

Au Sommaire :

- Cadrans d'exception à l'Hôtel Amelot de Bisseul
- Pseudo-cadran solaire chinois portable

- Histoire

Petit Traité de M. Le Bourgeois (1599).
Cadrans «Ahmad al-'Umarî» XVIIIe.
Cadran de Regiomontanus.
Canonial à Chypre.

- Réalisations

Cadrans "Gahon".
Construction d'un cadran solaire à
miroir astroïde.

- Etudes

L'astrolabe d'Al Tusi.
Cadran à style mobile pour heures
temporaires.
Compas universel.
Cadrans analemmatiques.
La gnomonique.
Le zenith.

- Informations

Nouveaux Cadrans.
Questions/réponses gnomoniques.
Sociétés étrangères.





Commission des Cadrans Solaires

<http://www.commission-cadran-solaires.fr/>


- ° 2 réunions annuelles : en province et à Paris (ou banlieue).
- ° Revue Cadran Info, en mai et Cadran Info + inventaires des cadrans solaires, astrolabes, nocturlabes du monde en octobre.
- ° Accès aux études, livres numérisés, logiciels (sur demande : liste des offres, liste des 634 articles parus dans Cadran Info).
- ° Courriels d'informations tout au long de l'année.

Contact : Ph. Sauvageot ou secrétariat de la SAF :


ste.astro.france@wanadoo.fr

SOMMAIRE N° 34, Summary in French, English, German, Spanish, Italian

Sommaire en allemand, anglais, espagnol, italien : traduction de Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		
Aménagements à l'astrolabe d'Al Tusi : rendre l'astrolabe utilisable quelque soit la latitude et y adjoindre une échelle des tangentes et cotangentes.	Cura Bernard	11
Cadran à style mobile heures temporaires : tracé d'un cadran « canonial » à style mobile et cadran azimutal pour les heures temporaires.	Cura Bernard	15
Compas universel lever et coucher du soleil : quelle direction se lève et se couche le soleil tout au long de l'année.	Cura Bernard	18
Construction d'un cadran solaire à miroir astroïde : calculs et fabrication d'un cadran à miroir astroïde quasi équatorial avec heures solaires sur lobe, (théorie par D. Collin dans CI 32).	Marc Limousin & Dominique Collin	23
Petit Traité de l'analemme vertical de M. Le Bourgeois (1599) : analyse d'un texte manuscrit de description et de mode d'emploi d'un bloc gnomonique disparu.	Mercier Eric & Gagnaire Paul	55
Les cadrans signés «Ahmad al-'Umarî» : description de 5 cadrans tunisiens du dernier quart du XVIIIe siècle, signés de Ahmad al-'Umarî.	JarrayFathi & Mercier Eric	69
Étoiles et cadran de Regiomontanus : décryptage des lignes aux étoiles du cadran de Regiomontanus conservé au musée des Arts et Métier.	Massé Yvon	90
Domifications Régiomontanus et Placidus : Etude de deux	Pakhomoff Jean	96

domifications utilisées en astrologie sous l'aspect géométrique celle de Régiomontanus et de Placidus. Elle est suivie d'un programme en basic.		
Cadrans analemmatiques : approche personnelle des cadrans analemmatiques horizontaux, verticaux et inclinés déclinants.	Pakhomoff Jean	100
La gnomonique : présentation générale de la gnomonique afin de faire apprécier les cadrans solaires que l'auteur décrit dans le bulletin de Charmizay.	Rodenburger Joël	129
Récréations : à la recherche du zénith : principe et mode d'emploi des quadrants astrolabiques musulmans. Comparaison des courbes de prière.	Robic Joël	138
Cadrans solaires de l'Hôtel Amelot de Bisseuil : histoire, analyse, découverte des décors, restauration des cadrans dits de l'hôtel des des Ambassadeurs de Hollande	Savoie Denis	141
Pseudo-cadran chinois portable : étude gnomonique des cadrans solaires chinois portables avec boussole. Quelle précision a attendre de ces « Seasonal inclining dial » ?.	Savoie Denis	159
Un cadran canonial à Chypre : propos sur le cadran canonial de l'ex-cathédrale Sainte-Sophie à Nicosie en Chypre. Le plus oriental des canoniaux relevant du rite latin.	Schneider Denis	167
Informations diverses : <ul style="list-style-type: none"> ◦ nouveaux cadrans ◦ cadrans originaux de Cl. Gahon, ◦ restauration d'un cadran du XVIIIe ◦ remarques sur l'<i>Ecole de gnomonique de Lorca</i> ◦ étude sur les chiffres arabes et abréviations religieuses sur cadrans anciens. ◦ gnomonique du monde. 	 Contributeurs P. Gagnaire, Cl.Gahon, J. Garcia, Pierres de Rosette, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, D. Valls-Gabaud, G. Ventouillac, Sociétés étrangères.	172

En version numérique :

- Dans le « sommaire .doc », hyperliens à partir des titres vers les fichiers en .pdf
-  Indique que l'étude détaillée ou le logiciel est inclus dans le dossier "annexe"

Couverture : Un cadran de l'Hôtel Amelot de Bisseuil dit des « Ambassadeurs de Hollande », quartier du marais à Paris

CADRAN-INFO

est un moyen de diffusion d'articles gnomoniques rédigés principalement par les membres de la commission des cadrans solaires de la SAF.

Il vient en complément des publications de la **Société Astronomique de France** : *L'Astronomie* avec son article mensuel concernant les cadrans solaires et *Observations & travaux* qui présentent épisodiquement des sujets concernant la gnomonique.

CADRAN-INFO regroupe la majorité des présentations faites lors de nos deux réunions annuelles ainsi que des articles reçus en cours d'année.

CADRAN-INFO est devenu au cours des années UNE référence en matière d'études, de techniques, de méthodes, pour certaines totalement inédites.

CADRAN-INFO paraît en mai et en octobre sous forme : papier (N&B ou en couleurs) et CD (les N° 1 à 5 sont des numérisations des tirages papier).

La liste des articles parus depuis le premier numéro est disponible sur demande.

Dans un souci d'échanges de connaissances et d'informations, **CADRAN-INFO** est offert aux autres associations gnomoniques (Allemagne, Angleterre, Autriche, Belgique, Canada, Espagne, Hollande, Italie, Japon, USA, Suisse).

Ph. Sauvageot

Président de la commission des cadrans solaires

- ◆ Les articles sont présentés par ordre alphabétique des auteurs (ou en fonction de la composition du bulletin). Le contenu est sous la responsabilité de l'auteur.
- ◆ Les auteurs qui souhaiteraient que leurs articles soient réservés exclusivement aux revues *L'Astronomie* ou *Observations & Travaux* devront le préciser dans leur envoi.
- ◆ Les auteurs doivent obligatoirement indiquer leurs sources ou références si le sujet a déjà fait l'objet d'articles ou de communications récents.
- ◆ Toute reproduction totale ou partielle des présents articles ne peut se faire qu'avec l'accord des auteurs.
- ◆ Les articles, documents, photos... ne sont pas retournés après publication.
- ◆ Les articles* sont à envoyer à Ph. Sauvageot par mail ou sur CD-Rom/DVD PC (**sous .doc, .docx, .odt, Excel ET sous PDF**) éventuellement sur papier.

Police : "Times New Roman", taille : 12, interligne : simple, marges : 2,5 avec en-tête et pied de page. Pour les formules ne pas utiliser "symbole" mais insertion "caractères spéciaux" sous Times New Roman. Dans la version Cadran Info numérique, une trame est à disposition.



D : Inhaltsverzeichnis Cadran-Info n° 34

- ° 2 jährliche Treffen: in der Provinz und in Paris (oder Vorort).
- ° Magazin Cadran Info, in Mai und Cadran Info + Inventar der Sonnenuhren, Astrolabien, Nokturlabien der Welt in Oktober.
- ° Zugang zu Studien, numerisierte Bücher, Software (auf Anfrage: Liste der Angebote, Liste der in Cadran Info 634 veröffentlichte Artikeln).
- ° Informations-Elbriefen über das ganze Jahr.

Kontakt : Ph. Sauvageot oder Sekretariat der SAF : ste.astro.france@wanadoo.fr

Inhaltsverzeichnis auf Deutsch, Englisch, Spanisch, Italienisch: Übersetzung von Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		
Verbesserung mit dem Astrolabium von Al Tusi: das Astrolabium für egal welche geographische Breite benutzbar machen und eine Skala von Tangenten und Cotangenten addieren.	Cura Bernard	11
Sonnenuhr mit beweglichen Zeiger, temporare Stunden: Zeichnung einer kanonischen Sonnenuhr mit beweglichen Zeiger und azimutale Sonnenuhr für die temporare Stunden.	Cura Bernard	15
Universaler Zirkel Sonnen -auf und -untergang: in welcher Richtung wird die Sonne auf und untergehen im Lauf des Jahres.	Cura Bernard	18
Konstruktion einer Sonnenuhr mit astroiden Spiegel: Berechnung und Herstellung einer mit astroiden Spiegel quasi äquatorparalle Sonnenuhr, mit Solarenstunden auf Lappen (Theorie von D. Collin in CI 32).	Marc Limousin & Dominique Collin	23
Erklärungen über dem senkrechte Analemma von M. Le Bourgeois (1599): Analyse eines manuskripten Textes, das eine verschwundenen Polyedersonnenuhr beschreibt und erklärt.	Mercier Eric & Gagnaire Paul	55
Die «Ahmad al-'Umarî» unterzeichnete Sonnenuhren: Deskription von 5 tunesischen Sonnenuhren des letzten Viertels des 19. Jh. von Ahmad al-'Umarî unterzeichnet.	Jarray Fathi & Mercier Eric	69
Sterne und Sonnenuhr von Regiomontanus: Entzifferung der Linien mit Sternen der im Museum « Arts et Métiers" konservierten Sonnenuhr von Regiomontanus.	Massé Yvon	90
Adomifikationen Régiomontanus und Placidus: Studie unter dem geometrischen Aspekt von zwei in Astrologie benutzten Domifikationen, die von Régiomontanus und die von Placidus. En Basic Programm folgt.	Pakhomoff Jean	96

Analematischeh Sonnenuhren: Persönliche Annäherung von waagerechten, senkrechten und inklinierten-deklinierenden analematischen Sonnenuhren	Pakhomoff Jean	100
Die Gnomonik: Generale Präsentation der Gnomonik um die Sonnenuhren, die der Autor un der Zeitschrift von Charmizay beschreibt schätzen zu können.	Rodenburger Joël	129
Rekreation: die Suche des Zenit: Prinzip und Gebrauchsanleitung der moslemischen astrolabischen Quadranten. Vergleich der Gebetskurven.	Robic Joël	138
Sonnenuhren des Hotel Amelot in Bisseuil: Geschichte, Analyse, Entdeckung des Dekors, Restauration der Sonnenuhren « des Hotel der Botschaftern von Niederlande » genannt	Savoie Denis	141
Pseudo chinesische tragbare Sonnenuhr: Gnomonische Studie der chinesischen tragbaren Sonnenuhren mit Kompass, Welche Präzision ist von diesen « Seasonal inclining dial »	Savoie Denis	159
Eine Kanonische Sonnenuhr in Zypern: Rede über der kanonischen Sonnenuhr auf der ex Kathedrale der Hl. Sophie in Nicosie in Zypern. Die am weitesten im Orient enfernte kanonische Sonnenuhr in Verbindung mit dem lateinischen Ritual.	Schneider Denis	167
Verschiedene Informationen : <ul style="list-style-type: none"> ° neue Sonnenuhren ° originale Sonnenuhren von Cl. Gahon, ° Restauration einer Sonnenuhr des 19. Jh. ° Bemerkungen über die « <i>gnomonische Schule von Lorca</i> » ° Studie über die arabische Ziffern und religiösen Abkürzungen auf alten Sonnenuhren. °Weltgnomonik.	Autoren P. Gagnaire, Cl.Gahon, J. Garcia, Pierres de Rosette, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, D. Valls- Gabaud, G, Ventouillac, Ausländische Gesellschaften.	172

Digitale version:

- ° In « *sommaire .doc* », **Hyperlinks ab den unterzeichnete Titeln zu .pdf Dateien.**
- °  **Gibt an, dass das detaillierte Studium oder die Software im Ordner "annexe" enthalten ist**




E : Sumari Cadran-Info n° 34

- ° 2 reuniones anuales: en las provincias y en París (o suburbios).
 - ° Cadran Info, mayo y Cadran Info + inventarios relojes de sol, astrolabios, nocturnals el mundo en octubre.
 - ° El acceso a los estudios, libros escaneados, software (bajo petición: lista de las ofertas, la lista de 634 artículos de Cadran Info).
 - ° información de mensajes de correo electrónico durante todo el año.
- Póngase en contacto con : Ph Sauvageot o la Secretaría de SAF : ste.astro.france@wanadoo.fr**

Sommaire en allemand, anglais, espagnol, italien : traduction de Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		
Adaptaciones al astrolabio de AL Tusi : volver el astrolabio utilizable cualquiera que sea la latitud y allí agregar una escala de las tangentes y cotangentes.	Cura Bernard	11
Cuadrante a estilo móvil horas temporales : trazado de un cuadrante "canónico" a estilo móvil y cuadrante acimutales para las horas temporales	Cura Bernard	15
Compás universal salida y puesta del sol : qué dirección se salida y se puesta el sol a lo largo del año.	Cura Bernard	18
Construcción de un reloj de sol a espejo astroide : Presentación detallada de los cálculos realizados bajo hoja de cálculo (Excel...) siguió planes de construcción de una maqueta de reloj de sol a reflexión cuyo espejo es una porción de curva astroide .	Marc Limousin & Dominique Collin	23
Pequeño Tratado del analemme vertical del Sr. el Bourgeois (1599) : análisis de un texto manuscrito de descripción y método de empleo de un bloque gnomonique desaparecido.	Mercier Eric & Gagnaire Paul	55
Los cuadrantes firmados "Ahmad al-EUmarî" : descripción de 5 cuadrantes tunecinos del último cuarto Xviii del siglo, firmados por Ahmad al-EUmarî.	JarrayFathi & Mercier Eric	69
Estrellas y cuadrante de Regiomontanus : descifrado de las líneas a las estrellas del cuadrante de Regiomontanus conservado al museo de las Artes y Oficios.	Massé Yvon	90
Domifications Régiomontanus y Placidus : Estudio de dos domifications utilizados en astrología bajo el aspecto geométrico la de Régiomontanus y Placidus. Va seguida de un programa en BASIC.	Pakhomoff Jean	96
Cuadrantes analemáticos : manera de ver personal de los cuadrantes analemáticos horizontales, verticales e inclinados declinando.	Pakhomoff Jean	100
Gnomonica : presentación general de la gnomonica con el fin de hacer apreciar los relojes de sol que el autor describa en el boletín de Charmizay..	Rodenburger Joël	129
Recreaciones : en busca del cenit: principio y método de empleo de los cuadrantes astrolabicos musulmanes. Comparación de las curvas de oraciones.	Robic Joël	138
Relojes de sol del Hotel Amelot de Bisseuil : historia, análisis, descubierto de los decorados, restauración de los cuadrantes dichos del hotel de los Embajadores de Holanda.	Savoie Denis	141
Pseudocuadrante solar chino : estudio gnomonico nunca	Savoie Denis	159

realizado hasta ahora relativa a los relojes de sol chinos portables con brújula. ¿Qué precisión se puede esperar?		
Un cuadrante canónico a Chipre: observación sobre el cuadrante canónico de la excatedral Santa-Sophie en Nicosia en Chipre. Lo más oriental del canónicos dependiendo del rito latino.	Schneider Denis	167
Distinta información: <ul style="list-style-type: none"> • Nuevos cuadrantes, • Cuadrantes originales de Cl. Gahon, • Estudio sobre los números arábigos y abreviaturas religiosas sobre cuadrantes antiguos, • Observaciones sobre la Escuela de gnomonique de Lorca, • Nuevas publicaciones, • Gnomónica del mundo. 	Contributeurs P. Gagnaire, Cl.Gahon, J. Garcia, Pierres de Rosette, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, D. Valls- Gabaud, G, Ventouillac, Sociétés étrangères.	172

En versión numérica:




- En el “sumario .doc”, supervínculos a partir de los títulos hacia los archivos en .pdf.
-  Indicado que el estudio detallado o el programa informático se incluyen en el archivo “Anexo”.



GB : Contents Cadran-Info n° 34

- ° Two yearly meetings: in the Provinces and in Paris (or suburbs)
 - ° **Cadran Info** bulletin in May, and **Cadran info** inventory (world sundials, astrolabes, nocturlabes) in October
 - ° Access to studies, digitized books, software (on request : list of the 634 articles published in Cadran Info)
 - ° Information emails all the year long
- Contact : Ph Sauvageot or Secrétariat de la SAF : ste.astro.france @wanadoo.fr**


Sommaire en allemand, anglais, espagnol, italien : traduction de Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		
Al Tusi's astrolabe modifications : make this astrolabe useful for any latitude and add tangents and cotangents scale to it.	Cura Bernard	11
Temporary hours with mobile style sundial : “canonical” sundial with movable and azimuthal sundial for temporary hours.	Cura Bernard	15
Sunrise and sunset universal compass : indicates sun direction at sunrise and sunset all the year long.	Cura Bernard	18

Astroïd mirror sundial : calculation and making of an almost equatorial sundial astroïd mirror with solar hours on lobes (see D. Collin's theory in CI 32).		Marc Limousin & Dominique Collin	23
M. Le Bourgeois's vertical analemma (1599) small mathematical treaty : analysis of a hand written description and instruction regarding a lost gnomonic block.		Mercier Eric & Gagnaire Paul	55
Sundial with "Ahmad al-Umarî's signature : description of 5 last quarter of the VIIIth century tunisian sundials wearing this signature.		JarrayFathi & Mercier Eric	69
Stars and Regiomontanus sundial : deciphering of lines to stars of Regiomontanus's sundial preserved at "Arts et métiers" museum.		Massé Yvon	90
Regiomontanus's and Placidus's astrological houses : geometrical study of two astrological houses based on Regiomontanus's and Placidus's approach. A basic program follows.		Pakhomoff Jean	96
Analemmatic sundials : personal approach of horizontal, vertical, inclined, analemmatic declining sundials.		Pakhomoff Jean	100
Gnomonic science : general presentation of gnomonic science in order to make author's described sundials in Charmizay news bulletin appealing.		Rodenburger Joël	129
Playtime : searching for zenith: principle and use directions of muslim astrolabic quadrants. Comparison between prayers hours.		Robic Joël	138
Amelot de Bisseuil Hotel sundials : history, analysis, decorations discovery, " restoration of sundials of the named "Hôtel des Ambassadeurs de Hollande.		Savoie Denis	141
Portable chinese pseudo sundial : gnomonic study of portable chinese sundials with compass. Which accuracy can be expected for those "seasonal inclining dial " ?		Savoie Denis	159
Cyprus canonical sundial : about canonical sundial of the Sainte Sophie's ancient cathedral in Nicosia, Chyprus.		Schneider Denis	167
Miscellaneous information : <ul style="list-style-type: none"> ° New sundials ° Original sundials by Cl. Gahon ° A XVIII th century sundial restoration ° Comment on " <i>Ecole de gnomonique de Lorca</i> " ° Arabic numerals study and religious abbreviations on ancient sundials ° World gnomonic information. 		Contributeurs P. Gagnaire, Cl.Gahon, J. Garcia, Pierres de Rosette, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, D. Valls-Gabaud, G, Ventouillac, Sociétés étrangères.	172

En version numérique :

° Dans le « sommaire .doc », hyperliens à partir des titres vers les fichiers en .pdf

°  **Indique que l'étude détaillée ou le logiciel est inclus dans le dossier "annexe"**

 *indicates that the detailed study or software is included in the digital version.*



I: sommario Cadran-Info n° 34


- ° 2 riunioni annuali : in provincia e a Parigi (o periferia).
 - ° Rivista Cadran Info, in maggio e Cadran Info + inventari dei quadranti solari, astrolabi, notturlabi del mondo ad ottobre.
 - ° Accesso agli studi, libri digitalizzati, logiciel (software) (su richiesta : lista delle offerte, lista dei 634 articoli apparsi su Cadran Info).
 - ° messaggi d'informazione durante tutto l'anno.

Contatto : Ph. Sauvageot o la segreteria de la SAF : ste.astro.france@wanadoo.fr

Sommario in tedesco, inglese, spagnolo, italiano : traduzione di Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		
Aggiustamenti all'astrolabio di Al Tusi : rendere l'astrolabio utilizzabile a qualunque latitudine aggiungendovi una scala di tangenti et cotangenti.	Cura Bernard	11
Quadrante a stilo mobile ad ore temporarie : tracciato d'un quadrante «canonico» a stilo mobile et quadrante azimutale per le ore temporarie.	Cura Bernard	15
Compasso universale per determinare il levar ed il calar del sole : la direzione in cui sorge e tramonta il sole durante tutto l'anno.	Cura Bernard	18
Costruzione d'un quadrante solare a specchio ad astroide :  calcoli e fabbricazione d'un quadrante con specchio ad astroide quasi equatoriale con ore solari su lobo, (teoria di D. Collin in CI 32).	Marc Limousin & Dominique Collin	23
Piccolo Trattato dell'analemma verticale di M. Le Bourgeois (1599) : analisi d'un testo manoscritto di descrizione e del modo d'impiego d'un blocco gnomonico scomparso.	Mercier Eric & Gagnaire Paul	55
I quadranti firmati «Ahmad al-'Umarî» : descrizione di 5 quadranti tunisini dell'ultimo quarto del XVIII secolo, firmati da Ahmad al-'Umarî.	JarrayFathi & Mercier Eric	69
Stelle et quadrante di Regiomontanus : decriptazione delle linee delle stelle del quadrante di Regiomontanus conservato al museo delle Arti et Mestieri.	Massé Yvon	90
Adattamenti del Régiomontanus e del Placidus : studio di due varianti utilizzate in astrologia sotto l'aspetto 	Pakhomoff Jean	96

geometrico quella del Régiomontanus e quella del Placidus. Segue un programma in basic.		
Quadranti analemmatici : approccio personale ai quadranti analemmatici orizzontali, verticali ed inclinati declinanti.	Pakhomoff Jean	100
La gnomonica : presentazione generale della gnomonica al fine di fare apprezzare i quadranti solari che l'autore descrive nel bollettino di Charmizay.	Rodenburger Joël	129
Ricreazioni: alla ricerca dello zenit : principio e modo di impiego dei quadranti astrolabici mussulmani. Confronto delle curve di preghiera.	Robic Joël	138
Quadranti solari de l'Hôtel Amelot de Bisseuil : storia, analisi, scoperta dei decori, restauro dei quadranti detti de l'hotel degli Ambasciatori d'Olanda	Savoie Denis	141
Pseudo-quadrante cinese portatile : studio gnomonico dei quadranti solari cinesi portatili con bussola. Quale precisione ci si aspetta da questo «Orologio stagionale inclinato» ?	Savoie Denis	159
Un quadrante canonico a Cipro : proposta sul quadrante canonico de l'ex-cattedrale Santa-Sofia a Nicosia in Cipro. Il più orientale degli orologi canonici di rito latino.	Schneider Denis	167
Informazioni diverse : <ul style="list-style-type: none"> ° nuovi quadranti ° quadranti originali d Cl. Gahon, ° restauro d'un quadrante del XVIII secolo ° osservazioni sulla <i>Scuola di gnomonica di Lorca</i> ° studio sulle cifre arabe ed abbreviazioni religiose sugli antichi quadranti. ° gnomonica del mondo. 	Collaboratori <ul style="list-style-type: none"> ☞ P. Gagnaire, Cl.Gahon, J. Garcia, Pierres de Rosette, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, D. Valls-Gabaud, G, Ventouillac, Sociétés étrangères. 	172

In versione numerica :

- ° nel « *sommaire .doc* », ipercollegamenti a partire dai titoli verso i file in .pdf
- °  **Indica che lo studio dettagliato o il programma è incluso nel dossier "annexe"**



Aménagements à l'astrolabe d'Al Tusi

Bernard Cura

L'objectif est d'une part de rendre l'astrolabe utilisable quelque soit la latitude et y adjoindre une échelle des tangentes et cotangentes pour en faire le même usage que sur les astrolabes classiques ; de plus, dans l'exemple proposé, étendre cet usage au calcul des tables d'ombre.

L'astrolabe linéaire d'Al Tusi

Un astrolabiste persan, Scharafeddin Tusi, imagina vers la fin du XII^e siècle un astrolabe simplement constitué d'un bâton et de trois ficelles. Aucun exemplaire de cet instrument ne nous est parvenu, il est uniquement connu par un passage obscur du *traité des instruments* d'Abu'l-Haçan-Ali.

Ce n'est rien d'autre qu'un simple bâton où l'on a gravé la ligne méridienne d'un astrolabe ordinaire, ainsi que la position des centres et des points d'intersection des cercles de déclinaison et des cercles de hauteur. Une échelle des cordes de 0° à 180° permet de mesurer les angles.

Il permet certaines mesures usuelles d'un astrolabe avec beaucoup plus de précisions qu'on en attendrait d'un instrument aussi rustique.

