précédents (le 17 août 24° Léo), son opposé sur l'écliptique (voir au dos) est le 13 février - δ = -13° 30', 24° Verseau.

Basés sur la prémisse antérieure il est facile de faire la double conversion des heures égales en heures inégales ou vice-versa. Par exemple, nous voulons savoir, pour ce jour, quelle est l'heure inégale qui correspond aux 9h30 (heure officielle) ou aux 8h25 heure solaire réelle. Nous placerons l'ensemble règle et 24° Léo (endroit du Soleil le 17 août) et nous ramènerons la règle jusqu'à la graduation 8h25min. Dans ces conditions, l'autre extrémité de la règle indiquera sur l'écliptique le 24° Verseau (13 février), point antisolaire et elle sera juste sur l'heure temporaire. Inversement, si nous voulons savoir l'heure égale qu'il est aux IV heures temporaires, nous



devons ramener le **point antisolaire** 14° Verseau (13 février) sur les IV et là-dessus placer la règle dont l'extrême opposé signalera sur le limbe les 9h35min.

→ ABAQUE DE CONVERSION

Sur le dos de l'instrument il existe un abaque pour convertir les heures égales en temporaires, d'utilisation universelle.

Dans quel but et comment se servait-on de cet abaque? Selon la Règle de Saint Benoît pour les heures de prière (heures canoniales), il était d'usage de dire la messe à l'heure III. Pour connaître grâce au Soleil qu'elle était l'heure qui correspondait à l'heure III (heure Tierce), le moine utilisait l'astrolabe en plaçant la marque effectuée sur l'alidade dans l'exemple précédent sur l'heure III, et l'alidade signalait les 34° sur le limbe périphérique. Ensuite il faisait suspendre l'astrolabe et quand le Soleil traversait la première pinnule en coïncidant avec l'orifice de la deuxième pinnule, alors il était l'heure III et il faisait sonner les cloches pour avvertir les fidèles que l'acte religieux allait commencer.

En conclusion, cette merveilleuse machine de calcul du Moyen Age, prodigieux simulateur de la mécanique céleste, qui représente sur un seul plan toute la voûte, nous laisse admiratifs et captivés par son harmonie et élégance. C'est un clair exemple de génie et de rigueur mathématique qui mérite l'appellation trouvée par Leybourg: «le bijou mathématique».

Note: Pour plus d'information, veuillez consulter *Documents* sur le site www.hemisferium.es.