(Ref.: Henri Michel, *Traité de l'astrolabe*, éditions Alain Brioux, Paris)

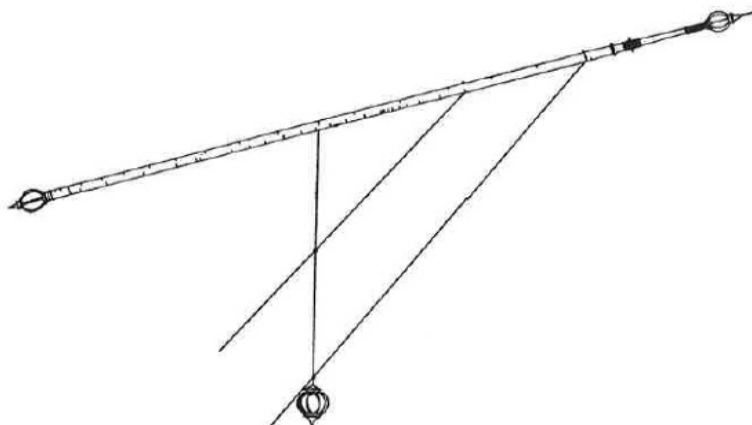
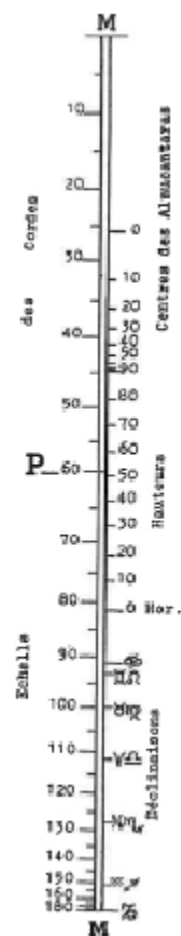
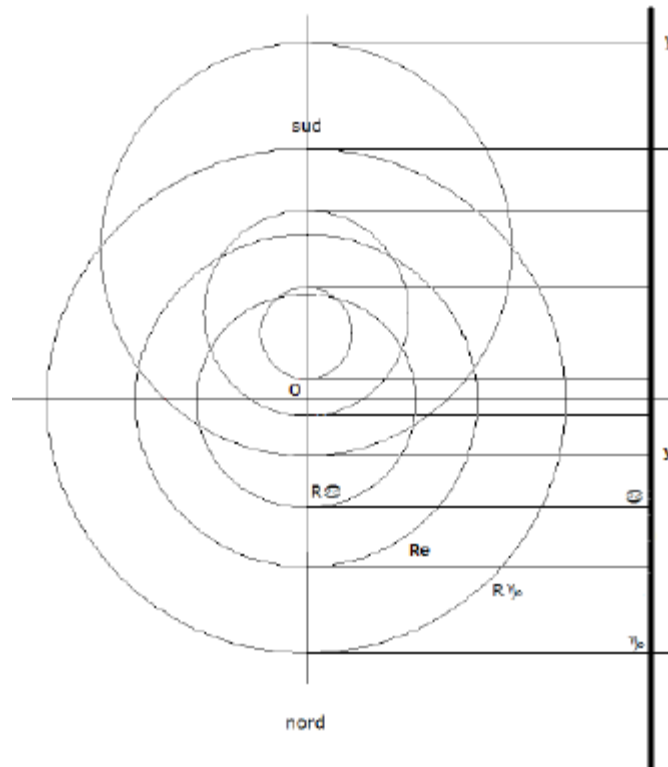


Fig. 10. — Astrolabe d'al-Tûsi.



Propriétés de l'échelle des almucantarats



Les ordonnées du passage des cercles des almucantarats au méridien, orientées vers le sud, sont données par :

- d'une part :

$$y = Re / \text{tang}((\text{lat}+h)/2)$$

où "Re" est le rayon de l'équateur, "lat" la latitude, et "h" la hauteur

On constate ici que lorsque la latitude "lat" augmente de "d" degrés et que l'almucantar "h" diminue de la même valeur, "y" reste constant.

Autrement dit, l'ordonnée "y" de l'almucantar "h" pour une latitude donnée, correspond à l'ordonnée "y" de l'almucantar "h-d" d'une latitude "lat+d".

- d'autre part :

Si $h < \text{lat}$ $y' = -Re \times \text{tang}((\text{lat}-h)/2)$

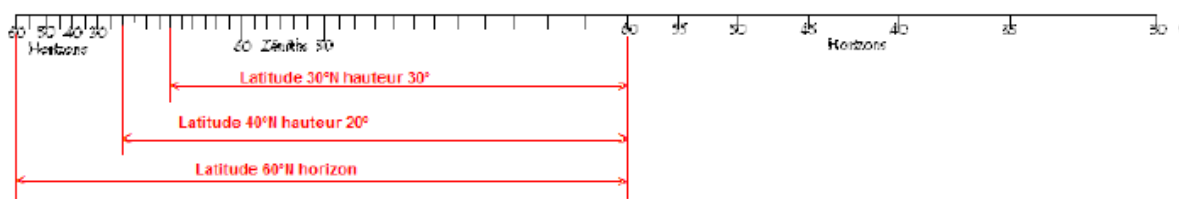
Si $h > \text{lat}$ $y' = Re \times \text{tang}((h-\text{lat})/2)$

On constate ici que lorsque la latitude "lat" augmente de "d" degrés et que l'almucantar "h" augmente de la même valeur, "y" reste constant.

Autrement dit, l'ordonnée "y" de l'almucantar "h" pour une latitude donnée, correspond à l'ordonnée "y" de l'almucantar "h+d" d'une latitude "lat+d".

Il y a donc superposition possible des échelles des latitudes et des almucantarats, et possibilité de tracer cette échelle sur l'astrolabe d'Al Tusi pour une plage de latitudes raisonnablement inscrite dans les dimensions de l'objet. Une plage de 30°N à 60°N convient.

Exemples pour une échelle graduée tous les 5° :

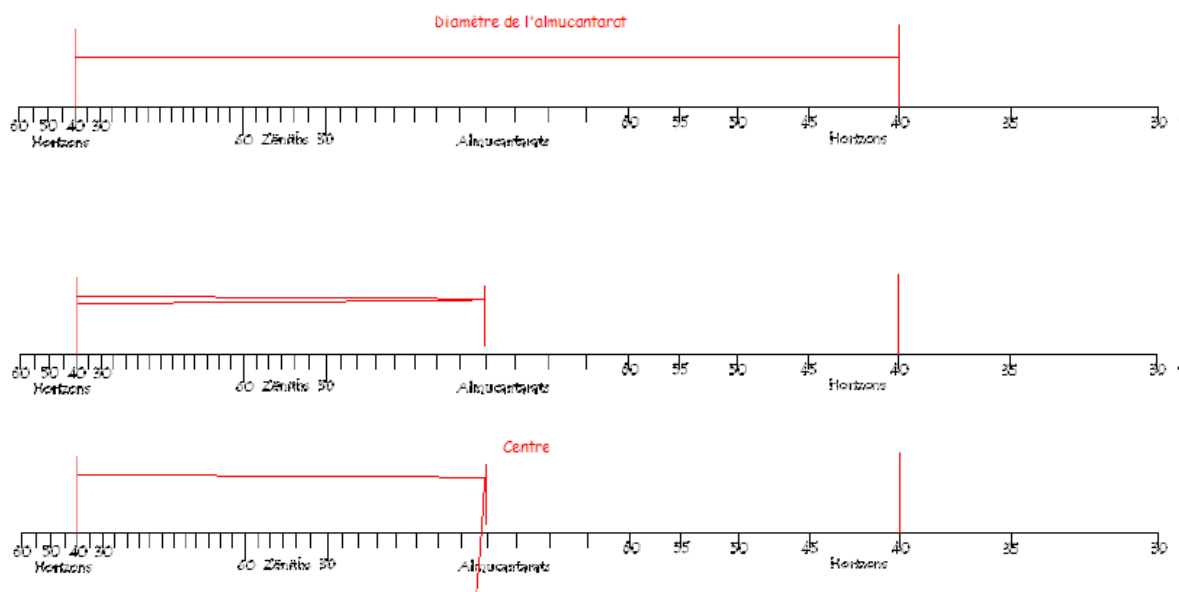


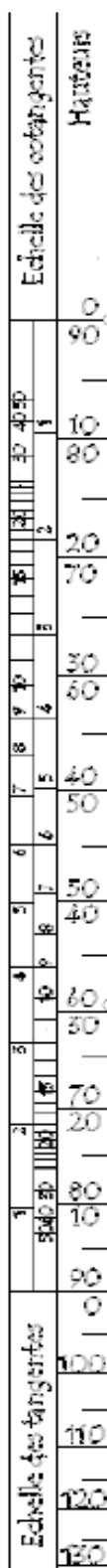
Si l'on substitue, en lieu et place, cette échelle à l'échelle des hauteurs et des centres figurant sur l'astrolabe, il devient apte à un usage sur une plage de latitudes élargie.

Mode opératoire

Lors de l'usage de l'astrolabe, il est nécessaire de positionner parfois le troisième fil de tension, d'une part sur l'almucantarats correspondant à la hauteur de l'objet observé ou attendu, et, d'autre part sur le centre du cercle correspondant. Avec cette nouvelle échelle, il suffit, pour trouver le centre du cercle, de tendre le fil sur le diamètre de l'almucantarats, et de le plier en deux pour obtenir le centre.

Exemple pour l'horizon de 40°N :





Échelle des tangentes et des cotangentes:

Il est possible aussi d'ajouter une échelle des tangentes et des cotangentes en regard de l'échelle des cordes. Cela permet alors d'en faire le même usage que sur n'importe quel autre astrolabe.

Si l'on paramètre cette échelle comme prolongement d'un carré des ombres divisé en 6 parties, nous pouvons l'utiliser pour élaborer une table d'ombre pour un homme d'une stature de 6 pieds, et ceci pour n'importe quel lieu situé entre 30°N et 60°N.

Il suffit à l'aide de l'astrolabe de déterminer les hauteurs du soleil au méridien (VIe heure) pour chaque mois de l'année, en utilisant une échelle des ascensions droites, et, comme il était d'usage autrefois, d'ajouter 1 puis 2, 3, 4, 5 pieds pour obtenir successivement les Ve et VIIe heures, IVe et VIIIe heures, IIIe et IXe heures, IIe et Xe heures, et enfin Ière et XIe heures.

Il est aussi possible de déterminer les heures de prière de l'islam, en ajoutant aux valeurs des ombres méridiennes 1,5 pieds pour obtenir al-zuhr, et 6 pieds pour obtenir al-asr.

(Pour tracer l'échelle des tangentes et cotangentes il suffit pour chaque valeur de l'échelle, exprimée en pieds, de diviser cette valeur par 6, obtenant ainsi la tangente puis l'angle correspondant. A partir de cet angle il suffit alors de déterminer la corde associée et de reporter cette valeur en regard de l'échelle des cordes).



Sur le sujet :

- "L'astrolabe linéaire" par Michel Dumas dans *L'Astronomie* n° 67 de décembre 2013 avec encart sur le nom du mathématicien et astronome SharafeddinTusi (1135-1213)

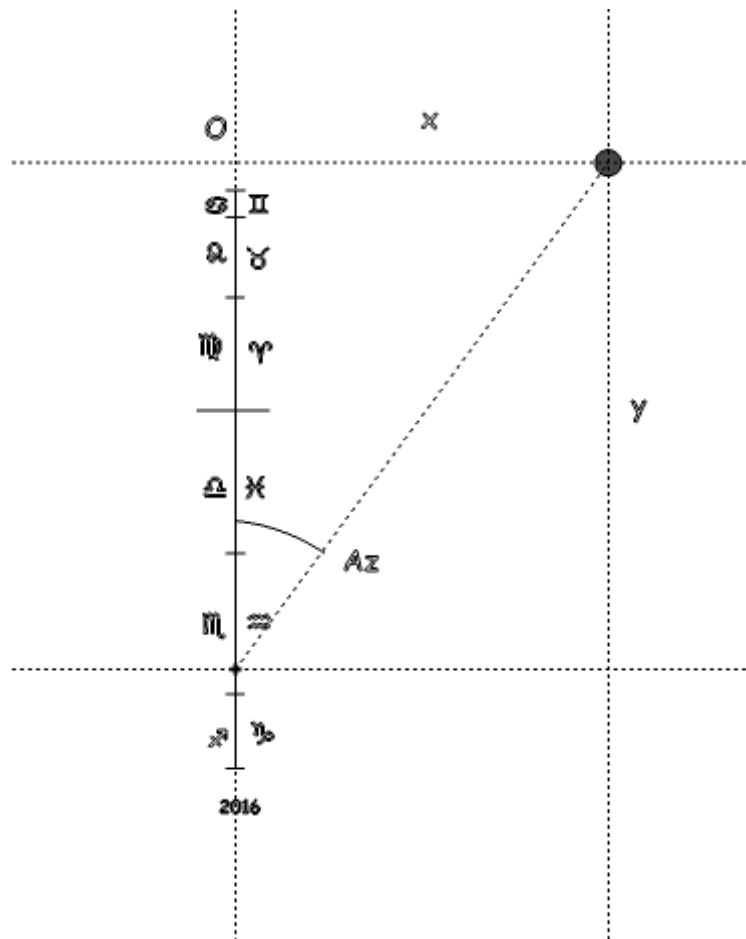


Cadran à style mobile heures temporaires

Bernard Cura

Est-il possible de tracer un cadran azimutal pour des heures temporaires ? C'est en m'essayant à cet exercice que j'ai d'abord abouti au tracé d'un cadran « canonial » à style mobile, puis à celui d'un cadran azimutal pour les heures temporaires.

Pour chaque heure du jour, il existe, en une latitude donnée, un ensemble de points sur un axe nord-sud définissant la position d'un style mobile pour chacune des déclinaisons du soleil au cours de l'année.

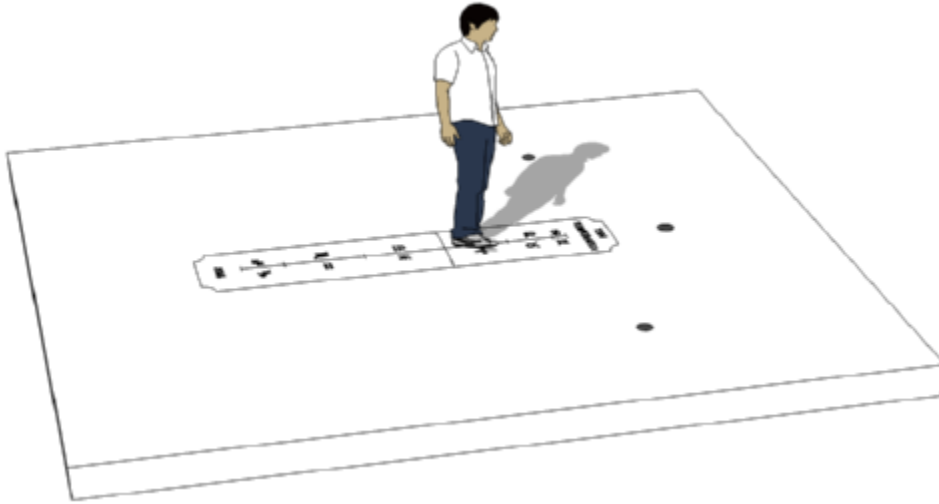


Pour une heure donnée, et pour une déclinaison donnée, la distance y au point d'origine O est donnée par la formule :

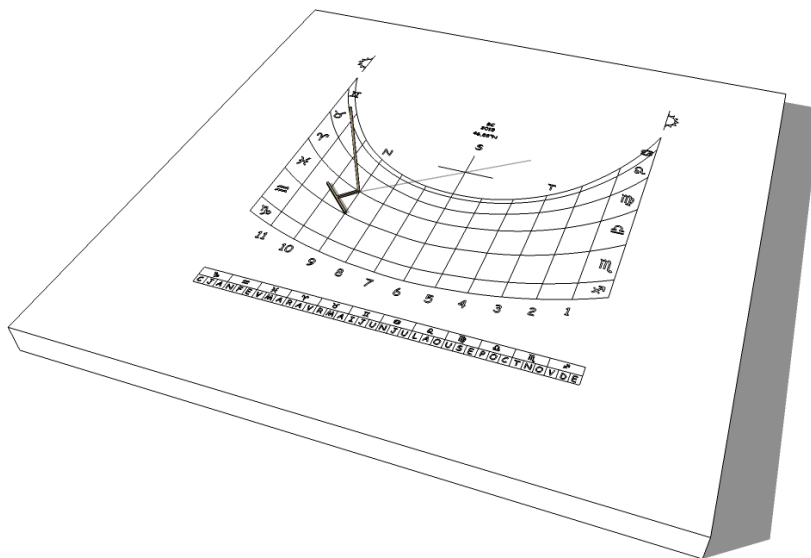
$$y = x/\tan(Az)$$

où Az est l'azimut du soleil (Nord = 0, Est = $\pi/2$).

Si nous fixons x a priori, il est possible de tracer un cadran "canonial" a style mobile pour indiquer les heures de Tierce, Sexte et None. En effet, les positions du style mobile sur l'axe nord-sud ne sont identiques que pour deux heures symétriques par rapport au méridien.

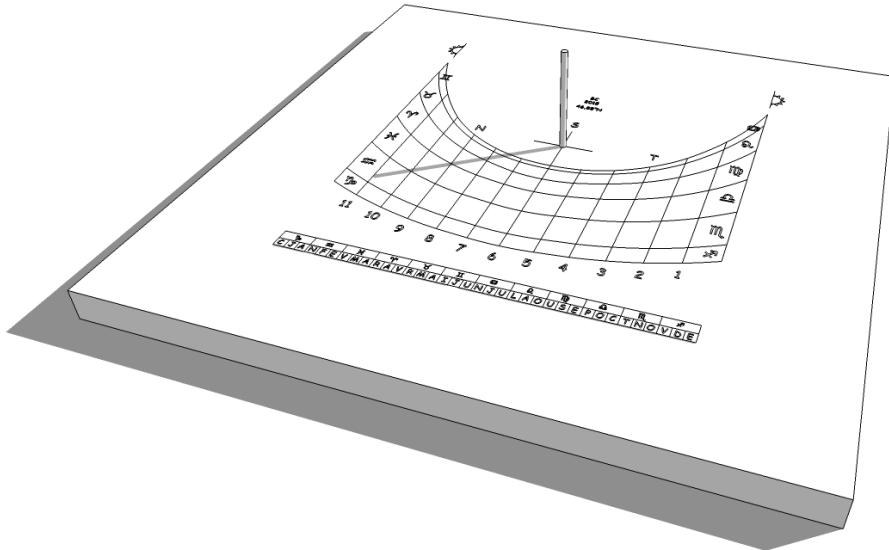


Sur le même principe, il est aussi possible, toujours avec les heures temporaires, de tracer un cadran complet à style mobile à partir d'un point fixe. Il suffit d'affecter une série d'axes nord-sud équidistants aux différentes heures, y compris les heures de coucher et lever du soleil ; x devient la distance orthogonale du point fixe à l'axe de chaque heure. Un calendrier zodiacal sur le cadran permet de positionner correctement le style.

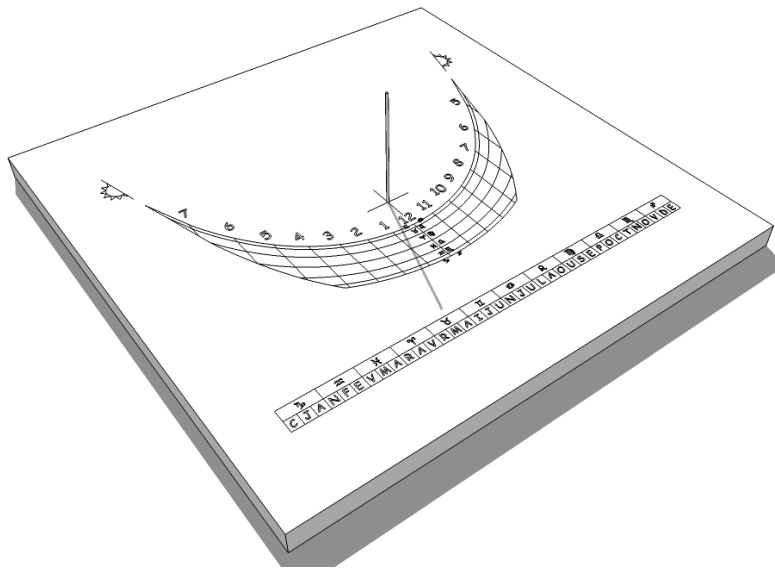


Réciproquement, un gnomon fixe peut aussi indiquer les heures sur le cadran en

fonction de la déclinaison. On a alors un cadran azimutal. Un calendrier zodiacal permet d'identifier correctement la zone de lecture.



Cette propriété peut aussi être appliquée aux heures solaires vraies pour tracer un cadran azimutal. Ici l'heure des lever et coucher du soleil sont variables selon la déclinaison.





Compas universel lever et coucher du soleil

Bernard Cura

Une originalité permettant de ne pas perdre le nord à l'aube ou au crépuscule! Mais aussi de savoir dans quelle direction se lève et se couche le soleil tout au long de l'année, et selon la latitude, si l'on connaît la direction Nord-Sud.

L'objectif est de trouver une relation simple entre les trois variables souhaitées pour le tracer de l'objet :

la latitude, l'azimut et la déclinaison, au lever comme au coucher du Soleil.

Expression de l'angle horaire au lever du Soleil

Le système de coordonnées utilisées pour les cadrans azimutaux est le système de coordonnées astronomiques locales : les coordonnées horizontales (Azimut [Az], hauteur [h]) et les coordonnées horaires (l'heure solaire [t] ; la déclinaison [d]).

Soit les variables suivantes :

lat : latitude (0 à l'équateur; $pi/2$ au pôle N; $-pi/2$ au pôle Sud)

d : déclinaison

t : heure solaire

h : hauteur du Soleil sur l'horizon (0 lorsque tangent horizon; $pi/2$ au zénith)

Az : azimut du Soleil (Nord = 0 , Est = $pi/2$)

Oz : angle de zenith (0 = zenith; $pi/2$ = horizon)

Nous connaissons la valeur de l'angle horaire

$$ah = t * pi / 12 + pi$$

et l'expression de l'angle de zénith

$$Oz = \text{acos}(\sin(lat) * \sin(d) + \cos(lat) * \cos(d) * \cos(ah))$$

Nous savons qu'au lever la hauteur du Soleil est nulle.

Si la hauteur $h = pi/2 - Oz$ alors

$$0 = pi/2 - Oz, \text{ et}$$

$$Oz = pi/2$$

Sachant que

$$\cos(Oz) = \sin(lat) * \sin(d) + \cos(lat) * \cos(d) * \cos(ah)$$

alors :

$$\cos(pi/2) = 0 = \sin(lat) * \sin(d) + \cos(lat) * \cos(d) * \cos(ah)$$

On en déduit, après simplification, la relation suivante

$$\cos(ah) = -\tan(lat) * \tan(d)$$

Expression de l'azimut au lever du Soleil

$$Az = \text{atan}(\sin(ah) / (\sin(lat) * \cos(ah) - \cos(lat) * \tan(d)))$$

Si l'on remplace $\cos(ah)$ par sa valeur au lever du Soleil, alors

$$Az = \text{atan}(\sin(ah) / (\sin(lat) * (-\tan(lat) * \tan(d)) - \cos(lat) * \tan(d)))$$

puis en simplifiant

$$Az = \text{atan}(-\sin(ah) / (\tan(d) * (\sin(lat) * \tan(lat) + \cos(lat))))$$

et en remplaçant $\tan(lat)$ par $\sin(lat) / \cos(lat)$

$$Az = \text{atan}(-\sin(ah) / (\tan(d) * (\sin^2(lat) + \cos^2(lat)) / \cos(lat)))$$

soit

$$Az = \text{atan}(-\sin(ah) / (\tan(d) / \cos(lat)))$$

d'où :

$$\tan(Az) = -(\sin(ah) * \cos(lat)) / \tan(d)$$

Relation entre la latitude, l'azimut et la déclinaison

Dans cette dernière expression il suffit chasser $\sin(ah)$ si nous voulons trouver une relation simple entre : la latitude, l'azimut et la déclinaison.

Sachant qu'au lever du Soleil

$$\cos(ah) = -\tan(lat) * \tan(d)$$

et que l'on peut écrire

$$\sin^2(ah) = 1 - \cos^2(ah)$$

alors

$$\sin^2(ah) = 1 - \tan^2(lat) * \tan^2(d)$$

si l'on élève au carré l'expression de l'azimut au lever du Soleil, on obtient

$$\tan^2(Az) = (\sin^2(ah) * \cos^2(lat)) / \tan^2(d)$$

en remplaçant $\sin^2(ah)$ par $1 - \tan^2(lat) * \tan^2(d)$, l'expression devient

$$\tan^2(Az) = ((1 - \tan^2(lat) * \tan^2(d)) * \cos^2(lat)) / \tan^2(d)$$

en développant

$$\tan^2(Az) = (\cos^2(d) / \sin^2(d) - \sin^2(lat) / \cos^2(lat)) * \cos^2(lat)$$

sachant que

$$\sin^2(d) + \cos^2(d) = 1$$

alors

$$\cos^2(d) / \sin^2(d) = 1 / \sin^2(d) - 1$$

de même

$$\sin^2(lat) / \cos^2(lat) = 1 / \cos^2(lat) - 1$$

d'où l'expression

$$\tan^2(Az) = (1 / \sin^2(d) - 1 / \cos^2(lat)) * \cos^2(lat)$$

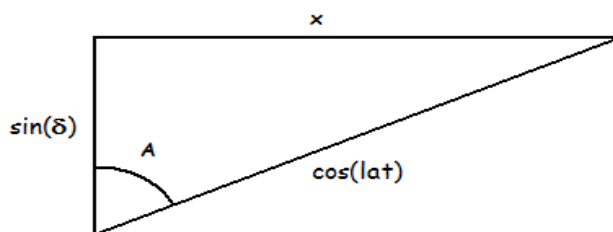
soit, en simplifiant, la relation recherchée au lever du Soleil entre la latitude, l'azimut et la déclinaison

$\tan^2(Az) = (\cos^2(lat) - \sin^2(d)) / \sin^2(d)$
--

Recherche d'une solution géométrique

Si l'on pose $x^2 = \cos^2(lat) - \sin^2(d)$

alors x est un des côtés du triangle rectangle ayant une hypoténuse de longueur égale à $\cos(lat)$ et un autre côté de longueur égale à $\sin(d)$.



Remarque : δ (ci-dessus) est équivalent à « d » dans les formules du texte

La tangente de l'angle A s'écrit :

$$\tan(A) = x/\sin(d)$$

et

$$\tan^2(A) = x^2/\sin^2(d)$$

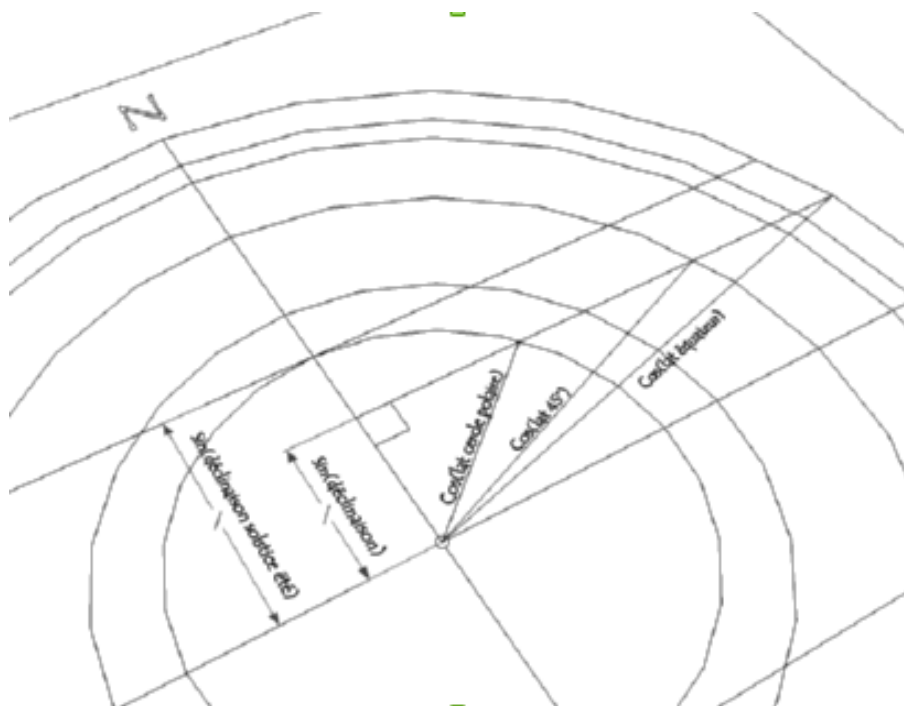
ou encore :

$$\tan^2(A) = (\cos^2(lat) - \sin^2(d))/\sin^2(d)$$

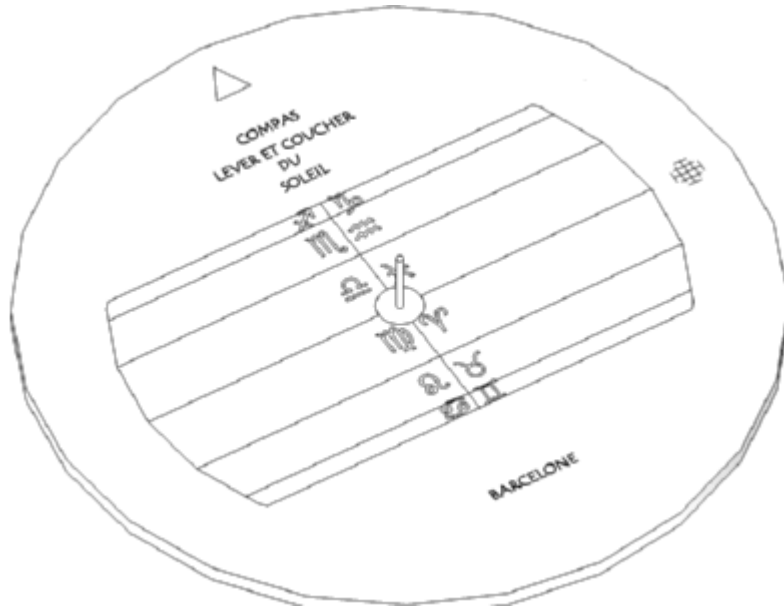
L'angle A représente donc bien la valeur de l'azimut au lever du Soleil pour une latitude (lat) et une déclinaison (d).

Il suffit donc de tracer un segment de droite d'une valeur égale à $\sin(d)$ sur un axe Nord-Sud, de tracer la perpendiculaire à ce segment en son extrémité nord, puis un arc de cercle de rayon $\cos(lat)$ centré sur l'extrémité Sud et coupant cette perpendiculaire, pour obtenir un triangle rectangle dont l'hypoténuse indique la direction du lever du Soleil.

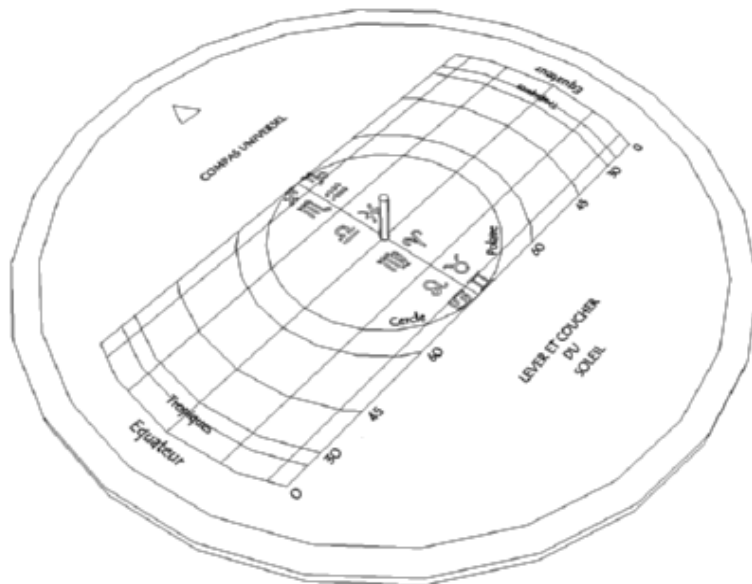
On peut donc tracer les figures suivantes pour différentes latitudes, et déclinaisons :



Il va de soi que le tracé pour le coucher du Soleil est symétrique.
Si l'on choisit les déclinaisons correspondantes aux changement des signes du zodiaque, on obtient pour une latitude donnée le compas lever coucher du Soleil suivant :



Ou bien, si l'on trace toutes les latitudes possibles sur le même disque, on obtient le compas lever et coucher du Soleil universel suivant :





Construction d'un cadran solaire à miroir astroïde

Marc Limousin & Dominique Collin

M. Marc Limousin nous présente les étapes du calcul et la fabrication d'un cadran solaire à miroir astroïde quasi équatorial avec heures solaires sur lobe, dont une étude théorique a fait l'objet d'une publication [Collin, 2015]¹. Les recherches géométriques sur la construction approchée du lieu des points de rebroussement de la caustique au soleil, donc les positions des points horaires, et les plans détaillés de la construction de cette variété nouvelle de cadran solaire sont également proposées.

1. Introduction

Ce cadran est constitué d'un miroir, bande rectangulaire souple suivant une courbe plane en forme d'astroïde. Le plan de la courbe étant quasi dans le plan équatorial et la bande miroir étant perpendiculaire au plan de la courbe.

L'astroïde est une hypocycloïde à 4 rebroussements. À un instant donné, les rayons incidents parallèles – rayons solaires – se réfléchissant sur le miroir forment des rayons réfléchis dont l'enveloppe, appelée *caustique*, présente un point de convergence de luminosité intense. C'est ce point qui indique l'heure de l'instant considéré. Au cours du mouvement du Soleil dans le ciel, ces divers points décriront une courbe des heures.

Pour des raisons pratiques, nous considérerons seulement deux branches de l'astroïde, le point de rebroussement commun étant dirigé vers le Sud (*cf.* fig. 1). Le système présente une double symétrie des tracés :

- côté Est et côté Ouest par rapport à la ligne de Nord-Sud.
- et chaque moitié de ces côtés par rapport aux lignes Sud-Est et Sud-Ouest.

Nous n'effectuerons donc que les calculs côté Ouest, pour transposer ensuite les résultats côté Est.

Nous commencerons par décrire pas à pas les calculs à partir d'un tableur (fichier Excel par exemple), puis nous présenterons les étapes de construction de la maquette proprement dite de ce cadran.

2. Description d'une feuille de calcul d'un tableur

2.1. Calcul du profil du miroir astroïde

Prenons un repère de coordonnées cartésiennes, l'axe des x dans la direction Est-Ouest, l'axe des y dans la direction Nord-Sud. Nous avons :

- Une donnée : a , facteur d'échelle de l'astroïde.

Nous lui donnons la valeur 1 pour l'étude.

Pour la réalisation pratique du cadran, nous multiplierons les résultats obtenus par la valeur a choisie pour cette réalisation.

¹ D. Collin, *Cadrans catacaustiques à miroir astroïde*, Cadran-Info n° 32, p. 22–32, octobre 2015. Toutes les formules sont extraites de cette étude.

- Un paramètre : t° , angle compris entre 0° et 90° ayant Ox comme origine.
- Mettons la valeur 1 de a dans **G1**. (cf. tableau 1)
- Mettons les valeurs successives de t° de 2° en 2° en colonne **A**, ligne 4 à 49.
- En colonne **B**, mettons les valeurs de t° en radians. Dans **B4** = $A4*\pi()/180$, répétée jusqu'à B49.

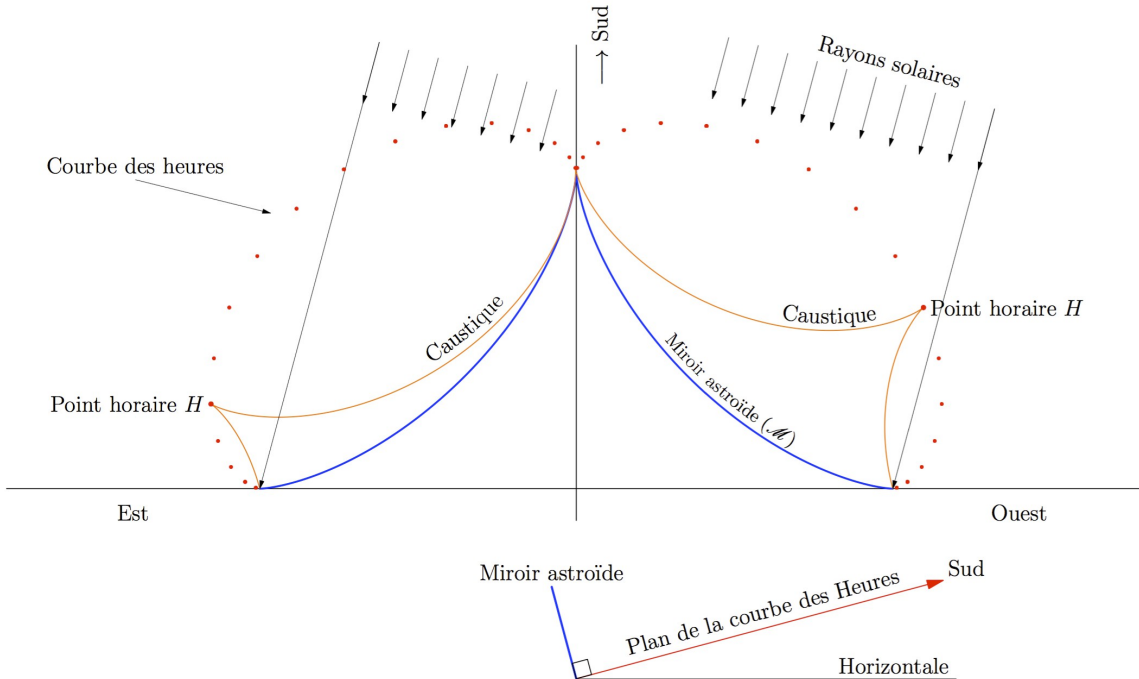


Figure 1.

Coordonnées des points du miroir astroïde.

$$\begin{cases} x = a \cos^3(t) \\ y = a \sin^3(t) \end{cases} \quad (1)$$

Voir table 1.

Mettons x dans la colonne **C** :

- X dans **C4** = $G\$1*[\cos(B4)]^3$ répété jusqu'à C49.

Mettons y dans la colonne D :

- Y dans **D4** = $G\$1*[\sin(B4)]^3$ répété jusqu'à D49.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	T'	U
1	C.S. à Miroir ASTROÏDE			quasi-équatorial		$\alpha =$	1				
2	Angle directeur		Miroir Astroïde		H & U r e s			Caustique 09,0 h		Caustique 15,0 h	
3	t deg	t rad	X	Y	h dec	H deg	H rad	X	Y	X	Y
4	0				8,1						
5	2				9,0						
30					24,9						
49	90										
94	180										

Table 1 – Extrait de la préparation d'une feuille de calcul de tableur (calcul du profil du miroir astroïde et des caustiques de 9 h à 15 h)

2.2. Calcul des caustiques

En colonne **E**, de E4 à E30, mettons l'heure décimale de 8,4 h à 21,6 h, de demi-heure en demi-heure entre 9,0 h et 21,0 h.

En colonne **F**, mettons en regard, de F4 à F30, la valeur H° de l'angle solaire correspondant. $H^\circ = (h_{\text{décimale}} - 12 \text{ h}) * 15^\circ$ dans **F4** = (E4 - 12) * 15, répété jusqu'à F30.

En colonne **G**, mettons en regard, de G4 à G30, la valeur H en radians.
 $H^{\text{rad}} = H^\circ * \pi / 180$. Dans **G4** = F4 * pi() / 180.

Coordonnées des points des caustiques.

$$\begin{cases} x = a \cos^3(t) - \frac{3}{4} a \sin(2t) \cos(H-t) \sin(H-2t) \\ y = a \sin^3(t) - \frac{3}{4} a \sin(2t) \cos(H-t) \cos(H-2t) \end{cases} \quad (2)$$

Traitons la caustique de 9,0 heures.

Mettons x dans la colonne **H**.

• X dans **H4** = G\$1*[cos(B4)]^3 - 3/4*G\$1*sin(2*B4)*cos(G5-B4)*sin(G5-2*B4),
 et répété jusqu'à H49.

Mettons y dans la colonne **I**.

• Y dans **I4** = G\$1*[sin(B4)]^3 - 3/4*G\$1*sin(2*B4)*cos(G5-B4)*cos(G5-2*B4),
 et répété jusqu'à I49.

Renouvelons ces opérations pour les caustiques de 10,0 heures à 15,0 heures, et d'heure en heure. On aura donc : colonnes J/K pour 10,0 h – L/M pour 11,0 h – N/O pour 12,0 h – P/Q pour 13,0 h – R/S pour 14,0 h et T/U pour 15,0 h.

2.3. Calcul des points horaires

Les points horaires sont les points de rebroussements des caustiques des heures correspondantes. À ces points, la pente des tangentes à la caustique change brutalement de signe. Il faut déterminer pour quelles valeurs du paramètre t° les dérivées de x et de y (coordonnées des points caustiques) par rapport à t° s'annulent simultanément.

Nous allons monter un tableau pour pouvoir trouver cette valeur de t° pour n'importe quelle valeur de d'heure décimale. (cf. tables 2 & 3)

Dans **V4**, mettons l'heure décimale souhaitée.

Dans **W4**, mettons l'angle horaire correspondant $H^\circ = (h_{\text{décimale}} - 12) * 15$:

W4 = (V4 - 12) * 15

Dans **X4**, mettons cet angle horaire en radians, c'est-à-dire : $H^\circ * \pi / 180$:

X4 = W4 * pi() / 180

En colonne **Y** de 4 à 94, mettons t° de 0° à 90° , de 1° en 1° .

En colonne **Z** de 4 à 94, mettons la valeur correspondante de t° en radians c'est-à-dire :

$t^\circ \cdot \pi / 180$:

Z4 = Y4* π ()/180 et répété jusqu'à Z94.

a) Calcul des dérivées des coordonnées de la caustique.

$$\left\{ \begin{array}{l} x'(t) = -3a \sin(t) \cos^2(t) + \frac{3}{2}a \sin(2t) \cos(H-t) \cos(H-2t) \\ \quad - \left[\frac{3}{4}a \sin(2t) \sin(H-t) + \frac{3}{2}a \cos(2t) \cos(H-t) \right] \sin(H-2t) \\ y'(t) = 3a \cos(t) \sin^2(t) + \frac{3}{2}a \sin(2t) \cos(H-t) \sin(H-2t) \\ \quad + \left[\frac{3}{4}a \sin(2t) \sin(H-t) + \frac{3}{2}a \cos(2t) \cos(H-t) \right] \cos(H-2t) \end{array} \right. \quad (3)$$

Décomposons les formules :

cos(t)	mis dans	AB4 = cos(ZA)	répété jusqu'à	AB94 ;
sin(t)	" "	AD4 = sin(ZA)	" "	AD94 ;
cos(2t)	" "	AE4 = cos(2*ZA)	" "	AE94 ;
sin(2t)	" "	AF4 = sin(2*ZA)	" "	AF94 ;
cos(H-t)	" "	AG4 = cos(X4-Z4)	" "	AG94 ;
sin(H-t)	" "	AH4 = sin(X4-Z4)	" "	AH94 ;
cos(H-2t)	" "	AI4 = cos(X4-2*Z4)	" "	AI94 ;
sin(H-2t)	" "	AJ4 = sin(X4-2*Z4)	" "	AJ94 ;

Mettons la dérivée $x'(t)$ en **AA4** et répétée jusqu'à AA94.

Dans **AA4** = 3*G\$1*AD4*AC4^2 + 3/2*G\$1*AF4*AG4*AI4 - (3/4*G\$1*AF4*AH4 + 3/2*G\$1*AE4*AG4)*AJ4

Mettons la dérivée $y'(t)$ en **AB4** et répétée jusqu'à AB94.

Dans **AB4** = 3*G\$1*AC4*AD4^2 + 3/2*G\$1*AF4*AG4*AJ4 + (3/4*G\$1*AF4*AH4 + 3/2*G\$1*AE4*AG4)*AI4 .

b) Recherche des coordonnées des points horaires.

Les coordonnées des points horaires seront celles de la caustique correspondante pour la valeur t° du point de rebroussement recherché. Il nous faut donc faire la liste des points horaires que nous voulons avec en regard :

- les valeurs des angles horaires en radians
- les valeurs de t^{rad} des points de rebroussement
- les coordonnées x et y données par les formules des caustiques.

En colonne **AK**, mettons en lignes 4 à 30 les heures décimales de 8,4 heures à 21,6 heures, de 0,5 h en 0,5 h de 9,0 h à 21,0 h.

En colonne **AN**, mettons en lignes 4 à 30 la valeur de t° trouvé dans la recherche des deux dérivées $x'(t)$ et $y'(t)$ face à l'heure correspondante.

En colonne **AO**, mettons en lignes 4 à 30 la valeur de t° en radians c'est-à-dire : $t^\circ \cdot \pi / 180$;

- dans **AO** = $AN4 \cdot \pi() / 180$ et répété jusqu'à AN30.

En colonne **AP**, mettons en lignes 4 à 30 la valeur de H° de l'angle horaire correspondant à l'heure décimale en colonne AK c'est-à-dire $(h_{\text{décimale}} - 12) \cdot 15^\circ$;

- dans **AP4** = $(AK4 - 12) \cdot 15$ et répété jusqu'à AK30.

En colonne **AQ**, mettons en lignes 4 à 30 la valeur de H° en radians c'est-à-dire : $H^\circ \cdot \pi / 180$;

- dans **AQ4** = $AP4 \cdot \pi() / 180$ et répété jusqu'à AQ30.

En colonne **AL** et **AM**, mettons en lignes 4 à 30 les coordonnées des points horaires d'après les formules des caustiques [équations (2)].

Mettons x dans la colonne **AL**.

- X dans **AL4** = $G\$1 \cdot \cos(AO4)^3 - 3/4 \cdot G\$1 \cdot \sin(2 \cdot AO4) \cdot \cos(AQ4 - AO4) \cdot \sin(AQ4 - 2 \cdot AO4)$

et répété jusqu'à AL30.

Mettons y dans la colonne **AM**.

- Y dans **AM4** = $G\$1 \cdot \sin(AO4)^3 + 3/4 \cdot G\$1 \cdot \sin(2 \cdot AO4) \cdot \cos(AQ4 - AO4) \cdot \cos(AQ4 - 2 \cdot AO4)$

et répété jusqu'à AM30.

c) Processus pour trouver les coordonnées des points horaires (résolution numérique)

1. Mettre dans V4 la valeur décimale de l'heure recherchée ;
2. Chercher dans la colonne Y la valeur de t° pour laquelle $dx(t)$ et $dy(t)$ s'annulent ensemble, avec au moins trois décimales pour t° ;
3. Mettre cette valeur de t° dans la colonne **AN** sur la ligne de l'heure considérée en colonne AK ;
4. Les coordonnées du point horaire sont en colonnes **AL** et **AM** sur la ligne de l'heure considérée.

Si la recherche est faite pour la tranche d'heures de 8,4 h à 15,0 h, les coordonnées pour la tranche d'heures de 15,0 h à 21,6 h sont, par symétrie, les mêmes, les X et les Y étant permutés. Les t° correspondant de cette dernière tranche d'heures sont égaux au $(90^\circ - t^\circ)$ de la première tranche d'heures.

Nous avons ainsi en colonnes **AL** et **AM** les coordonnées des points horaires pour un miroir astroïde de paramètre $a = 1$. Pour un miroir de paramètre $a = 320$ mm, correspondant à une réalisation pratique de cadran, les coordonnées sont en colonnes **AR** et **AS**, les précédentes coordonnées pour $a = 1$ étant multipliées par 320.

Nous avons obtenus les résultats de la branche « Est » de l'astroïde (*cf.* table 3). Par symétrie, les résultats de la branche « Ouest » pour les heures de 3,6 h à 15, 4 h seront identiques pour les valeurs de y et négatives pour les valeurs de x .

	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1							
2	Recherche	des Points	Horaires			Dérivées de Caustique	
3	μ_{dec}	H_{deg}	H_{rad}	t_{rad}	t_{rad}	$dX(t)$	$dY(t)$
4	9,0	-	-	0	1		
5				1			
94				30			

	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
1								
2								
3	$\cos(t)$	$\sin(t)$	$\cos(2t)$	$\sin(2t)$	$\cos(H-t)$	$\sin(H-t)$	$\cos(H-2t)$	$\sin(H-2t)$
4								
5								
94								

Table 2 – Recherche des points horaires et dérivées de caustiques.

	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
1									
2	Courbe des Points Horaires avec $a=1$								
3	HEURE	X	Y	t deg	t rad	H deg	H rad	X	Y
4	8,1								
5	9,0								
30	21,9								
								Courbe avec $a=320$ mm	

Table 3 – Courbe des points horaires avec $a=1$ puis, $a=320$ mm.

Des exemples numériques complet se trouvent en annexe à la fin de l'article.

3. Fonctionnement général du cadran

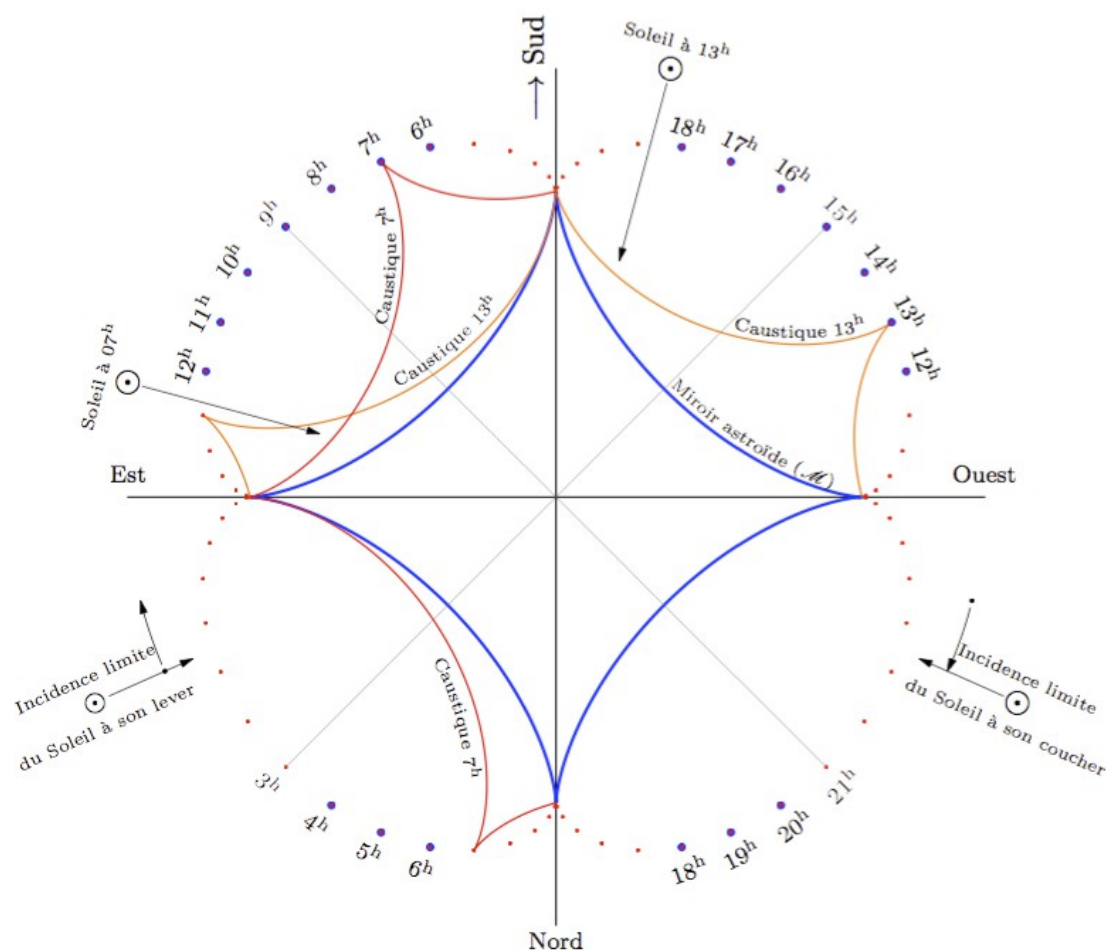
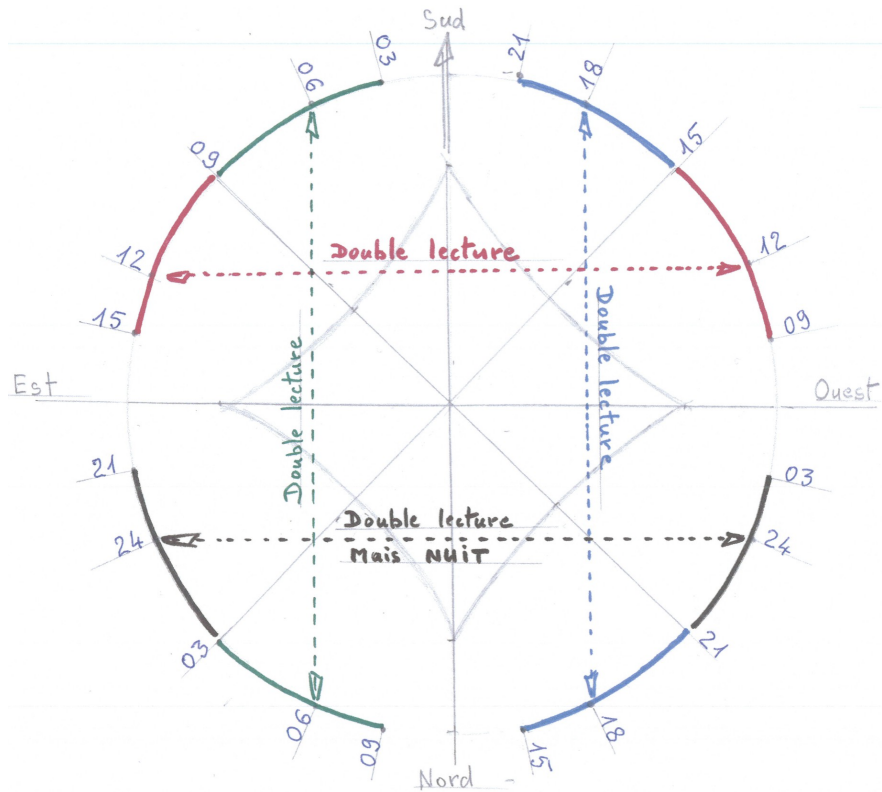


Figure 2 – Fonctionnement du cadran.

Voici l'aspect du cadran (fig. 2) si on le réalise avec les 4 branches de l'astroïde. Mais en pratique, les rayons solaires avant 06 h et après 18 h ne sont pas très performants, c'est pourquoi on se limitera aux deux seules branches « Sud ». On remarque que pour certaines heures, 2 branches du miroir astroïde sont éclairées. Nous avons alors deux caustiques formées et donc des lectures d'heure sur 2 graduations. Cela pour 9 h à 15 h. Mais, de 12 h à 9 h et de 12 h à 15 h, l'une des branches du miroir étant de plus en plus partiellement « éclairée » (pour ne plus l'être à 09 h et à 15 h), le point lumineux horaire formé (rebroussement) est de plus en plus faible et la lecture de ce deuxième point d'heure plus difficile.

Cette particularité de double lecture d'heure permet au cadran, pour cet intervalle d'heures, d'être auto-orientable. En théorie, si l'on réalisait les deux branches « Nord » du miroir astroïde, on aurait la même particularité de double lecture de l'heure pour les intervalles 03 h à 09 h et 15 h à 21 h.

Figure 3 – Principe de la double lecture de l'heure.



4. Positionnement de la table du cadran

Le miroir astroïde avec ses deux branches est posé perpendiculairement à la table du cadran sur laquelle sont dessinées les courbes des points horaires. Le plan de la table doit être dans le plan d'incidence des rayons du Soleil au jour d'observation, c'est-à-dire dans le plan de la trajectoire diurne du Soleil.

Il doit faire avec le plan horizontal un angle $(90^\circ - \varphi) + \delta$, avec φ la latitude du lieu, δ la déclinaison du Soleil, et être orienté de sorte que l'axe de l'astroïde, côté réfléchissant du miroir, soit orienté vers le Sud.

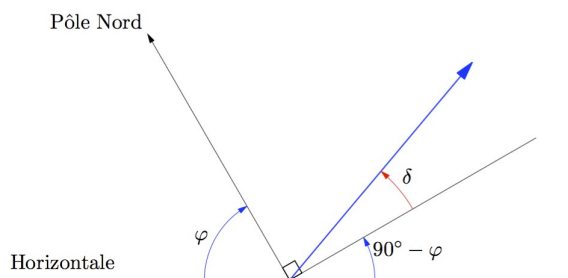


Figure 4a.

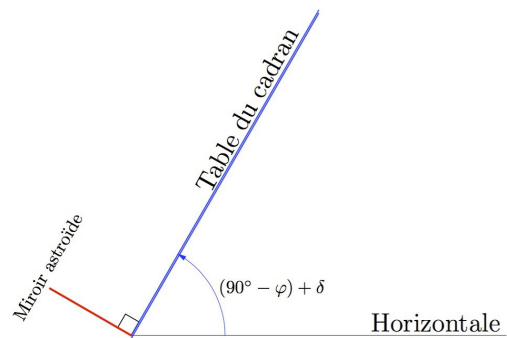
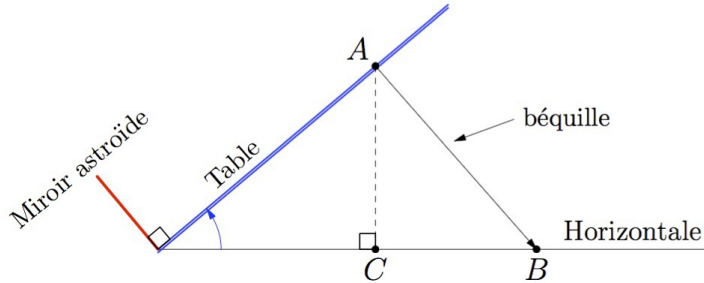


Figure 4b.

En pratique, nous plaçons une béquille sous la table pour la positionner correctement (cf. fig. 5). Il nous faut calculer les diverses longueurs OB , correspondant au 21 de chaque mois, pour une latitude donnée, B étant le pied mobile de la béquille articulée en A .



Articulation en O de la table.
 Articulation en A de la béquille.
 B = point d'ancrage de la béquille au jour d'observation.
 Angle $\widehat{BOA} = (90^\circ - \phi) + \delta$.

Figure 5.

Les mesures mensuelles sont suffisantes, car l'angle d'inclinaison doit être légèrement supérieur à l'angle calculé, de manière à ce que les faisceaux lumineux des caustiques coupent le plan de la table pour une bonne lisibilité du point de rebroussement des caustiques.

On a :

$$\begin{aligned} AC &= OA \times \sin \widehat{BOA} & OC &= OA \times \cos \widehat{BOA} \\ CB &= \sqrt{AB^2 - AC^2} & OB &= OC + CB \end{aligned}$$

Cf. Tableau 4 ci-dessous.

	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA
1	Recherche de OB pour l'inclinaison (a = 320 mm)							
2	Latitude	phi	phi (rad)	OA =	220	AB =	218	
3	Déclinaison du Soleil			BOA	AC	OC	CB	OB
4	21 dec.	-23,44	delta (rad)					
5	...							
6								
7								
8								
9								
10	21 janv.	23,44	delta (rad)					

Table 4: Calcul de OB pour la détermination de l'inclinaison en fonction de la date.

- Mettons dans **AW4** = $\text{Pi}()/2 - \text{AV2} + \text{AV4}$
- " " **AX4** = $\text{AX2} * \sin(\text{AW4})$
- " " **AY4** = $\text{AX2} * \cos(\text{AW4})$
- " " **AZ4** = $(\text{AZ2}^2 - \text{AX4}^2)^{0.5}$
- " " **BA4** = $\text{AY4} + \text{AZ4}$

répété jusqu'à la ligne 10.

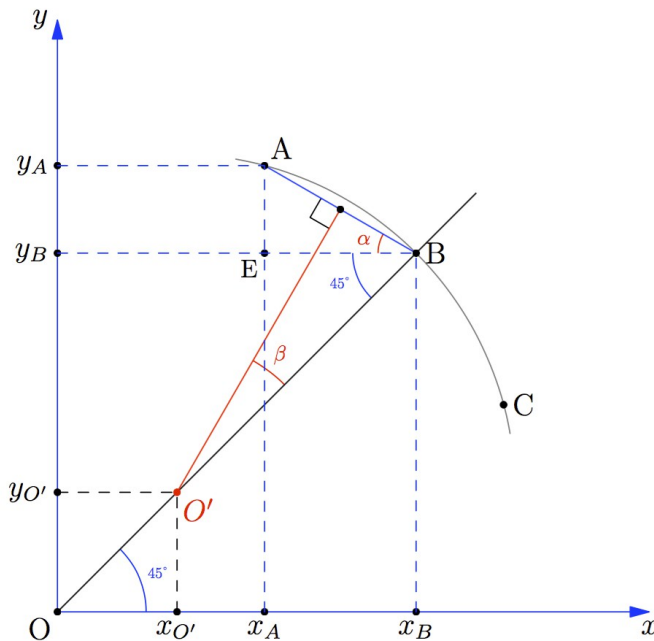
5. Aspect de la courbe des heures

Par exemple la branche 09 h 00 à 21 h 00. Cette courbe des heures, appelée lobe, ressemble pour partie :

- à un arc de cercle,
- et pour partie à un arc d'ellipse.

5.1. Recherche d'un arc de cercle supposé se confondre la plus possible avec le lobe

Ce cercle doit passer par les points horaires de 12 h 00, 15 h 00 et 18 h 00.



- *A* : point horaire 18 h00 correspondant à des rayons solaires incidents parallèles à l'axe *Ox*.
- *B* : point horaire 15 h 00 correspondant à des rayons solaires incidents de 45° par rapport à l'axe *Ox*.
- *C* : point horaire de 12 h 00.

Figure 6.

Cherchons le cercle passant par *A* et *B* centré sur la bissectrice des axes *Ox*, *Oy*, la bissectrice étant axe de symétrie du lieu des points horaires. Il passera également par *C*, symétrique de *A* par rapport à cette bissectrice.

Ce cercle aura pour centre *O'* et pour rayon *O'B*. On a, compte-tenu des indications de la figure 6 ::

$$\tan \alpha = \frac{AE}{EB} = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B}, \quad AB = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}.$$

$$BD = \frac{AB}{2} \quad \beta = 90^\circ - 45^\circ - \alpha, \text{ donc}$$

$$O'B = \frac{BD}{\sin \beta} \text{ qui est le rayon recherché.}$$

$$\text{Or, } OO' = OB - O'B \text{ et } OB = \sqrt{x_B^2 + y_B^2}, \text{ ainsi } x_c = y_c = \sqrt{\frac{OO'^2}{2}}.$$

Ce sont les coordonnées du centre *O'* recherché.

Mettons l'angle $\widehat{ABE} = \alpha$ dans $BC8 = \text{atan}[(AM23 - AM17)/(AL17 - AL23)]$.
 Mettons l'angle $\widehat{BO'D} = \beta$ dans $BC9 = \text{Pi}/4 - BC8$.
 Mettons BD dans $BC10 = [((AM23 - AM17)^2 + (AL17 - AL23)^2)^{0.5}]/2$.
 Mettons le rayon Op' dans $BC11 = BC10 / \sin(BC9)$, répété en BB4.
 Mettons OO' dans $BC12 = (AL17^2 + AM17^2)^{0.5} - BC11$.
 Mettons les coordonnées x_0 et y_0 , du centre O' dans $BC13 = (BC12^2 / 2)^{0.5}$
 répété en BC4.

	BB	BC
1		
2	centre x=y	Rayon
3	pour a = 1	
4	0,195	0,974
5	pour a = 320	
6	62,4	311,68
7		
8	Angle ABE	
9	Angle BO'D	
10	BD	
11	rayon O'B	0,974
12	OO'	
13	centre x=y	0,195

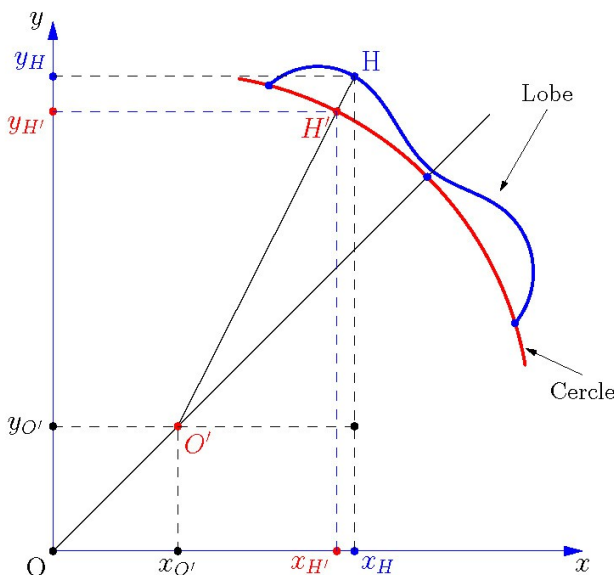
Dessignons ce cercle dont les points ont pour coordonnées :

$$\begin{cases} x = x_0 + \text{rayon} \times \cos t \\ y = y_0 + \text{rayon} \times \sin t \end{cases}$$

Mettons x dans $BD5 = BB4 + BC4 * \cos(B4)$
 répété jusqu'à BD49.

Mettons y dans $BE5 = BB4 + BC4 * \sin(B4)$
 répété jusqu'à BE49.

Calculons les « rayons » du lobe, point horaire par point horaire, c'est-à-dire la distance entre le centre O' de notre cercle recherché et les points horaires du lobe, afin de comparer cette distance avec le rayon du cercle.



◀ Figure 7 – Ecart entre le lobe horaire réel et le cercle de centre C.

Remarque : le lieu réel des points horaires (lobe) est volontairement exagéré sur la figure et donc n'a pas été reproduit à l'identique.

- H = point horaire réel situé sur le lobe.
- H' = point horaire correspondant situé sur le cercle supposé se confondre le plus possible avec le lobe.

$O'H = \text{« rayon du lobe »}$, $O'H' = \text{« rayon du cercle »}$.
 On a d'après la figure 7, $O'H = \sqrt{(x_H - x_{O'})^2 + (y_H - y_{O'})^2}$, et

$HH' = O'H - O'H'$ l'écart recherché.

Mettons O'H dans **BF4** = $[(AL4-BB4)^2 + (AM4-BB4)^2]^{0.5}$, et ce, répété jusqu'à BF30.

Mettons HH' dans **BG4** = BF4-BC4, répété jusqu'à BG30.

Pour le paramètre a de l'astroïde de valeur 320 mm HH' vaudra 320 fois plus.

Mettons cette valeur dans **BH4** = BG4*320, répété jusqu'à BH30.

Nous constatons que pour cette échelle de réalisation, l'écart est maximum pour les point horaires 13 h 00 et 17 h 00 avec une valeur de 0,9 mm, et inférieure à 0,9 mm pour les autres points entre 12 h 00 et 18 h 00.

Table 6a.

	BD	BE	BF	BG	BH
1	Recherche	Cercle	? des Heures		
2	Cercle pour	$a=1$		Ecart Lobe-Cercle	
3	X	Y	"Rayon" Lobe	pour $a=1$	pour $a=320$
4	∞	∞			
5					
6					
7					
∞					
30					
∞					
49					

	BI	BJ	BK
1		CERCLE	
2		pour $a=320$	
3	HEURES	X	Y
4	8,1		
5	9,0		
6	9,5		
∞			
30	21,9		
49			

Table 6b.

5.2. Recherche d'un arc d'ellipse supposé se confondre le plus possible à la courbe des heures

a) Les paramètres de l'ellipse

Cette ellipse doit passer par le point horaire 15,0 h et deux points horaires, symétriques par rapport à la bissectrice des axes Ox et Oy qui seront les extrémités du grand axe de cette ellipse.

A l'issue du processus suivant, démarré avec deux points horaires approximatifs, les tests effectués sur divers points horaires révèlent que les plus adaptés sont 8,1 h et 21,9 h.

Nous allons construire l'ellipse passant par les points horaires 08,1 h, 15,0 h et 21,9 h. Cette ellipse aura pour grand axe le segment joignant le point 08,1 h et le point 21,9 h dont le milieu sera O', centre de l'ellipse.

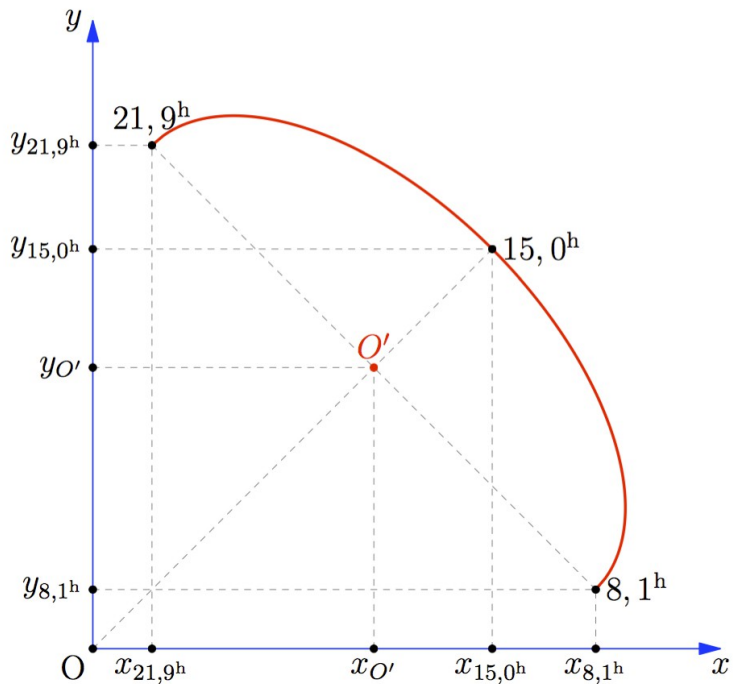


Figure 8 – Ellipse passant par les ponts horaires 8,1, 15,0 et 21,9 h.

Les coordonnées du centre O' de l'ellipse sont : $x_{O'} = y_{O'} = \left(\frac{x_{8,1h} - y_{21,9h}}{2} \right) + x_{21,9h}$

Mettons $x_{O'} = y_{O'}$ dans **BL4** = (AL4 - AL30) / 2 + AL30.

Le demi-grand axe de l'ellipse est égal à : $a = \sqrt{(x_{8,1h} - x_{O'})^2 + (y_{O'} - y_{8,1h})^2}$.

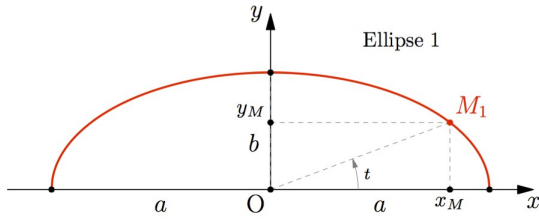
Mettons a dans **BL6** = [(AL4 - BL4)² + (BL4 - AM4)²]^{0.5}.

Le demi-petit axe de l'ellipse est égal à : $b = \sqrt{(x_{15h} - x_{O'})^2 + (y_{15,h} - y_{O'})^2}$.

Mettons b dans **BL8** = [(AL17 - BL4)² + (AM17 - BL4)²]^{0.5}.

Traçons à l'écran de l'ordinateur la demi-ellipse ① centrée sur O, ses axes étant sur Ox

et Oy .



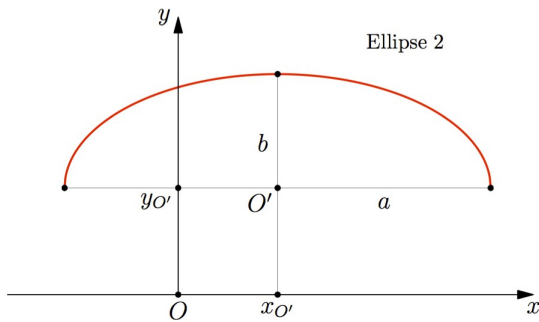
Les coordonnées de ses points sont :

$$\begin{cases} x_1 = a \times \cos(t) \\ y_1 = a \times \sin(t) \end{cases}$$

Figure 9 – Ellipse ①.

Mettons x_1 dans **BM4** = BL6*cos(B4), répété jusqu'à BM96.
 Mettons y_1 dans **BN4** = BL8*sin(B4), répété jusqu'à BN96.

Traçons la demi-ellipse ② centrée sur O' , ses axes étant parallèles à Ox et à Oy .



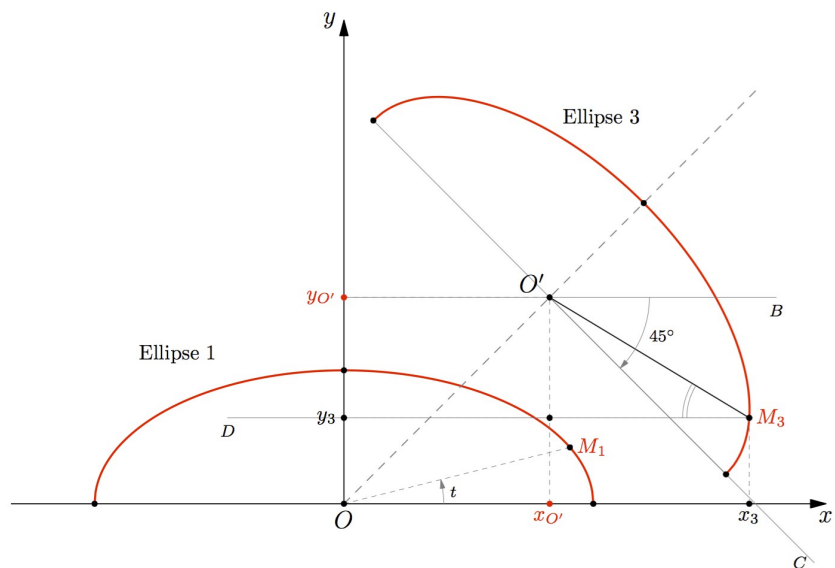
Les coordonnées de ses points sont :

$$\begin{cases} x_2 = x_1 + x_{O'} \\ y_2 = y_1 + y_{O'} \end{cases}$$

Figure 10 – Ellipse ②.

Mettons x_2 dans **BO4** = BM4 + BL4, répété jusqu'à B096.
 Mettons y_2 dans **BP4** = BN4 + BL4, répété jusqu'à BP96.

Figure 11 – Mise en place de l'ellipse ③.



Opérons une rotation de la demi-ellipse ② autour de O' de -45° de manière à ce qu'elle se superpose le plus possible à la courbe des heures/ C'est la demi-ellipse ③.

Calculons les « rayons » de l'ellipse ①, point par point, c'est-à-dire la distance entre le centre O de l'ellipse ① et les points de cette ellipse. Ces rayons sont identiques à ceux des ellipse ② et ③.

« rayon » OM_1 de l'ellipse ① = $\sqrt{x_1^2 + y_1^2}$

Mettons OM_1 dans **BQ4** = $(BM4^2 + BN4^2)^{0.5}$, répété jusqu'à BQ94.

Calculons les angles (Ox, OM_1) que font ces « rayons » de l'ellipse ① avec l'axe Ox .

$$\text{angle}(Ox, OM_1) \text{ d'ellipse 1} = \arctan\left(\frac{y_1}{x_1}\right)$$

Mettons cette valeur dans **BR4** = $\text{atan}(BN4/BM4)$ répété jusqu'à BR49, et de BR50 à BR94 : $=\text{atan}(BN50/BM50)+\pi()$.

L'angle $(OC', O'M_3)$ est égal à l'angle (Ox, OM_1) .

L'angle (M_3O', M_3D) est égal à l'angle $(O'M_3, O'B)$, lui-même égal à $-45^\circ + \text{angle}(OC', O'M_3)$. Mettons l'angle (M_3O', M_3D) dans **BS4** = $-\pi()/4 + BR4$, répété jusqu'à BS94.

Coordonnées des points M_3 de l'ellipse ③ :

$$\begin{cases} x_3 = OM'_3 * \cos(M_3O', M_3D) + x_{O'} \\ y_3 = OM'_3 * \sin(M_3O', M_3D) + y_{O'} \end{cases}$$

Mettons x_3 dans **BT4** = $BQ4 * \cos(BS4) + BL4$, répété jusqu'à BT94.

Mettons y_3 dans **BU4** = $BQ4 * \sin(BS4) + BL4$, répété jusqu'à BU94.

Pour un paramètre a de l'astroïde de 320 mm, x_3 et y_3 vaudront 320 fois plus.

Mettons ces valeurs dans **BV4** et **BW4**, alors

- x_3 dans **BV4** = $BT4 * 320$, répété jusqu'à BV94 ;
- y_3 dans **BW4** = $BU4 * 320$, répété jusqu'à BW94 ;

Coordonnées du centre O' dans **BX4** = $BL4 * 320$

Valeur a de l'ellipse dans **BX6** = $BL6 * 320$.

Valeur b de l'ellipse dans **BX8** = $BL8 * 320$.

Tableau 7a et 7b, page suivante.

	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU
1										
2	avec $a=1$	Ellipse 1 centrée sur O	Ellipse 2 centrée sur O'				Rotation Ellipse 3 de 45° autour de O'			
3	Centre O' $x=y$	X	Y	X	Y	d'ellipse 1	angle (O'MD) d'ellipse 3		avec $d=1$	Y
4	x									
5	a ellipse									
6	a									
7	b ellipse									
8	b									
94										

* Colonne BR – lignes 50 à 94 ==> ajouter pi() à la formule lignes 4 à 49 ...

Table 7 a.

	BV	BW	BX	BY	BZ
1	ELLIPSE			AXE	ELLIPSE
2	avec $a = 3,90$			avec	$a = 1$
3	X	Y	Centre $OC = 4$	X	Y
4			OC	OC (8,1)	4 (8,1)
5			α ellipse	OC (0')	4 (0')
6			α	OC (2,9)	4 (2,9)
7			β ellipse		
8			β		
9					
10					

Table 7 b.

b) Calcul des écarts entre le lobe et cette ellipse

Calculons les « rayons » du lobe, point horaire par point horaire c'est-à-dire la distance entre le centre O' de notre ellipse recherchée et les points horaires du lobe, afin de comparer cette distance avec les « rayons » correspondants de l'ellipse (cf. fig. 12).

On a :

- H : point horaire réel situé sur le lobe ;
- H' : point horaire correspondant situé sur l'ellipse ;
- $O'H$: « rayon » du lobe ;
- $O'H'$: « rayon » correspondant de l'ellipse ;
- $HH' = O'H' - O'H$, écart recherché.

On a : $O'H = \sqrt{(x_H - x_{O'})^2 + (y_{O'} - y_H)^2}$.

Mettons $O'H$ dans **CB4** = $[(AL4 - BL4)^2 + (BL4 - AM4)^2]^{0,5}$, répété jusqu'à CB30.

Le « rayon » $O'H$ du lobe fait un angle α avec l'axe de l'ellipse $\alpha = (\widehat{CO'H})$.

On a :

$$\cos(\widehat{AO'H}) \times O'H = y_{O'} - y_H$$

$$\cos(\widehat{AO'H}) = \frac{y_{O'} - y_H}{O'H}$$

$$(\widehat{AO'H}) = \arccos\left[\frac{y_{O'} - y_H}{O'H}\right]$$

$$\alpha = (\widehat{AO'H}) - 45^\circ$$

d'où : $\alpha = \arccos \left[\frac{y_{O'} - y_H}{O'H} \right] - 45^\circ$

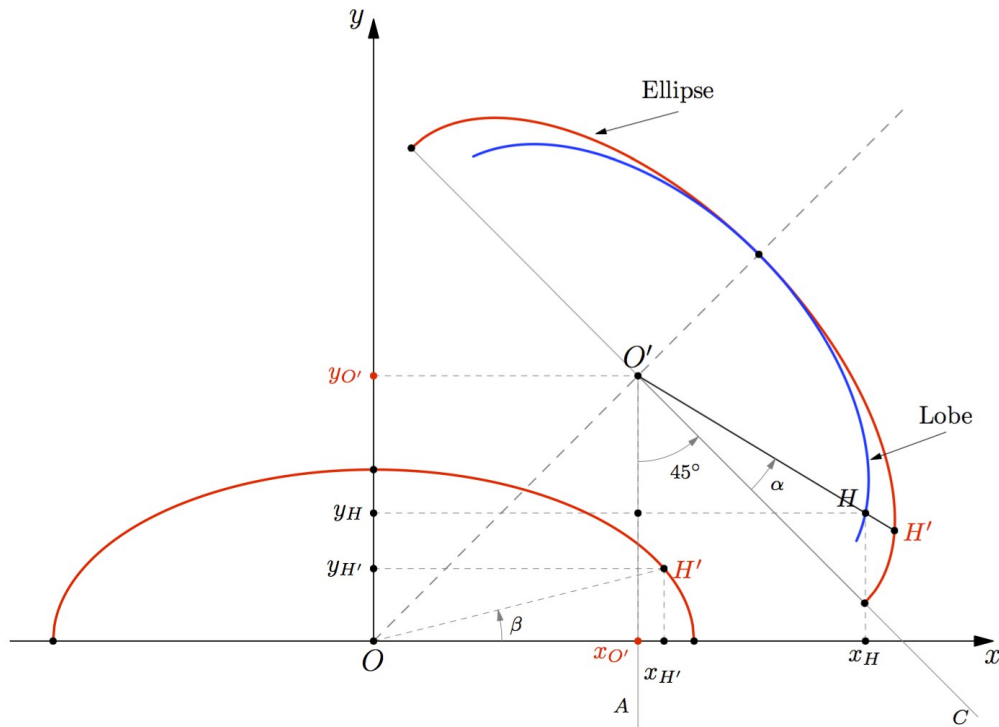


Figure 12 – Calcul des écarts entre le lobe et l'ellipse de substitution.

Mettons α dans **CC4** = $\text{acos}[(BL\$4-AM4)/CB4] - \text{pi}()/4$, répété jusqu'à CC21.
 Et de **CC22** à **CC30** = $2*\text{pi}() - \text{acos}[(BL\$4-AM22)/CB22] - \text{pi}()/4$.

Le point H' est défini par l'équation paramétrique de l'ellipse : $\begin{cases} x_1 = a \times \cos(\gamma) \\ y_1 = a \times \sin(\gamma) \end{cases}$.

Il faut rechercher la valeur de l'angle γ de telle sorte que l'angle β du « rayon » de l'ellipse soit identique à celui α du « rayon » du lobe pour une même valeur horaire.

On a :

$$\tan \beta = \frac{y_{H'}}{x_{H'}} \quad , \quad \tan \beta = \frac{b \times \sin \gamma}{a \times \cos \gamma}$$

$$\tan \beta = \frac{b}{a} \times \tan \gamma \quad \text{et donc : } \tan \gamma = \frac{a}{b} \times \tan \beta \quad , \quad \text{c'est-à-dire : } \gamma = \arctan \left(\frac{a}{b} \times \tan \beta \right)$$

L'angle β devra être identique à α , alors $\gamma = \arctan \left(\frac{a}{b} \times \tan \alpha \right)$.

Mettons γ dans **CD4** = $\text{atan}[\tan(\text{CC4})*(BL\$6/BL\$8)]$, répété jusqu'à CD17,
 et de **CD18** à **CD30** : $= \text{pi}() + \text{atan}[\tan(\text{CC18})*(BL\$6/BL\$8)]$.

Le « rayon » de l'ellipse $O'H = O'H' = \sqrt{x_{H'}^2 + y_{H'}^2}$, d'où :
 $O'H' = \sqrt{(a \cos y)^2 + (b \sin y)^2}$.

Mettons $O'H'$ dans **CE4** = [[BL\$6*cos(CD4)]^2 + [BL\$8*sin(CD4)]^2]^0,5
 répété jusqu'à CE30.

L'écart des deux « rayons » est $HH' = O'H - O'H'$.

Mettons HH' dans **CF4** = CB4 – CE4, répété jusqu'à CF30.

Pour un paramètre a de l'astroïde de 320 mm, HH' vaudra 320 fois plus.

Mettons cette valeur dans **CG4** = CF4*320, répété jusqu'à CG30.

Nous constatons que pour cette échelle de réalisation, l'écart est maximum pour les points horaires de 09 h 30 et 20 h 30 avec une valeur de 0,9 mm, et inférieur à 0,9 mm pour les autres points horaires entre 09 h 30 et 20 h 30.

	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG
1							
2		Calcul des "rayons" du Lobe et de l'Ellipse				Ecart Lobe-Ellipse	
3	HEURES	Rayon Lobe	Angle "a"	Angle "g"	Rayon Ellipse	pour a=1	pour a=320
4	8,1	⌋	⌋	⌋	⌋	⌋	⌋
5	9,0	⌋	⌋	⌋	⌋	⌋	⌋
?	?	⌋	⌋	⌋	⌋	⌋	⌋
30	21,9	⌋	⌋	⌋	⌋	⌋	⌋

Table 8 :

On trouvera à l'annexe §7, les représentations graphiques obtenues à partir du fichier Excel correspondant. On trouvera en annexe à Cadran Info le fichier sous format Excel pour le calcul de ce cadran à réflexion dont le miroir est une courbe astroïde.

6. Réalisation de la maquette d'un cadran à miroir astroïde

Voici la liste des différentes étapes utiles à la construction du cadran :

- Choix du paramètre a de l'astroïde de manière à avoir une branche de 480 mm.
 La longueur de la branche = $1,5 \times a$ d'où $a = 320$ mm. Ce sera la longueur de la bande en feuille plastique souple transparente utilisée comme miroir, augmenté de 2 fois 10 mm de marge soit 500 mm.
- Découpe de 2 bandes rectangulaires dans une feuille de plastique transparente souple de 0,8 mm d'épaisseur (vendue en 1 m de large).

- Prendre deux plaques de bois médium de 18 mm d'épaisseur de . Sur chacune des plaques (qui seront symétriques), tracer la branche d'astroïde et la courbe des points horaires, selon le schéma de la figure 6, à l'aide des résultats des équations données par le tableur Excel.
- De part et d'autre de l'arc des points horaires, tracer deux arcs à 10 mm de distance délimitant ainsi une bande de 20 mm de largeur où seront tracé la graduation des heures. A l'extérieur de cette bande, en tracer une deuxième de 20 mm de large également où seront inscrite la numérotation des heures.
- Découper le bois extérieur à cette dernière bande ; partie superflue.
- Découper les panneaux suivant le tracé de l'astroïde, avec grande précaution, pour respecter parfaitement la forme de la courbe. On obtient ainsi 4 morceaux : ① et ② comportant la marque des heures, et ③ et ④, parties intérieures de l'astroïde.
- Prendre un panneau de contreplaqué de 10 mm d'épaisseur de 430×820 mm sur lequel vient se superposer les 4 pièces de bois médium. Ces 4 pièces y seront fixées par des vis/boulons selon le schéma (figure 14).
- Fixer d'abord la partie ① médium par 3 vis/boulons.
- Positionner verticalement la bande miroir sur le tracé astroïde, débordant de 10 mm de part et d'autre.

Sur ces débords, fixer en vertical une tige plate vissée à la base dans le miroir et dans le médium, et en hauteur, dans le miroir par une vis/boulon. Ceci pour rigidifier la bande plastique très sensible aux déformations et donc engendrant des distorsions lors de la réflexion des rayons lumineux.

- Faire de même avec la partie ② médium, mais sur la partie "Sud" se servir de la tige précédente et ne fixer le miroir qu'en hauteur avec la même vis/boulon que pour ①.
- Fixer les parties ③ et ④ médium à leur place sur le support contre-plaqué avec 3 vis/boulons.

Leur rôle est de bien plaquer le miroir sur le tracé astroïde.

- Nous avons ainsi le plan du cadran solaire qui doit se trouver dans le plan de la trajectoire du Soleil pour capter au maximum ses rayons.
- Pour que le plan du cadran soit dans celui de la trajectoire diurne du Soleil, il faut pour une latitude ϕ et une déclinaison δ du Soleil, qu'il fasse un angle $90^\circ - \phi + \delta$ (fig. 15).

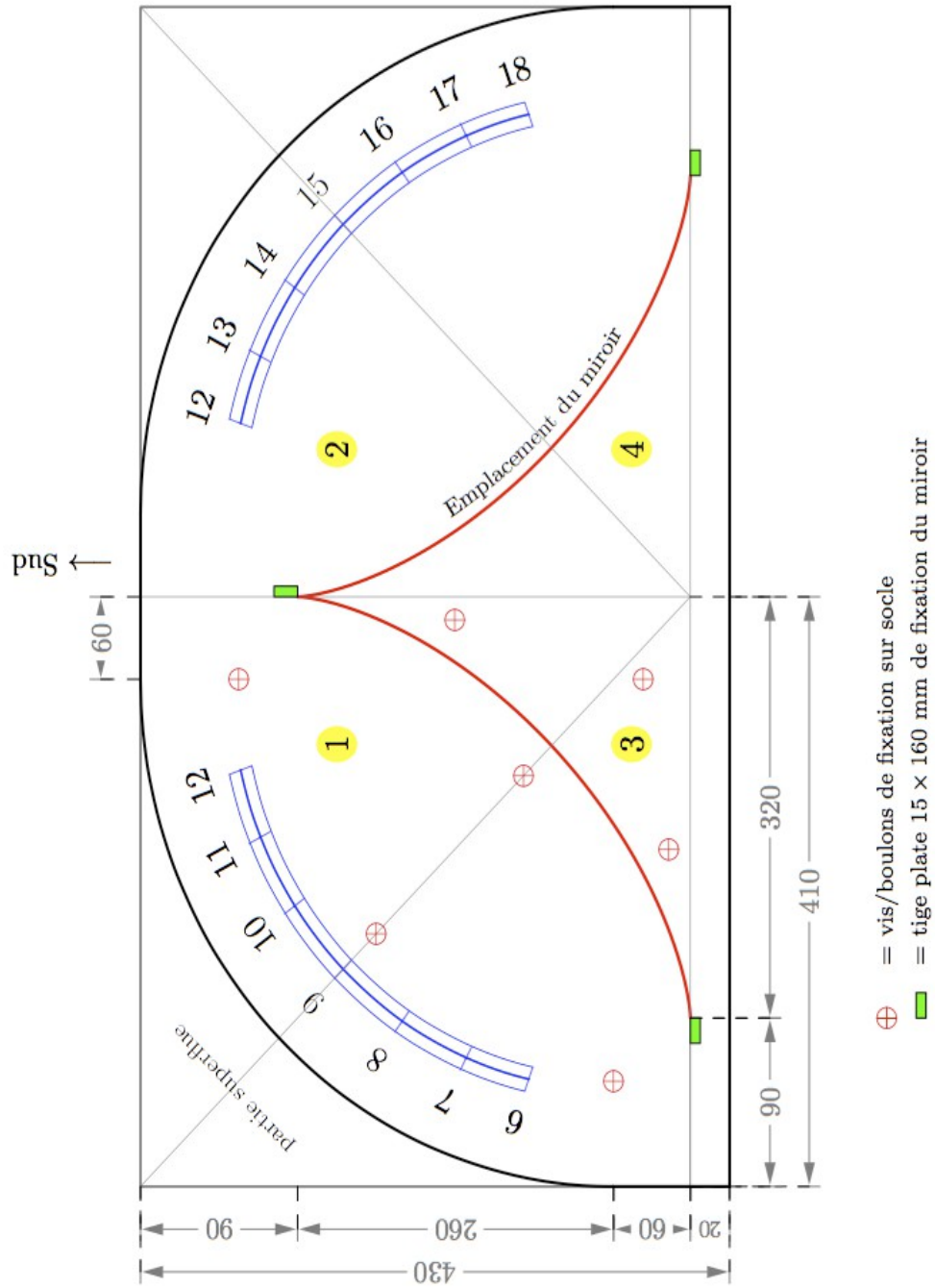


Figure 13 – Plan de construction.

Figure 14.

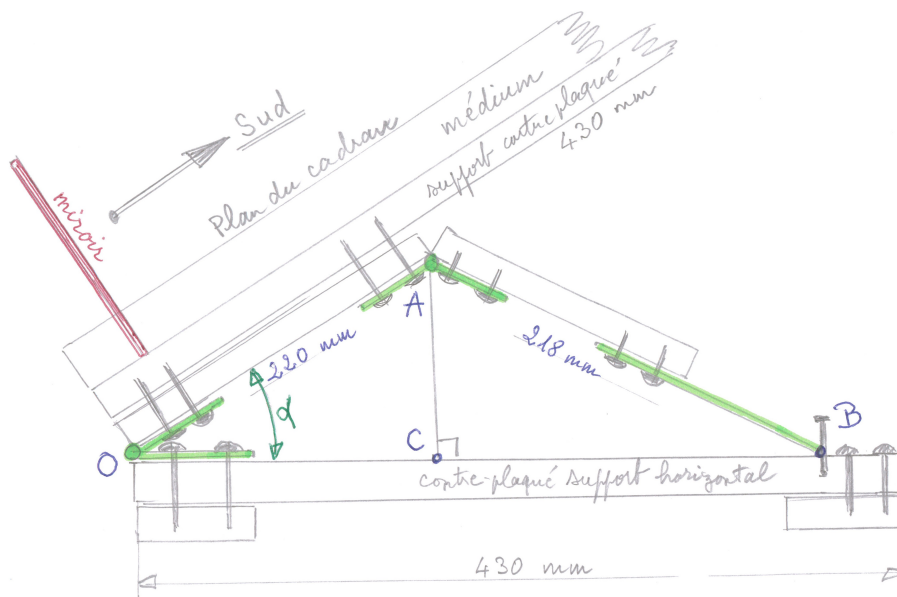
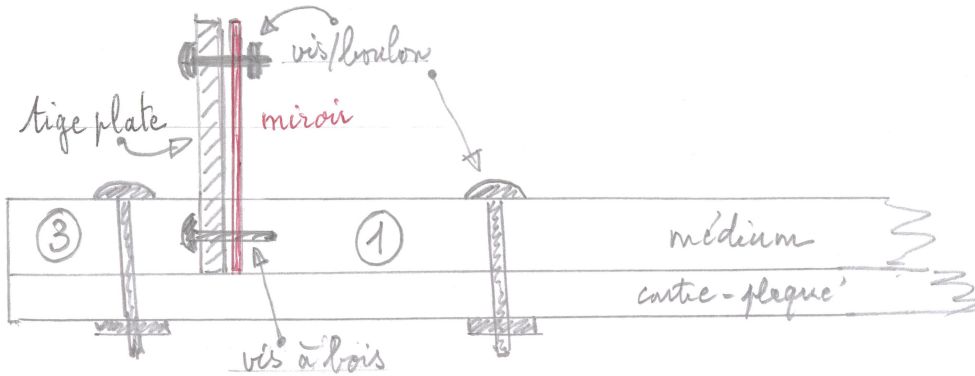
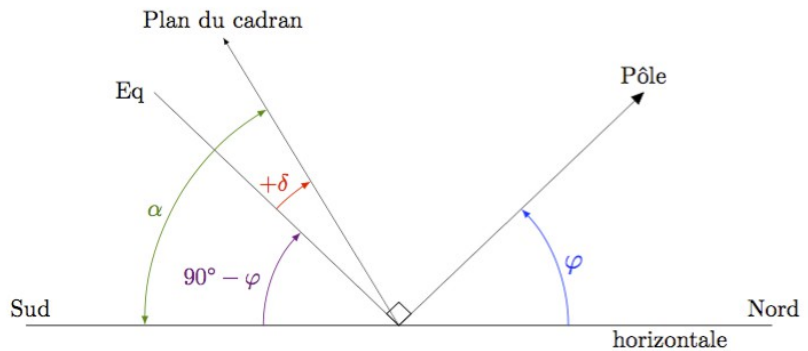


Figure 15. Vue en coupe du dispositif équatorial.

Figure 16. L'angle α .



- Prenons un panneau contre plaqué d'épaisseur 10 mm de 820×430 mm qui va servir de support horizontal.
Fixons-le au panneau support du plan du cadran par deux charnières fixées sur des

tasseaux de 20×20 mm dont les axes sont à 225 mm des bords du support horizontal.

- Fixons une troisième charnière sur un tasseau de 20×20 mm attenant au support du plan du cadran, telle que l'articulation *A* soit à 220 mm du bord inférieur *O* du plan du cadran.

L'autre partie de la charnière est fixé sur un tasseau prolongé par un tige plate, le tout faisant 218 mm de longueur. Cette partie est une béquille servant à contrôler la valeur de l'angle α en déplaçant son autre extrémité *B* sur le support horizontal.

- Calculons la position des différents point *B* sur le support horizontal selon les dates considérés. C'est la distance *OB*.

$$AC = OA \times \sin \alpha \quad OC = OA \cos \alpha \quad CB = \sqrt{AB^2 - AC^2}$$

Et enfin : $OB = OC + CB$.

Nous avons $OA = 220$ mm et $AB = 218$ mm.

Pour $\delta =$	-23,44°	le	21 décembre	$OB =$	409,1 mm
	-20,14°	les	21 janv. - nov.		399,4 mm
	-11,470		21 fév. - oct.		367,5 mm
	0,00°		21 mars – sept.		312,3 mm
	+11,47		21 avril – août		244,2 mm
	+20,15°		21 mai – juil.		185,3 mm
	+23,44	le	21 juin		161,3 mm

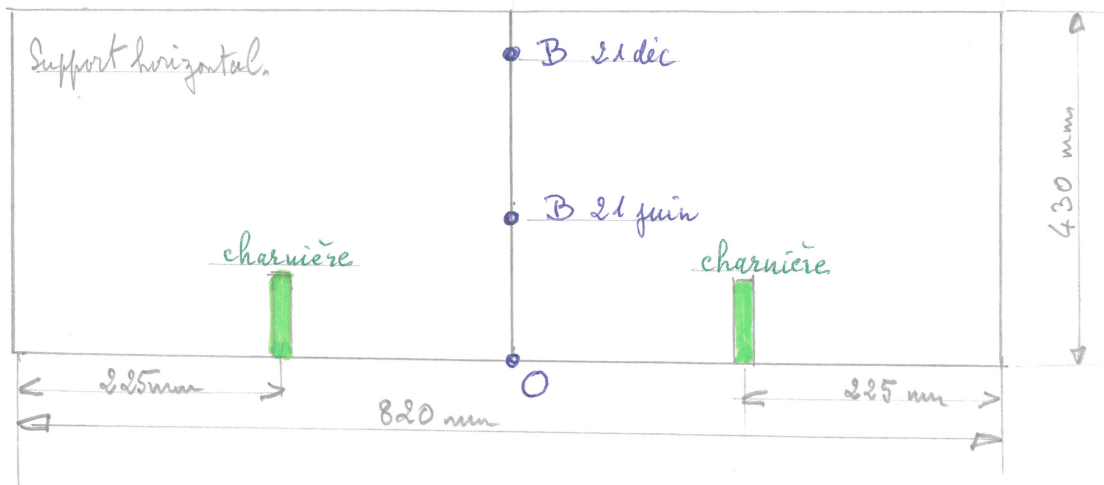


Figure 17. Support contreplaqué.

- Sur la ligne méridienne du support horizontal, vissons des taquets aux différentes positions calculées de *B* pour caler la béquille selon les 21 de chaque mois. Ces positions sont suffisantes, car il faut incliner un peu moins le plan du cadran afin que les rayons lumineux coupent le plan de lecture pour une meilleure lisibilité des rebroussements des caustiques².

2 Et aussi pour une meilleure condition de réalisation du phénomène observé des caustiques...

5. *Matériels nécessaires à la réalisation du cadran solaire*

Pour un paramètre a de l'astroïde de 320 mm.

• Miroir : bandes de plastique souple transparent de 0,8 mm d'épaisseur. 2 fois 500×160 mm .	2,64 euros
• Panneau de bois médium de 18 mm - 82×43 mm	7,05 euros
• Panneau de bois contre-plaqué extérieur de 10 mm 2 fois 82×43 mm	14,24 euros
• Vis avec écrous et rondelles (fixation du médium)	
• 14 jeux de vis/écrous Ø4 mm, l = 40 mm	1,76 euros
• 28 rondelles : trous Ø4 mm, extérieur Ø15 mm	1,68 euros
• Tiges plates à trous 160×20 mm×5	6,00 euros
• Charnières plats fois 3 et 12 vis à bois pour leur fixation	7,72 euros
• Vis à bois pour base des tiges Ø3 mm, l = 30 mm fois 5	0,30 euros
• Vis avec boulons Ø4 mm, l = 10 mm fois 5 (pour le haut des tiges)	0,52 euros
• Et 6 rondelles : trou Ø4 mm, et Ø15 mm extérieur	0,36 euros
• Tasseaux bois 20×20 mm pour consolider la fixation des charnières et pieds d'équilibrage. Pièce de 2 m.	2,00 euros
	Coût = 44,27 euros

- Il est toujours possible d'utiliser des récupérations de bricolage pour confectionner l'objet.
- *Avantage* du matériau bois : facilité relative de le travailler.
Inconvénient : le cadran solaire ne supporte pas les intempéries.
- L'idéal pour le laisser constamment à l'air libre serait d'utiliser des plaques de verre ou des plaques d'aluminium anodisé, mais il faudrait alors travailler avec des outils professionnels.

7. Annexes – Figures sous excel (extraits)

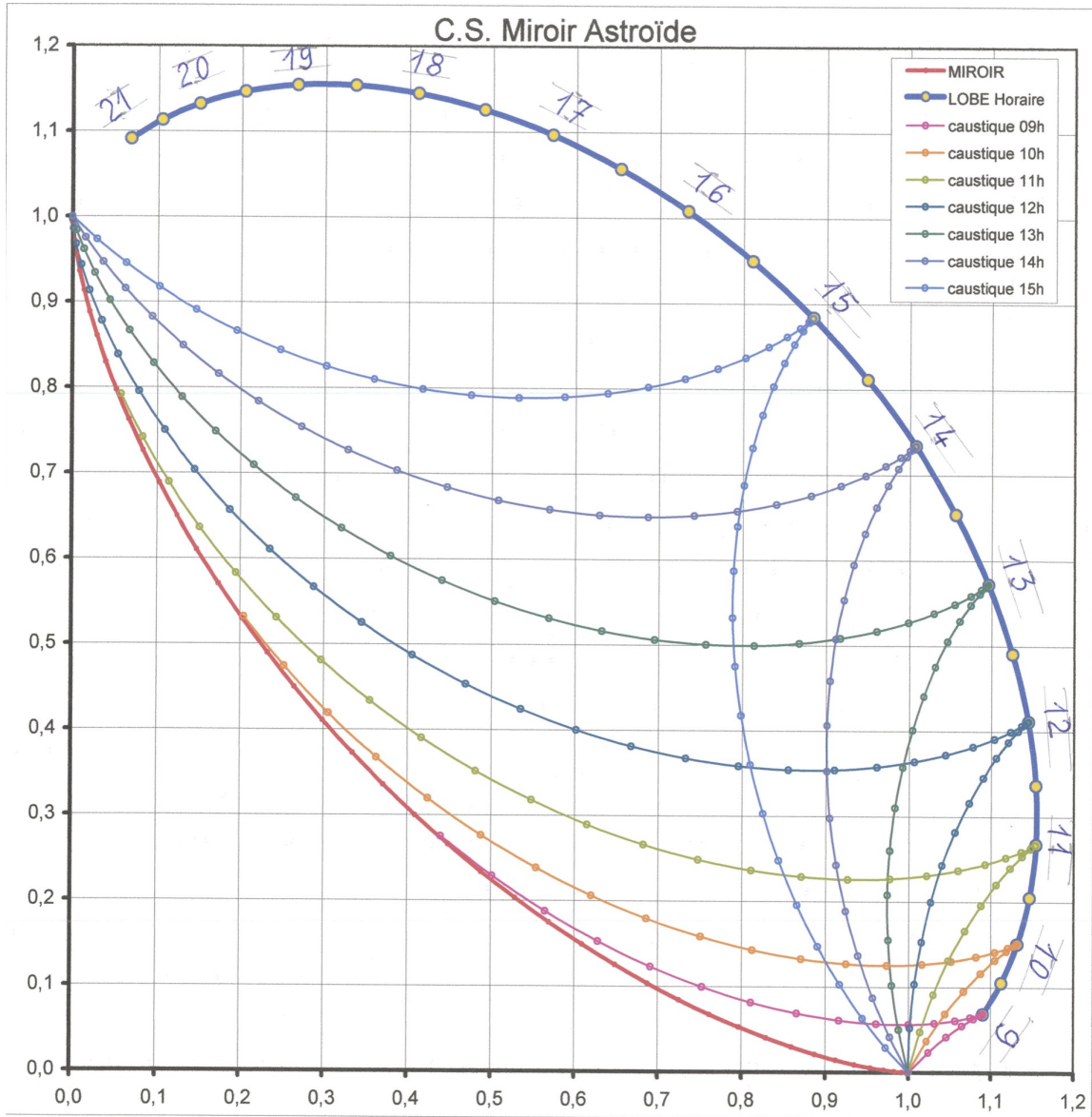


Figure 18 – Miroir astroïde et caustiques.

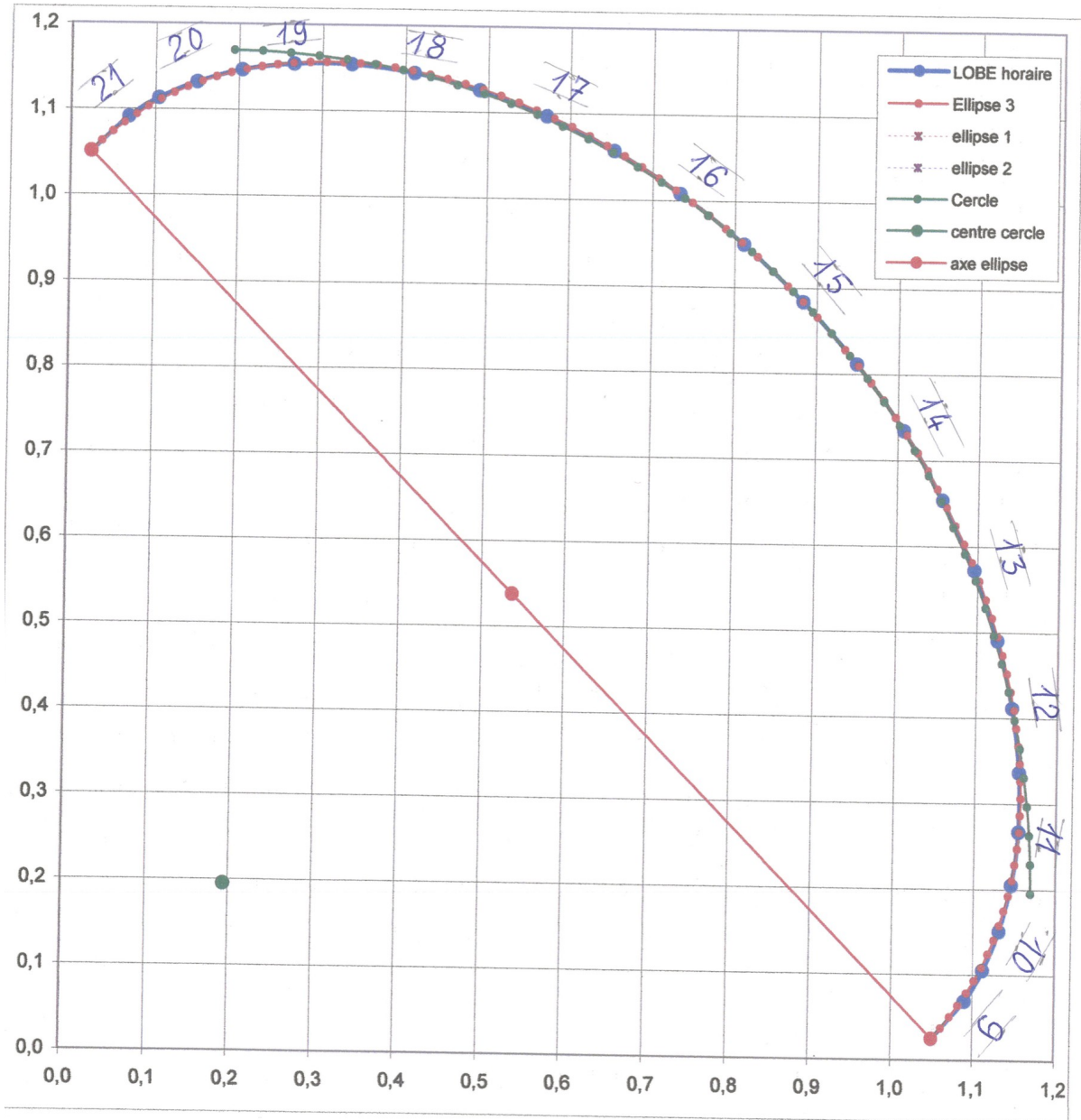


Figure 19 – Lobe, Cercles et Ellipse – Aspect général.

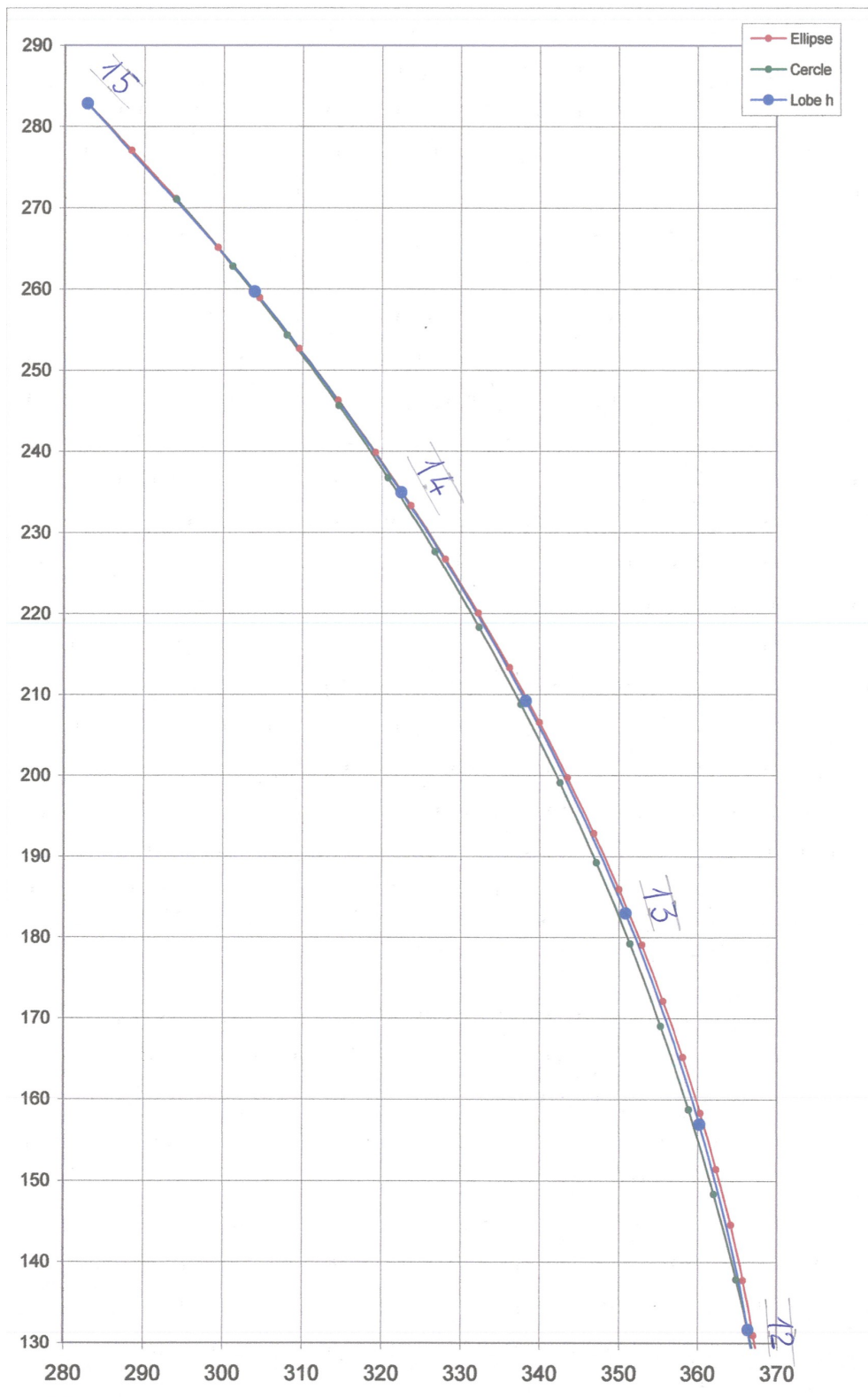


Figure 20 a – Détails de l'aspect des lobe, cercle et ellipse entre 15 h et 12 h.

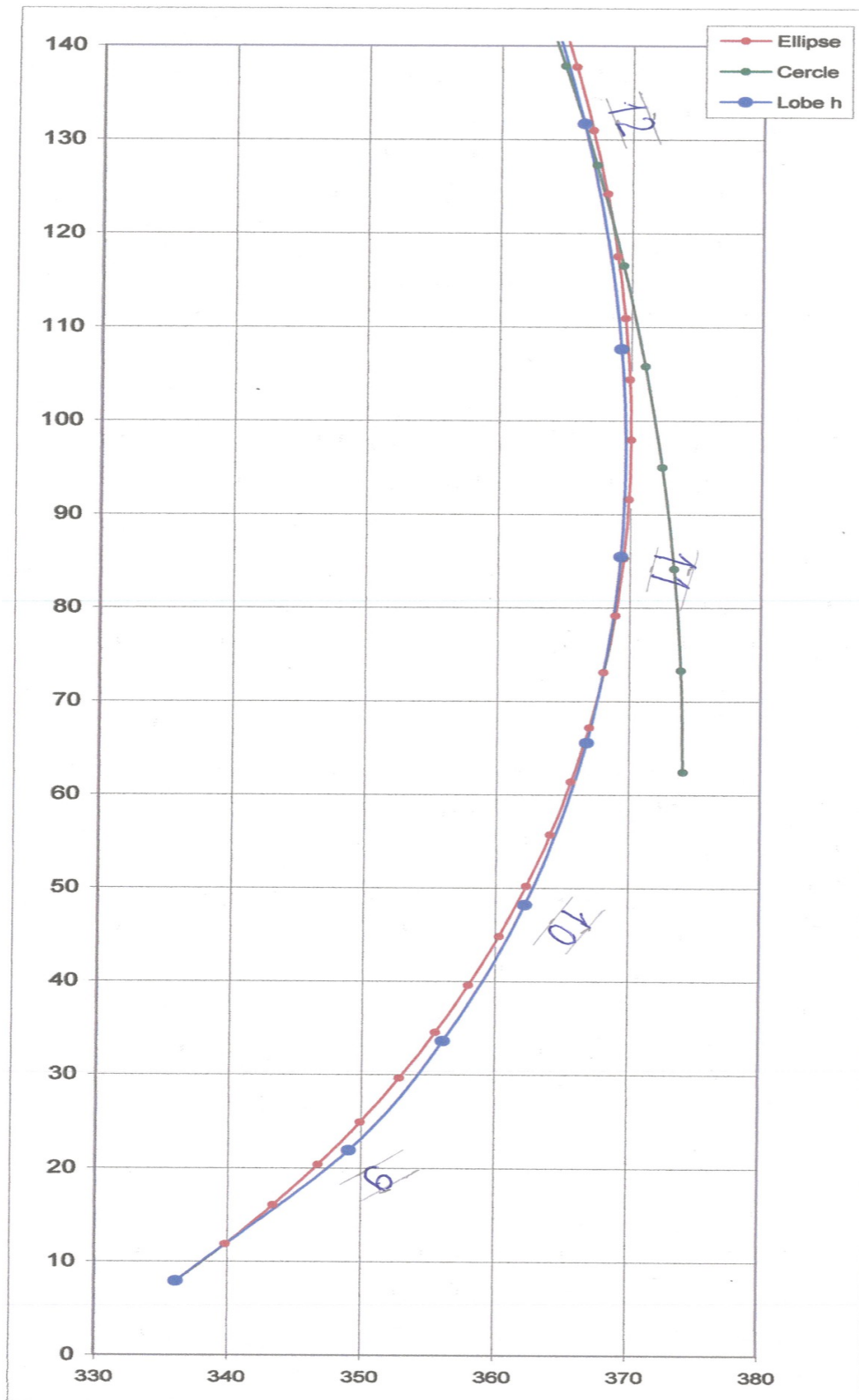


Figure 20 b – Détails de l'aspect des lobe, cercle et ellipse entre 9 h et 12 h.

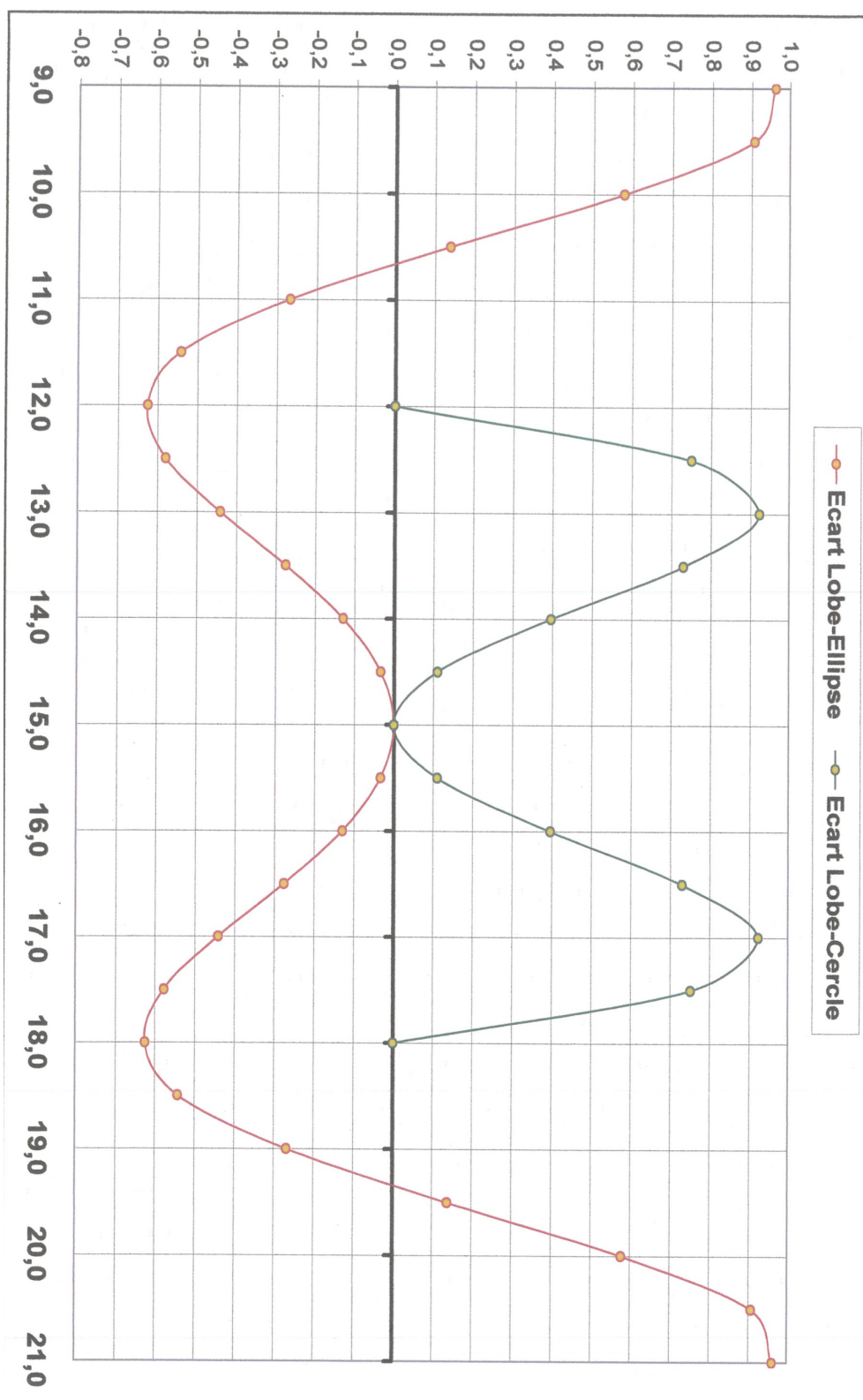


Figure 21 – Ecart entre le lobe et ellipse, et écarts entre le lobe et le cercle.

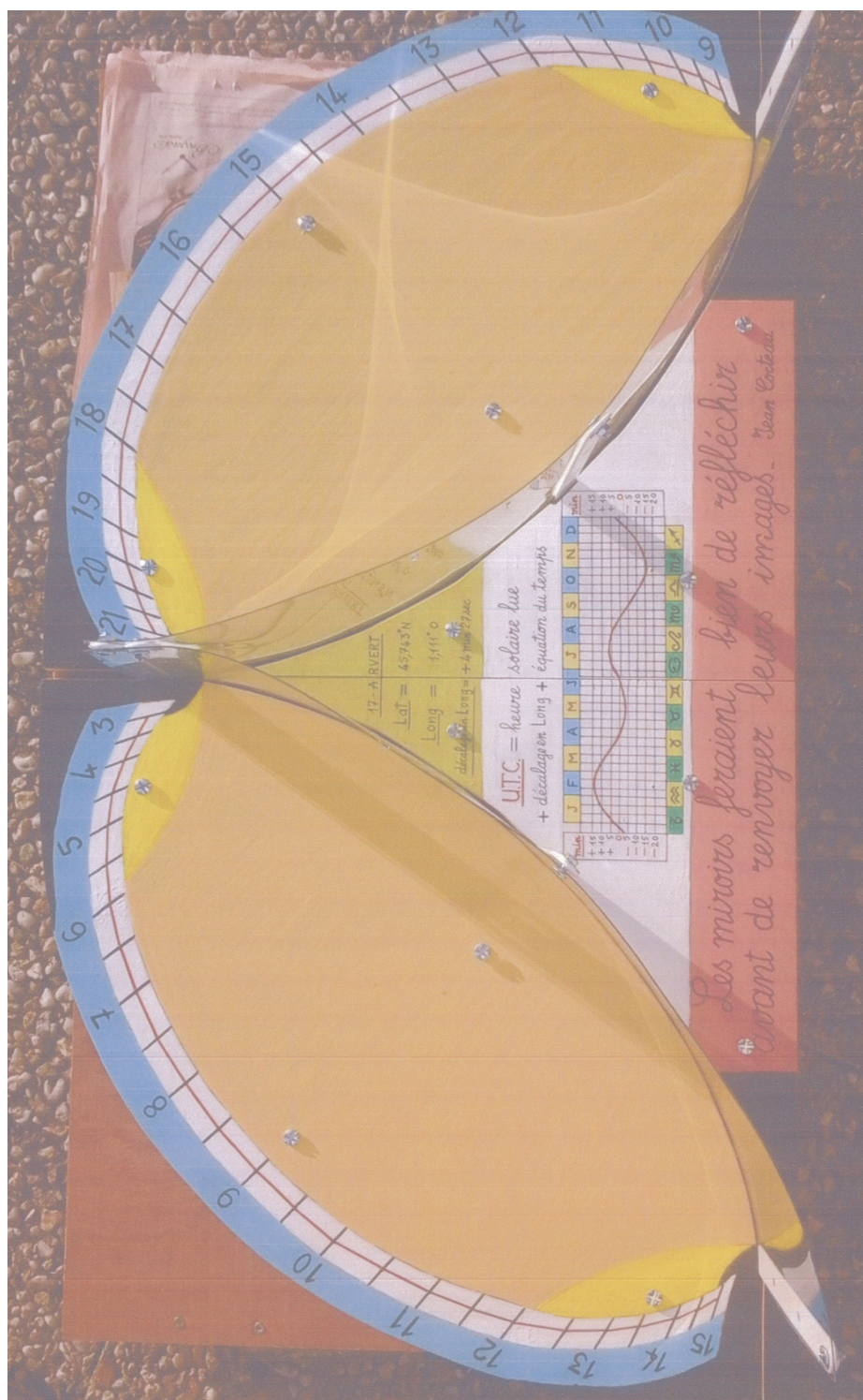


Figure 23 – Prototype – Prise de vue le 31 décembre à 15 h 35 heure légale. Heure solaire lue : 14 h 30, soit, après correction de l'équation du temps, de la longitude et de l'ajout d'une heure de temps légal d'hiver : 15 h 36 heure légale.





Sur le « Petit Traité de l'analem(m)e vertical » de M. Le Bourgeois (1599)

Eric Mercier et Paul Gagnaire

En 1599 Marin le Bourgeois, de Lisieux, a offert à Martin Ruzé de Beaulieu, ministre du Roi, un bloc gnomonique prestigieux (perdu) accompagné d'un texte manuscrit de description et de mode d'emploi. C'est ce texte que nous analysons ici pour essayer de reconstituer les caractéristiques de l'instrument.

Introduction

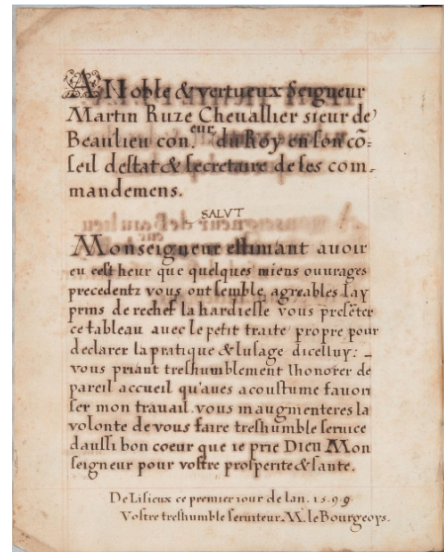
Dans un travail précédent (Mercier & Gagnaire 2016), nous avons mentionné l'existence d'un manuscrit conservé à la Bibliothèque Nationale de France (BNF FR 19945), signé par Marin Le Bourgeois et dédié à Ruzé de Beaulieu (Fig.1). Ce manuscrit, daté du 1^{er} Janvier 1599 se présente comme la description et le mode d'emploi d'un ensemble gnomonique, réalisé par le premier personnage pour le second¹.

Dans ce présent travail, nous nous proposons de revenir en détail sur ce manuscrit. Les références de pages seront celles du fichier .pdf disponible sur le site de la BNF (Gallica.bnf.fr) et fourni, avec une tentative de transcription, dans les annexes électroniques de la revue.

Fig. 1: Première page du manuscrit FR 19945 de la BNF, il s'agit d'une dédicace de Marin Le Bourgeois à Monseigneur Ruzé de Beaulieu. La fac-similé et la transcription de ce manuscrit sont fournis dans l'annexe électronique. ►

Les pages 9 à 11, correspondent respectivement à la page de titre, à la dédicace / signature et à une sorte d'introduction scientifique de l'ouvrage. Puis vient la description des différentes parties de l'ensemble gnomonique (pages 12 à 25).

Conçu pour accompagner l'objet qu'il décrit, ce texte ne nous renseigne pas sur les relations entre ses différentes parties, si bien que nous sommes bien incapables de proposer une reconstitution précise de l'ensemble. Il s'agit de façon certaine d'un « bloc gnomonique » comme ceux qui étaient à la mode à cette époque (Fig. 2), mais la taille, probablement importante, restera inconnue et la forme générale très imprécise. Par ailleurs, la description, elle-même, est manifestement incomplète ; on retrouvera, par exemple, dans la suite du manuscrit, des allusions à des éléments, comme une boussole, auxquels il n'a pas été fait mention dans la description. Après cette description, vient la « Pratique » (pages 25 à 31).



¹ Le contenu de ce manuscrit avait constitué un argument important pour attribuer au même Marin Le Bourgeois, la paternité d'un premier ensemble gnomonique : un diptyque en ivoire, anonyme, daté de 1598, et portant les armoiries de Ruzé de Beaulieu (Mercier & Gagnaire 2016 : Cadran Info Hors Série page 32).

Comme nous le verrons, cette partie ne nous apprend rien d'original sur le fonctionnement de l'instrument, mais elle nous fournit d'utiles compléments sur l'objet lui-même. Enfin, après une page blanche, les pages 33 et 34 qui semblent presque étrangères au reste du manuscrit. Il s'agit d'un résumé de la méthode astrologique de détermination de la planète régente pour les heures (inégaes) de la journée. Ce texte, à l'écriture difficile, ne fait aucune allusion à l'instrument ou au reste du manuscrit.



Fig. 2: Quelques exemples de blocs gnomoniques du XVIIe siècle ;

- (1) signé Girolamo della Volpaia, 1590 Istituto e Museo di Storia della Scienza; (2) attribué à Nicolaus Kratzer, 1525 Museum of the History of Science, Oxford; (3) anonyme XVIIe Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze (4) signé W.S., 1553 British Museum, London (5) signé Paul Reinmann 1597 British Museum, London (6) extrait de Oronce Fine (1560) « de solaribus horologiis, & quadrantibus, libri quatuor».

I) Les pages liminaires du manuscrit

Les deux premières pages (9 & 10) nous apprennent que ce manuscrit a été conçu pour accompagner un tableau (ce qui manifestement correspond, dans l'esprit de l'auteur, à un ensemble gnomonique) offert par le gnomoniste / cadranier, Marin Le Bourgeois, de Lisieux au Chevalier Marin (ou Martin) Ruzé de Beaulieu. D'après le texte de la dédicace, il apparaît que ce n'est pas le premier ouvrage que Le Bourgeois offre à Ruzé de Beaulieu (...*quelques miens ouvrages precedents vous ont semblé agreables.*...) et que, d'une manière générale, Ruzé de Beaulieu « *acoustume favoriser* » son travail. Nous croyons avoir identifié un de ces « *miens ouvrages precedents* » sous la forme d'un diptyque en ivoire de 1598 (Mercier & Gagnaire 2016).

Marin Le Bourgeois (milieu du XVI^e siècle, 1634) est un de ces personnages à facettes, typiques de la Renaissance (Huard 1913, 1927) : il fut peintre officiel du Roi, hydraulicien, brillant artisan. Mais ce qui vaut à sa mémoire une forme d'immortalité, c'est qu'il fut le concepteur de la platine à silex (Holmes 2010) : cette invention a révolutionné le monde des armes portables et son usage s'est perpétué pendant plus de deux siècles. Par ailleurs, il fut concepteur de globes mouvants (= planétaires mécaniques) et, c'est ce qui nous intéresse ici, fabricant de dispositif gnomonique.

Martin Ruzé de Beaulieu (1527-1613), seigneur de Beaulieu, Chilly et Longjumeau, Secrétaire des Finances (dès 1574, avec le Roi de Pologne, futur Henri III), Secrétaire d'Etat (1588), Trésorier du Roi au fait des Guerres, Grand-Trésorier de l'Ordre du Saint-Esprit (1589), Grand Maître des Mines (1610). En quatre-vingt-six ans d'existence, ce grand serviteur de l'Etat va vivre sous sept rois et en servir six comme conseiller ou ministre.

La page 11 du manuscrit, très courte, se veut une définition du mot «anale(m)me», mot qui est utilisé dans le titre. Ce mot est rare dans la bibliographie du XVI^e siècle: voyons ce que son emploi suggère².

Dans «De Architectura», Vitruve (-90 (?) / - 20 (?)), considère que l'"analemma" était un type simplifié de sphère armillaire qui permettait de trouver la longueur et la direction de l'ombre produite par un gnomon en fonction de la position du Soleil (Desmeules 2001). L'analemma est aussi le titre d'un ouvrage de Ptolémée (90 (?) / 168(?)), où est développé ce procédé. Il s'agit d'un système de projection de la sphère céleste sur une surface plane permettant, notamment, la résolution des problèmes de gnomonique. Cet ouvrage constitue notre principale source d'information sur la gnomonique grecque. Mais le texte original ne nous est pas parvenu. En 1562 Frédéric Commandin, publia un essai, très imparfait, de reconstitution de l'ouvrage à partir d'une mauvaise traduction latine, incomplète, effectuée sur des manuscrits arabes du texte grec. Il faudra attendre Delambre (1749-1822), et son «Histoire de l'Astronomie Ancienne (1817)» pour disposer d'une version complète et cohérente de la méthode. A la fin du XVI^e siècle la seule version disponible était donc celle, défectueuse, de Commandin.

Dans le texte du manuscrit étudié, le mot analemma est utilisé :

- dans le titre (page 9) ;
- page 11 dans ce qui semble être une allusion à l'ouvrage de Ptolémée et à son système de projection (« ...en la sphere les courbes y soyent actuellement ronde ce qui ne sont (pas) en l'analeme. Si esse tout a fait qu'il nous y sont représentés pour rendre tel effet par lignes droites et courbes»);
- comme synonyme de cadran vertical dans la description (pages 12 à 19 et page 22) et dans le mode d'emploi (page 27), et comme synonyme de cadran équatorial (page 21)

On conçoit que le terme «analemma», dans son sens original de «système de projection», soit facilement passé au résultat de cette projection³. L'étape suivante de cette

2 Evidemment, nous n'évoquerons pas ici la tardive, curieuse et très fautive (!) acception du terme, comme équivalent de «courbe en huit» ou «courbe de Fouchy», qui semble nous venir des pays anglo-saxons.

3 Ce glissement de sens se rencontre par exemple dans les ouvrages de Sainte Marie Magdeleine (Traité d'Horlogiographie, 1657) ou d'Ozanam (Récréations ... 1736).

migration linguistique, l'application au cadran lui-même, semble assez rare⁴. Mais la vraie question que pose l'emploi de ce terme par Le Bourgeois, est de savoir s'il a réellement utilisé la méthode de Ptolémée pour tracer ses cadrans. Cela semble peu probable ; les gnomonistes du XVe et du XVIe siècles n'avaient pas attendu le travail de Commandin (1562) pour tracer de façon exacte les cadrans de base. L'allusion à l'analemme constitue probablement un sacrifice vénial à la mode et à la modernité.

II) La description de l'ensemble gnomonique

A) Le cadran vertical

Le premier élément du cadran vertical qui est décrit est l'index (pages 10/11⁵). Il s'agit d'un élément triangulaire, perpendiculaire au plan vertical du cadran (qui est donc simplement méridional). Le manuscrit présente un petit montage en papier expliquant clairement la forme et la position de ce style (Fig. 3). Il est calculé pour le «milieu du climat de la France».

Le mot climat vient du grec « κλίμα » qui signifie «inclinaison» (pour latitude). Si c'est le sens de climat ici, alors le calcul était fait pour 45° latitude moyenne de la France. Cela peut aussi être une allusion au système de Ptolémée qui a divisé la Terre en 7 climats correspondant à des bandes parallèles à l'équateur. Comme la France est centrée sur le climat VI (43°05' - 48°30'), la valeur médiane est proche de 45°. Dans les deux cas, on a la même inclinaison du style polaire.

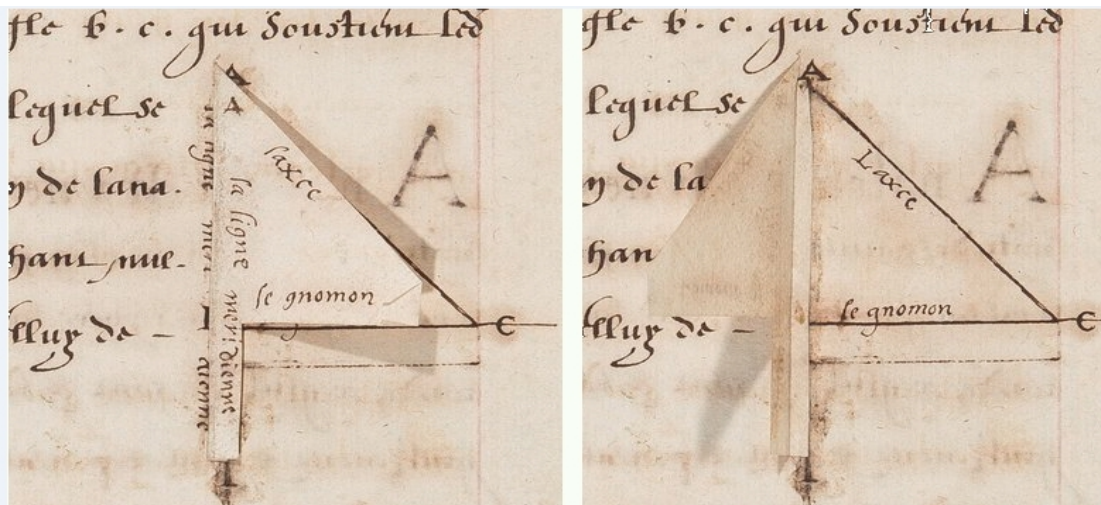


Fig. 3: Le montage en papier du manuscrit, illustrant le style polaire du cadran vertical.

La ligne méridienne est tracée dans l'alignement de ce style et divise le cadran en deux parties égales. C'est à ce niveau (début de la page 14) qu'apparaît la première allusion au jour «artificiel⁶». Dans le cas présent il est dit que le «*cercle des 12 heures faisant la moitié du jour artificiel*» et quelques lignes plus loin il est précisé que les lignes horaires (6 de chaque

⁴ Il est intéressant de constater que la reliure, d'époque indéterminée, dans laquelle est conservé ce manuscrit à la BNF porte le titre «*De la sphère verticale*»; pour le relieur, ou son commanditaire, analemme est synonyme de sphère et non de cadran solaire comme cela est admis dans le texte.

⁵ Il s'agit en fait d'une page unique mais prise deux fois en photo par la BNF pour mettre en évidence le petit montage en papier expliquant la forme de l'index (style polaire) (Cf. Fig.3).

⁶ La signification de ce terme pose problème: en effet, par exemple, Bayle, dans sa «*Dissertation sur le Jour*», publiée pour la première fois en 1692 nous dit:

côté de la ligne méridienne) ont leur origine à la base du style polaire. Il est évident que le jour artificiel est, ici, le jour subdivisé en 24 heures égales et les lignes horaires sont des lignes d'heures égales.

Puis le système d'arcs de déclinaison est décrit :

- la droite équinoxiale (fin de la page 14),
- de part et d'autre, 9 lignes qui correspondent aux changements de signes du zodiaque, chaque signe étant séparé en 3 (page 15).

De chaque côté du cadran étaient indiqués les signes (pages 15 et 16)

- à gauche, du Capricorne à la fin des Gémeaux (hiver-printemps) (signes montants, indiqués par erreur «*descendant*»),
- à droite, du Cancer à la fin du Sagittaire (été-automne) (signes descendants⁷).

A proximité des indications de signe, de chaque côté du cadran, il y avait une graduation : petits carrés alternativement noirs et blancs, qui divisaient chaque signe en 30 parties. Ces échelles étaient reproduites également au niveau des lignes horaires de 10 h et de 14 h (page 17).

En théorie donc, on pouvait évaluer le jour du mois sur ce cadran vertical ; une telle précision nous surprend énormément, dans la mesure où, à proximité de midi (10h et 14h), les arcs de déclinaison se rapprochent fortement, notamment aux environs des solstices. Il paraît donc impossible de diviser l'espace en 30 parties à moins d'avoir un cadran gigantesque ce qui n'est pas le cas ici.

D'autres informations étaient mentionnées sur les arcs de déclinaison principaux (page 18).

- à gauche (Soleil ascendant) les heures de lever (en rouge) et de coucher (en noir) du Soleil,
- à proximité de la ligne méridienne, la durée du jour clair (en rouge) et de la nuit (en noir).

Enfin, en doublon des indications de zodiaque (en bordure du cadran donc), il y avait les mois du calendrier⁸ eux aussi divisés selon leurs nombres de jours propres, matérialisés par des petits carrés noirs et blancs. Comme pour le zodiaque, nous émettons des réserves sur la possibilité réelle de distinguer la déclinaison chaque jour de l'année sur un cadran de taille nécessairement limitée.

«Il est un peu étrange que les auteurs ne soient pas d'accord quant à la définition du jour naturel et du jour artificiel. Vous en voyez qui définissent jour naturel, le temps qui s'écoule depuis que le soleil est levé jusques à son coucher; et le jour artificiel, l'espace renfermé dans vingt-quatre heures (a), Vous en voyez d'autres qui définissent le jour naturel, l'espace du temps que le soleil met à faire un circuit d'un point l'autre autour de la terre ; et le jour artificiel, le temps depuis le lever du soleil jusqu'à son coucher (b). J'avoue que cette différence est plus dans les termes que dans la chose même, et qu'on n'est pas obligé de donner aux mots le sens que d'autres leur donnent; mais il serait fort commode pour les lecteurs que la signification de certains termes fut fixe, et que, d'un volume à un autre, elle ne passât pas du blanc au noir».

Pour l'anecdote, notons que quelques années plus tard, Sully, dans la «Règle artificielle du temps (1714)» introduira une troisième définition en assimilant le Jour naturel au Jour Solaire et le Jour artificiel au Jour de temps moyen !

⁷ Remarquons que, comme le cadran est vertical, avec l'écoulement des jours, la pointe de l'ombre descend alors que les signes montent et réciproquement, ce qui est mentionné et expliqué dans le manuscrit (fin de la page 16).

⁸ Très probablement le calendrier Grégorien, comme sur le diptyque de 1598 (le changement de calendrier ayant eu lieu en 1582).

Enfin, comme si cela ne suffisait pas, l'auteur nous indique que les éléments suivants étaient aussi indiqués (pages 18 et 19).

- les lettres de la semaine (le découpage en semaines variant chaque année, nous ne voyons pas à quoi ces lettres correspondent),
- le degré des signes (valeur de la déclinaison des arcs principaux du zodiaque ?),
- le nombre des mois (numérotation de 1 à 12 ?),
- les fêtes annuelles de l'église Romaine (les fêtes fixes sont en nombre limité, il pouvait s'agir de l'Annonciation, de l'Assomption, de la Toussaint, de Noël, ainsi que de quelques fêtes de saints ...).

On remarquera que ce cadran vertical qui associe les signes du Zodiaque et le calendrier civil, évoque le cadran horizontal de la face 2A du diptyque de 1598 (Mercier & Gagnaire 2016). Par rapport à ce cadran, il manque les heures inégales et les heures juives que nous allons retrouver dans le cadran équinoxial.

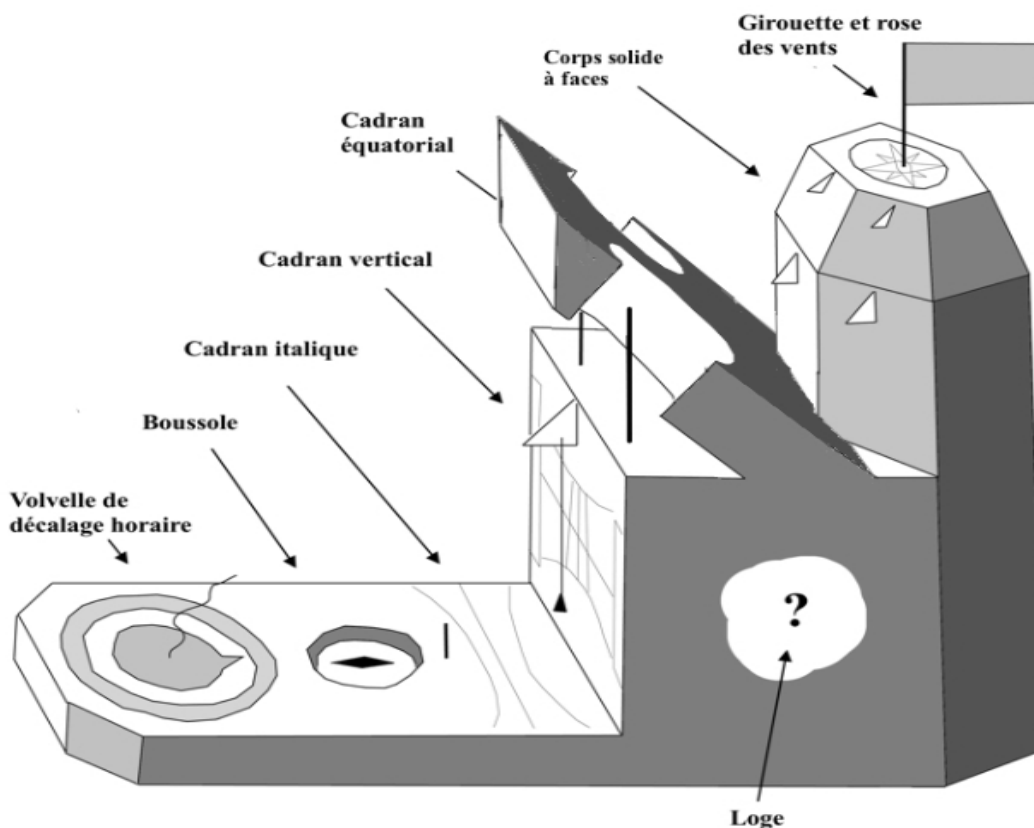


Fig. 4: Tentative, très hypothétique, de reconstitution de l'instrument.

B) Le cadran équinoxial

A partir de la page 19, le manuscrit décrit une «*orloge equinoxiale faite a deux demi ronds opposés l'un de l'autre en figures de deux croissants tournés dos à dos*». Ce cadran est situé au-dessus du précédent. Il est donc composé de deux courts cadrans cylindriques

d'axes polaires, adossés l'un à l'autre et dont les génératrices sont bornées par les deux tropiques.

Il ne nous semble pas que ces deux croissants puissent être fixés comme des cornes au-dessus du cadran vertical à cause de l'ombre que les premiers provoqueraient sur le second. L'horloge équatoriale était probablement implantée en retrait du plan du cadran vertical (Fig. 4).

Le manuscrit nous apprend qu'il y avait, dessinés sur les surfaces utiles :

- des arcs de déclinaison (parallèles entre eux et parallèles aux arêtes) séparés par 10 jours, soit 19 arcs. Ces arcs étaient peints de couleurs différentes pour faciliter la lecture.

- un réseau de lignes perpendiculaires aux précédentes, équidistantes et marquant les heures égales («*heures communes du jour artificiel*» : voir note infrapaginale 6). Ces lignes et leur valeur horaire étaient en noir.

- un réseau oblique par rapport au précédent, en rouge, marquant les heures inégales (pages 20 & 21). De manière fautive, il est précisé que ces heures «*divisent le jour artificiel en douze partie egale qui seraient douze heures que dure le jour tant l'hiver que l'été*». Il est clair que, vu les deux utilisations précédentes de «*jour artificiel*», c'est «*jour naturel*» que nous devrions trouver ici.

- ces heures inégales sont regroupées en 4 ensembles «*Prime, Tierce, Sixte et Nonne*», selon l'usage des Juifs (page 21). Cette acception de ces termes est déjà présente sur le diptyque de 1598.

Une tentative de reconstitution de ces deux demi-cadrans est présentée à la figure 5.

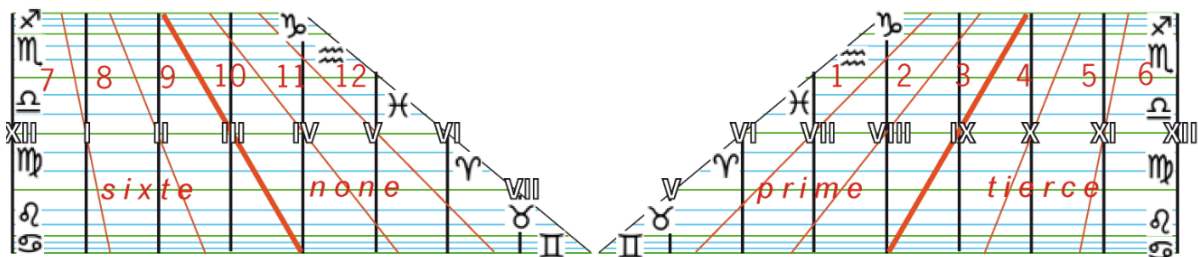


Fig.5: Reconstitution des éléments présents sur les faces internes (utiles) des demi-cylindres du cadran équatorial.

La fin de la page 21 et le début de la page 22 correspondent à la description assez confuse de la méthode de détermination des heures égales du lever et coucher du Soleil par lecture de l'intersection entre le réseau des heures égales et le début de la première heure inégale (Lever) et la fin de la douzième heure inégale (Coucher). Il s'agit d'un usage de l'instrument, on s'attendrait plutôt à le trouver dans la seconde partie du manuscrit.

C) Le corps solide à plusieurs faces

Au milieu de la page 22, l'auteur nous informe qu'il y a, au-dessus du cadran en croissant: «*un corps solide à plusieurs faces*». Il précise plus loin que, lorsque la grande analemme (le cadran vertical) est à midi, six des faces du corps solide, qui accueillent chacune un cadran, donnent la même heure que l'analemme. Nous pouvons nous risquer à proposer

une géométrie qui corresponde à cette particularité : il pourrait s'agir d'un demi-prisme hexagonal avec des faces verticales et une couronne de faces inclinées (Fig.4). Dans ce cas, si une des faces est au Sud, alors il y a 6 faces (3 verticales et 3 inclinées) qui reçoivent les rayons du Soleil.

Le sommet du corps solide (face horizontale), accueille une rose des vents, avec le nom de 16 vents en grec et en latin. Le tout est couronné par une girouette. Le diptyque de 1598 dispose également de sa rose des vents, mais avec seulement le nom de 4 vents.

D) Les «niches»

Page 22, un paragraphe de 3 lignes nous apprend que «*a l'encatillusre diceluy tableau*» (= en bordure du tableau = sur les côtés de l'instrument (?)) il y a deux niches et que celles-ci accueillent, en leur partie haute, des cadrans qui, bien sûr, donnent la même heure que les autres. Nous n'en saurons pas plus, mais on peut supposer qu'il s'agit de cadrans en demi-sphères ou demi-cylindres.

E) Le cadran italique

Après avoir exploré le haut de l'instrument, l'auteur nous emmène «*au bas diceluy tableau*» (page 23). Nous verrons plus loin qu'il existe en ce lieu une surface plate qui, nous le supposons, doit se situer devant le cadran vertical.

A ce niveau est dessiné en rouge un cadran en heures italiques (cadran horizontal donc, selon notre hypothèse). Là encore, l'auteur semble indiquer qu'il existe, sur ce cadran, des arcs de déclinaison permettant de repérer la semaine en cours («*le petit gnomon ...monstre par la pointe de son ombre l'heure qui aest selon le conte des semaines*»). Pas plus que pour les «*lettres de la semaine*» du cadran vertical, nous ne comprenons de quoi il est question; à moins qu'il ne s'agisse que d'une manière de dire que la position de la pointe de l'ombre pour une heure italique donnée, varie beaucoup en fonction de la période de l'année.

F) Le fil à plomb

Le début de la page 24 constitue un retour en arrière dans la description, puisque nous revoilà sur le cadran vertical, et que l'on apprend qu'en haut de ce cadran, en son milieu, est suspendu un fil à plomb. Nous supposons que ce fil à plomb est accroché sur le style triangulaire ; toute fixation plus haute semblant impossible, à cause, précisément, de ce style.

G) L'indicateur de décalage horaire

Après cette digression, nous voici de retour «*au bas dudict tableau*» où est située une volvelle «*couchée de plat comme sur l'horizon*», justifiant ainsi notre hypothèse sur le caractère horizontal de cette partie de l'instrument. Cette volvelle a pour but d'indiquer l'heure dans les principales villes d'Europe en fonction de l'heure du lieu. Elle est constituée de trois disques concentriques (Fig.6).

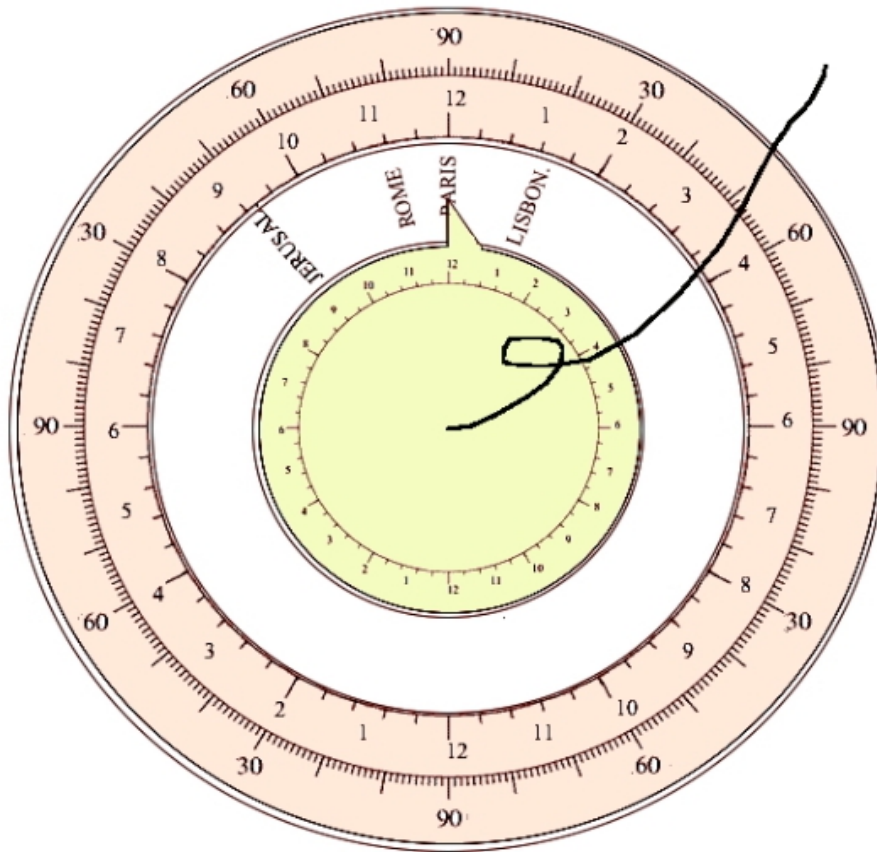


Fig. 6 : Reconstitution de la volvelle donnant les décalages horaires entre les villes d'Europe (seules les villes citées dans le manuscrit sont indiquées ici).

- à la base, un disque de cuivre, fixe, avec deux échelles : (1) une échelle en degrés (4 fois 90°) et (2) une échelle horaire (2 fois 12 heures). Curieusement ces heures, manifestement égales, sont mises en relation, dans le texte, avec le «*jour naturel*» ce qui, encore une fois, ne paraît pas compatible avec ce qui semblait être la convention retenue.

- un second disque, blanc et mobile, avec les noms de quelques villes d'Europe; plus loin on apprendra que Paris, Rome, Lisbonne et Jérusalem en font partie.

- un troisième disque en cuivre doré, également mobile (page 25), avec une échelle des 24 heures du jour «*naturel*». Et, là encore, apparaît un problème de cohérence dans la convention : ces heures ne peuvent être que des heures égales. Par ailleurs, la suite (partie «*Pratique*») montre que, comme le disque extérieur, c'est en fait une échelle de 2 fois 12h dont il s'agit. Ce disque porte un index («*queue*») sur un côté de la ligne méridienne. Un fil est attaché au centre commun de ces disques ; son rôle est de servir d'ostenseur.

Cette description se termine par l'indication : «*Et ce cours doit suffire pour l'intelligence de ce que contient ce tableau. Ce qui sera facile à connaître par le regard diceluy*». Le problème est justement que nous n'avons pas ce regard.

III) Le mode d'emploi de l'ensemble gnomonique

Cette partie du manuscrit commence par cette affirmation «*Venons maintenant à la pratique diceluy tableau, laquelle ne sera longue combien que comprenne beaucoup*» (page 25). On ne saurait dire moins !

A) Le positionnement et usage des cadrans

En bon scientifique, l'auteur insiste tout d'abord sur la mise en station de l'instrument. Deux procédures sont à suivre :

- mettre d'aplomb l'instrument grâce au fil à plomb (page 26)
- orienter l'instrument de façon que la date indiquée par l'ombre sur le cadran vertical (notamment sur les échelles situées au niveau des lignes horaires 10 h et 14 h) corresponde à la date du jour.

Suit une longue explication (pages 27 et 28) visant à démontrer qu'une fois la mise en station réalisée :

- l'on peut connaître la position des points cardinaux sans boussole (alors qu'il y en a une sur l'instrument, comme nous le verrons plus loin),
- l'on peut connaître l'heure qui est la même sur les différents cadrans,
- et l'on peut connaître la déclinaison du Soleil; si, en plus, on sait si on est en période ascendante ou descendante (printemps/été ou automne/hiver), on peut connaître le jour et le mois de l'année.

A la fin de la page 27, une allusion à «*l'éguille de la boussole*» dans une phrase obscure semble néanmoins suggérer que l'auteur insiste sur le fait qu'une orientation de l'instrument, obtenue en faisant en sorte que tous les cadrans donnent la même heure, est plus fiable que l'emploi de la boussole. Le diptyque de 1598 contient une boussole avec une indication correcte de déclinaison magnétique; l'auteur maîtrise manifestement ce phénomène ; la manière dont il semble l'expliquer ici est pour le moins alambiquée.

B) Les décalages horaires

A la fin de la page 28, commence l'usage de «*l'astrolabe qui est affiché à plat et sur l'horizon au bas dudict tableau qui vous enseignera l'heure qu'il est en chacune ville*».

C'est dans cette partie qu'apparaît la seule mention directe de l'existence d'une boussole sur l'instrument ; elle est située près d'un des deux «12» du cercle de cuivre, apportant un nouvel argument au caractère horizontal de cette partie de l'instrument.

Le texte d'usage de la volvelle correspond à trois exemples (pages 29, 30 et 31) qui reviennent à calculer le décalage horaire de Paris avec, respectivement, Rome, Jérusalem et Lisbonne. Détaillons l'exemple de Rome :

- on aligne Paris et le 12 h du disque extérieur fixe, et l'on tend le fil dans cet alignement; il restera fixe
- on amène l'index de la petite roue sur Rome,
- on lit, sous le fil, le décalage horaire sur la petite roue.

Cette procédure appelle quelques remarques :

- 1) il y a, dans le texte des exemples, quelques erreurs numériques :
 - page 29, avant dernière ligne; «il est douze (et non ix) a / Paris il est à Rome presque une heure après midi»,
 - fin de la page 30 et page 31 : il apparaît qu'il est 10 h 52 min à Lisbonne quand il est midi à Paris et 1 h 12 min de l'après-midi à Paris quand il est midi à Lisbonne, ce qui, évidemment, est incohérent (1 h 08 serait plus crédible).
- 2) les villes sont inscrites sur le second disque en fonction de leur décalage horaire. Comme il s'agit de villes d'Europe, ces inscriptions n'occupent qu'un secteur angulaire réduit (environ 60°).

3) Il aurait été plus simple de n'avoir qu'un disque mobile avec les villes transposées symétriquement par rapport au plan méridien. Avec un tel dispositif, il aurait suffi de mettre n'importe quelle ville en regard de n'importe quelle heure et de lire directement l'heure locale en face des autres villes.

4) Dans le monde du XVIe siècle, sans avion ni téléphone, un tel dispositif n'a aucune utilité pratique; il s'agit purement d'un jeu intellectuel. Par ailleurs, les décalages horaires tels qu'ils sont calculés actuellement sont, respectivement, de 41 min, 2 h 12 min et 46 min (au lieu de 54 min, 2 h 50 min et 1 h 08 min). La tendance à surévaluer les différences de longitude, déjà présente chez Ptolémée, est générale dans la cartographie médiévale et moderne. Les valeurs correctes ne commenceront à apparaître qu'au cours du XVIIIe siècle (Tibbets 1992).

IV) Les indications astrologiques

Après une page blanche, voici un texte (page 33) qui correspond à l'explication d'un tableau situé en regard (page 34) (Fig.7). L'ensemble nous permet de « *Pour connaître la planète qui gouverne a l'heure inégalle proposée* ». Le texte est confus et la graphie obscure, ce qui nous oblige à laisser plusieurs lacunes dans notre transcription (c'est dans cette partie du manuscrit qu'elles sont les plus nombreuses). L'essentiel du message est contenu dans un exemple dont voici un essai de restitution : « *Vous voulez connaître la planète régente de la cinquième heure de jour du jeudi. Au droit de ce jour vous cherchez la colonne indiquée 5. En haut de la table, cette colonne indique Mercure qui gouverne le Jour à cette heure-là, et, en bas de la table, Sol qui gouverne cette heure-là pour la nuit* ».

Deo benedictio pour les heures des planettes

pour l

	Le jour											
	☉	♀	♁	♃	♄	♅	♆	♁	♁	♃	♄	♅
	Sol.	Venus	Mars	Jupiter	Saturne	Jupiter	Mars	Sol.	Venus	Saturne	Jupiter	Mars
Dimanche.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lundi.	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mardi.	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mercredi.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jeudi.									5	6	7	8
Vendredi.												
Samedi.												
	Jupiter	Mars	Sol.	Venus	Jupiter	Saturne	Jupiter	Mars	Sol.	Venus	Jupiter	Mars
	La nuit											
	♃	♄	♅	♆	♁	♁	♃	♄	♅	♆	♁	♃
	Jupiter	Saturne	Sol.	Venus	Jupiter	Saturne	Jupiter	Mars	Sol.	Venus	Jupiter	Mars

Deo nomina et Characteres dea Planetta

Fig. 7 : Le tableau des planètes régentes du manuscrit, et son utilisation (exemple choisi est celui du manuscrit).

Il s'agirait donc d'une procédure classique d'astrologie similaire à celles décrites, par exemple, par Savoie (2014). On pourra apprécier l'ingéniosité avec laquelle a été composé ce tableau. Il s'agissait d'illustrer 168 cas de figure (24 heures multipliées par 7 jours) et Le Bourgeois n'a eu besoin que de 98 cases dont 14 vierges pour y parvenir. De nombreux auteurs ont eu recours au tableau de 168 cases pour le même résultat (Fig. 8).

Fig.8 : Un tableau strictement équivalent à celui de la figure 7 (extrait de «Cosmographica» de Francisco Barucio (1585)), illustrant, par comparaison, l'ingéniosité du tableau de Le Bourgeois. ►

Tabula Horarum planetarias, siue inaequales dierum natiuitatis, & noctium indicis.							
Horarum Dierum natalis	Dies Dominicus, i. Solis	Dies Lunae	Dies Martis	Dies Mercurij	Dies Iouis	Dies Veneris	Dies Sabbati, siue Saturni
1	☉	☾	♂	♀	♃	♀	♄
2	♀	♄	☉	♃	♂	♀	♃
3	♀	♃	♀	♄	☉	♄	♂
4	☉	♂	♀	♃	♀	♄	☉
5	♄	☉	☉	♂	♀	♃	♀
6	♃	♀	♄	☉	☉	♂	♀
7	♂	♀	♃	♀	♄	☉	☉
8	☉	☉	♂	♀	♃	♀	♄
9	♀	♄	☉	♃	♂	♀	♃
10	♀	♃	♀	♄	☉	♄	♂
11	☉	♂	♀	♃	♀	♄	☉
12	♄	☉	☉	♂	♀	♃	♀

Horarum Noctium	Nox Dierum Dominici	Nox Dierum Lunae	Nox Dierum Martis	Nox Dierum Mercurij	Nox Dierum Iouis	Nox Dierum Veneris	Nox Dierum Sabbati
1	♃	♀	♄	☉	☉	♂	♀
2	♂	♀	♃	♀	♄	☉	☉
3	☉	☉	♂	♀	♃	♀	♄
4	♀	♄	☉	☉	♂	♀	♃
5	♀	♃	♀	♄	☉	☉	♂
6	☉	♂	♀	♃	♀	♄	☉
7	♄	☉	☉	♂	♀	♃	♀
8	♃	♀	♄	☉	☉	♂	♀
9	♂	♀	♃	♀	♄	☉	☉
10	☉	☉	♂	♀	♃	♀	♄
11	♀	♄	☉	♃	♂	♀	♃
12	♀	♃	♀	♄	☉	♄	♂

V) Jour naturel et jour artificiel chez Le Bourgeois

Cette présentation du manuscrit de Le Bourgeois ne serait pas convenable si nous n'invitions pas le lecteur à réfléchir, seul ou à nos côtés, sur un point étrange du vocabulaire de cet auteur, lorsqu'il emploie les expressions « jour naturel » et « jour artificiel ». Ces dénominations se retrouvent cinq fois dans son texte et, heureusement, chaque fois dans un contexte qui exclut toute incertitude sur ce que signifient ces deux expressions.

Page 14 « ... le cercle des douze heures faisant la moitié du jour artificiel ... ».

Il s'agit de douze heures TSVL, c'est-à-dire de temps solaire, vrai, local, référé à un « jour » qui commence sur le méridien ou sur l'antiméridien, avec les heures XII ou XXIV.

Page 20 « ... et montrent les heures communes du jour artificiel ... ».

Il s'agit des mêmes heures que page 14. Aucune incertitude.

Page 21 « Icelles lignes rouges divisent le jour artificiel en douze parties égales qui seraient les douze heures que dure le jour, tant l'hiver que l'été ». Ici, il s'agit des heures temporaires de jour (entendu au sens de « jour clair » par opposition à la nuit qui se mesure par les heures temporaires de nuit ; ces dernières ne peuvent, évidemment, pas figurer sur un cadran solaire). Le Bourgeois précise que ces heures temporaires (ou « temporelles ») s'appellent aussi « inégales » ou « judaïques ».

Ces heures ne sont plus référées au méridien mais à l'horizon. La droite qui marque l'instant initial de la première heure temporaire de jour, se superpose à l'horizon Est du cadran, tout comme la droite qui marque l'instant ultime de la dernière heure temporaire de jour, se superpose à l'horizon Ouest du cadran. En même temps, mais sur un abaque, par exemple, ces limites du jour « temporaire » forment aussi les limites de la nuit « temporaire »,

mutatis mutandis.

De telles heures et de tels jours sont absolument inassimilables aux heures TSVL et aux jours solaires vrais, même subdivisés en « jours » et « nuits ».

Page 23 « ... car les Romains commencent leur jour naturel au coucher du Soleil ... ». Ici, non plus, aucune ambiguïté ; il s'agit des heures italiques. L'instant inaugural de la première heure italique est marqué par une droite qui se superpose à l'horizon Ouest du cadran et donc, cesse immédiatement d'être éclairée par le Soleil qui s'y couche. Le réseau opérationnel des heures italiques ne commence donc qu'à l'instant du lever du Soleil, sur la première heure babylonique confondue avec l'horizon Est du cadran.

De telles heures italiques sont absolument inassimilables aux heures TSVL.

Page 25 « ... les vingt-quatre heures du jour naturel ». Ici encore, aucune hésitation n'est de mise : il s'agit des heures TSVL.

Nous pouvons donc résumer ainsi les emplois et les sens des deux expressions « jour artificiel » et « jour naturel ».

1°) jour artificiel :

Heures TSVL = page 14 ; page 20 méridien

Heures temporaires = page 21 horizon

2°) jour naturel :

Heures italiques = page 23 horizon

Heures TSVL = page 25 méridien

Un instant, nous avons pensé que, pour Le Bourgeois, les heures qui commencent à l'horizon (soit quand il fait jour) semblaient plus « naturelles » que celles qui commencent au méridien (quand le jour est déjà écoulé à 50 %), mais on voit que cette hypothèse n'est pas valide. Nous ne pouvons plus que proposer une autre explication ... qui n'explique rien !

a) Le Bourgeois s'est trompé (*lapsus calami*) en écrivant « naturel » page 25. Il pensait « artificiel ».

b) Il a une raison qui nous échappe pour ne pas appeler du même nom les temporaires et les italiques bien qu'elles commencent toutes les deux à l'horizon.

Mais on peut aussi combiner autrement un *lapsus calami* et une raison mystérieuse !

VI) Conclusions

Conçu pour accompagner un instrument (le «tableau»), le manuscrit ne s'attarde que très peu sur l'organisation de celui-ci. Notre reconstitution (fig. 4) est donc fortement hypothétique. Nous pensons pouvoir affirmer qu'il s'agit d'un bloc gnomonique mobile. L'importance du texte sur la mise en station de l'instrument, indique que celui-ci n'est pas conçu pour être fixé à demeure mais pour être déplacé.

Certains détails évoquent fortement le diptyque en ivoire de 1598 (Mercier & Gagnaire 2016). Comme sur ce dernier, la multiplication des fonctions et des détails témoigne plus d'une démonstration de savoir-faire, que de la recherche du côté pratique et utile. L'outil de calcul du décalage horaire en est un bon exemple. Nous nous interrogeons, par ailleurs, sur la réalité du degré de précision qui est revendiqué dans le manuscrit (notamment en ce qui concerne le cadran vertical).

Références bibliographiques :

- Desmeules M. (2011) : L'analemme d'Anaximandre à Ptolémée, Le Gnomoniste, Vol 8 No 4, page 8.
- Holmes R. (2010) : Weapon : A Visual History of Arms and Armour, DK ed. 360 p.
- Huard G. (1913) : Marin BOURGEOYS, peintre du roi dans Bulletin de la Société historique de Lisieux, 21, p. 5-37.
- Huard G (1927) : Thomas Picquot et les portraits de Marin Bourgeois, Aréthuse VII-.
- Mercier E. & Gagnaire P. (2016) : Le Cadran de Ruzé de Beaulieu, Cadran-info hors-série, p. 32-53.
- Savoie D. (2014) : Recherches sur les cadrans solaires, Brepols ed., 240p.
- Tibbets G.R. (1992) The Beginnings of a Cartographic Tradition, History of Cartography, V 2, Book 1, p. 90-107.

⇒  **Dans la version numérique, en annexe :**

Facsimilé du manuscrit (document BNF) : « annexe_1(Manuscrit).pdf »

Tentative de transcription : « annexe_2(Transcription).pdf »



Vu au musée de Nantes



Un coffret de navigation du XVIIIe siècle avec son cadran solaire horizontal.



Diptyque en ivoire, dernier quart du XVIIe siècle.



Les cadrans signés «Ahmad al-'Umarî» (Tunisie, XVIIIe siècle)

Fathi Jarray & Eric Mercier

Nous décrivons ici cinq cadrans tunisiens du dernier quart du XVIIIe siècle, signés de Ahmad al-'Umarî. Nous proposerons qu'il s'agit en fait des œuvres de deux gnomonistes différents. 1) Ahmad ben Muhammad al-'Umarî auteur du remarquable cadran de la mosquée hanafite de Monastir. 2) Ahmad al-'Umarî, qui a réalisé les quatre autres cadrans qui sont de qualité scientifique très irrégulière. Un de ces instruments nous permettra néanmoins de discuter la méthode utilisée par les gnomonistes tunisiens pour calculer la Qibla.

I Introduction

Les cadrans solaires tunisiens anciens peuvent être divisés en 3 grands types (Jarray 2011) :

- le type médiéval (A), fortement influencé par l'héritage gréco-romain (Jarray 2012),
- le type de l'époque moderne (B), qui est apparu en 1616/17, quelques années après l'installation des Ottomans à Tunis. Ces deux événements sont liés car c'est Barakât Ben Muhammad al-Zarîf al-Husaynî al-Idrîsî, le premier muwaqqit¹ de la première mosquée hanafite² de cette ville (mosquée Yûsuf Dey) qui en est l'auteur,
- le type de l'époque contemporaine (C) ; qui va progressivement remplacer le type B à partir du XIXe siècle ; une influence occidentale y est nettement décelable.



◀ Fig . 1 - Vue partielle du cadran disparu de Yûsuf Dey (1616/17). Il s'agit du premier cadran de l'époque moderne en Tunisie. On y distingue notamment: (1) le bandeau extérieur en heure égale, en relation avec un gnomon polaire et (2), et dans l'espace central (bas de la photo) des droites «annonçant» des repères de prières (heures italiques et babyloniennes) en relation avec un gnomon vertical.

¹ Astronome / scientifique, attaché à une mosquée et chargé de déterminer les heures des prières.

² Doctrine / Ecole de jurisprudence musulmane répandue en Turquie et qui fut importée en Tunisie (majoritairement «malakite») par l'occupant ottoman.

Le type «moderne» (type B) est sans doute le plus intéressant sur le plan historique car il est spécifique à la Tunisie. Le plus ancien de ces cadrans était celui de la mosquée Yûsuf Dey (Tunis); il est hélas perdu et n'est connu que par une photo partielle (fig. 1).

Cette photo, en dépit de son caractère fragmentaire, atteste que ce cadran présentait déjà toutes les caractéristiques des cadrans horizontaux de l'époque moderne. A savoir³:

- un bandeau horaire extérieur (heures égales) en relation avec un gnomon (fil) polaire,
- dans la zone centrale: un ou plusieurs cadrans en relation avec autant de gnomons verticaux et qui indiquent des repères temporaires utiles à la détermination des périodes favorables aux prières,
- utilisation de lignes d'annonce car les repères concernés sont en dehors de la période d'éclairage du cadran (ex: Maghrib dans 4 h, 3 h, 2 h par exemple...).

La cinquantaine d'instruments horizontaux de type B dont la fabrication va ponctuer les 230 ans qui suivent (Jarray 2011, 2015a) ne vont pas s'écarter du schéma de ce prototype. Il est notamment impossible de mettre en évidence une évolution à l'intérieur de ce groupe.

Cela ne veut pas dire que les gnomonistes tunisiens de la période considérée n'ont pas tenté des expérimentations ou des innovations (Jarray 2015b) ; en effet, il existe des cadrans qui, sans s'éloigner du type standard, accueillent des éléments supplémentaires innovants et très originaux ! Parmi ces cadrans particuliers, deux d'entre eux (ceux de la Mosquée hanafite de Monastir et celui de la Grande Mosquée de Bizerte) sont signés de Ahmad al-'Umarî. Dans les lignes qui suivent nous nous proposons d'étudier ces deux cadrans mais aussi trois autres qui portent également cette signature.

Leurs réalisations s'étalent sur la période 1774-1791 (fig. 2). Comme nous le verrons par la suite, la qualité scientifique de ces instruments est extrêmement variable, ce qui nous conduira, avec d'autres éléments d'analyse, à envisager qu'il y a un problème d'homonymie et qu'il s'agit en réalité de réalisations de deux gnomonistes différents.

II Présentation et étude des cadrans solaires

A) Le cadran de la mosquée hanafite de Monastir

1) La Mosquée hanafite de Monastir et son cadran

Cette mosquée se trouvait dans la partie Est de Hûmat al-Jabbâna dans le faubourg central de la ville de Monastir. Elle fut démolie et remplacée par l'actuelle mosquée de Bour-

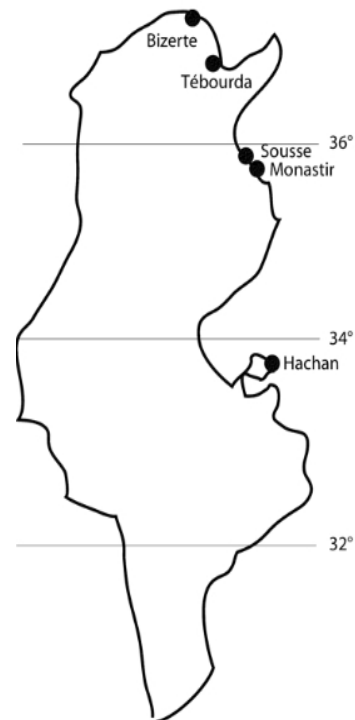


Fig. 2 - Localisation des cadrans signés Ahmad al-'Umarî

³ Les cadrans horizontaux modernes possèdent généralement une indication de la Qibla sous la forme d'un Mi-rhab' stylisé. Vu le champ réduit de la photo du cadran de Yûsuf Dey, il n'est pas possible de se prononcer sur le fait qu'il possédait, ou non, cette indication.

guiba dans les années soixante du siècle dernier (fig. 3). Nous n'avons presque rien sur son architecture ou sur son plan, ni sur l'emplacement du cadran et l'histoire de sa conservation (Musée des arts islamiques du Ribat de Monastir).

Le cadran est gravé sur une plaque de marbre blanc-grisâtre de 10 cm d'épaisseur et de dimension 90 cm x 56 cm (fig. 4). Dans le coin SW, une longue inscription commémorative est gravée; en voila la traduction :

1/ *Louange à Dieu Qui a orienté les raisons à témoigner son excellente existence par ses merveilleuses créations. Il l'a exhorté à raisonner et à contempler*

2/ *ses inventions mystérieuses et le bon ordre de ses innovations, dans tous ses œuvres magnifiques et ses réalisations glorieuses, sur sa terre et ses cieux. (Dieu) le très Haut dis :*

3/ **Dans la création des cieux et de la terre, dans l'opposition de la nuit et du jour, dans le vaisseau voguant sur la mer avec le profit que cela vaut aux hommes,*

4/ *en l'eau qu'Allah fait descendre du ciel par laquelle Il fait revivre la terre après sa mort, dans ce qu'il fait pulluler de toute bête, dans l'envol des vents et des nuages*

soumis, entre le ciel et la terre, (en tout cela) sont certes des signes pour un peuple qui

5/ *raisonne** (Cor. II, 164, trad. Blachère). *Bénédictions et paix sur l'émérite de tous les prophètes, l'éminent dans la circonférence des saints, notre seigneur Muhammad, celui que les soleils de*

6/ *sa loi divine nous ont éclairé, et les lunes de ses Compagnons sont apparues et sont servis à nous comme des étoiles pour nous guider dans l'égarement, Nous l'avons utilisés comme des phares pour suivre le chemin droit.*

7/ *Par lesquels nous avons aboutis les rangs élevés, et en les suivant nous nous sommes débarrassés des péchés. En outre, l'artisan (de ce cadran) Ahmad ben Muhammad al-'Umarî dis :*

8/ *celui qui a été à l'origine de sa réalisation est orienté par Dieu au bienfait et à la droiture Abû-l-Hasan 'Alî b. Yûsuf Murâd, il l'a fait pour la détermination des moments*

9/ *des prières. Son chronogramme : « il aura une rétribution de son Maître (Dieu), qui élève au rangs »*

10/ *L'année 1188 (lundi 14 mars 1774-vendredi 3 mars 1775)*

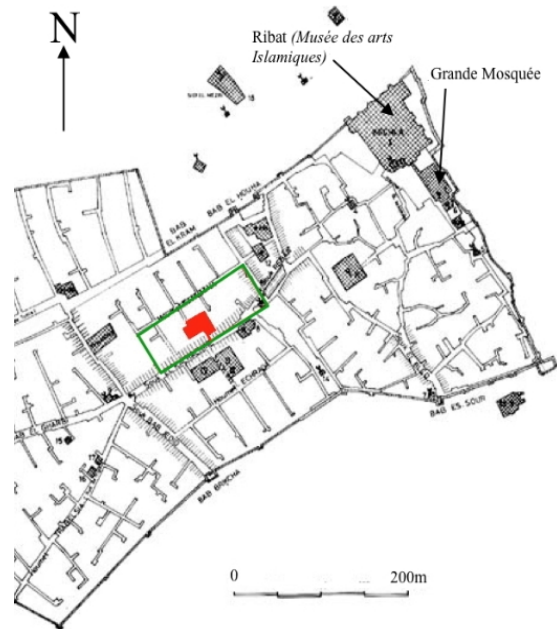


Fig. 3 - Carte partielle de Monastir au XIXe siècle avec, en rouge, la localisation de la mosquée hanafite (d'après M'Halla 1995). Le cadre en vert indique la position de la célèbre Mosquée Bourguiba construite en 1963 après de gros travaux de «rénovation» urbaine.

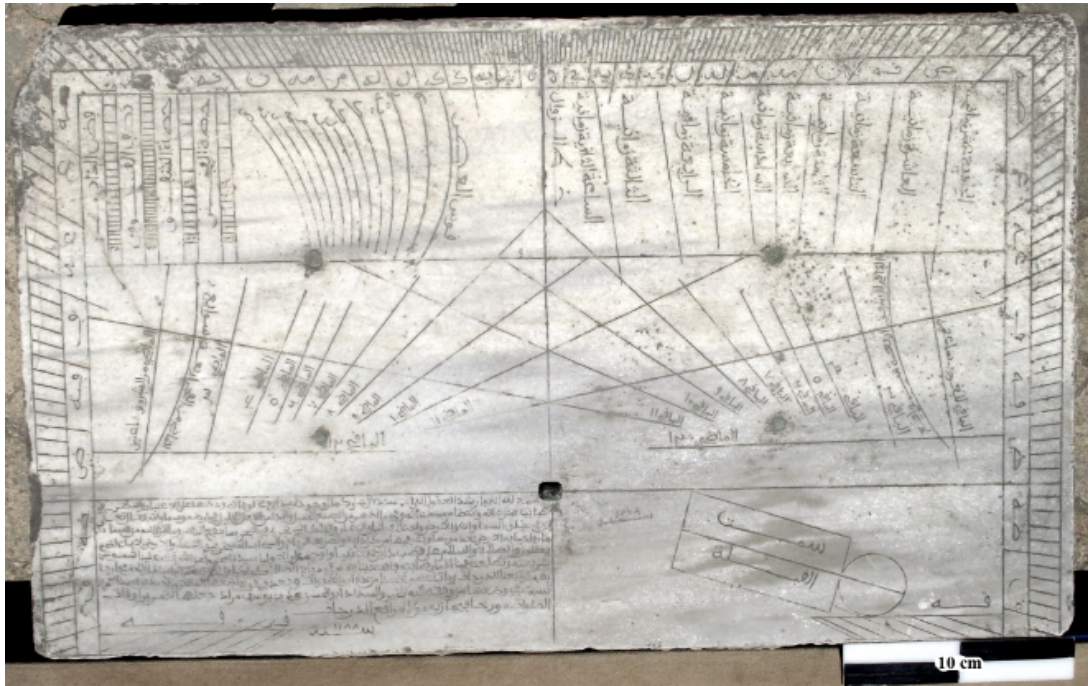


Fig. 4 - Le cadran solaire (daté de 1188 H - 1774/75 JC) de la mosquée hanafite de Monastir; il est actuellement visible au Musée des arts islamiques du Ribat Monastir, soit à quelques centaines de mètres de son lieu d'origine.

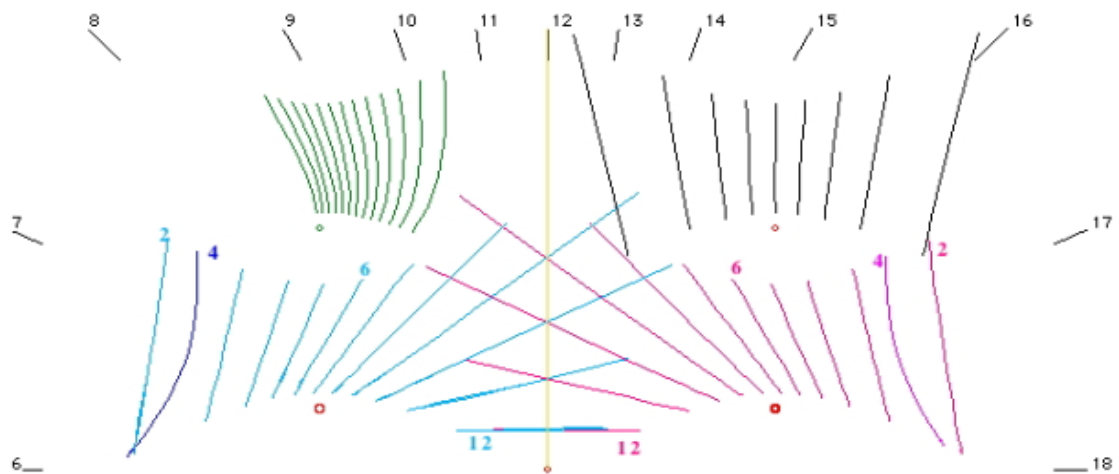


Fig. 5 - Modélisation du cadran solaire (convention de couleur et principe: voir Mercier 2014a).
 En bordure les heures égales; en haut à gauche : Asr en 12 courbes d'alerte espacées de 20 minutes ; en haut à droite: les heures temporaires (8h à 16h temporaires); en bas à gauche: les droites des heures babyloniennes (2 à 12h après le lever du soleil) et une courbe correspondant à Fajr + 4h ; en bas à droite : les droites des heures italiques (numérotées 12 à 2h avant le coucher du soleil, il s'agit de l'annonce de Maghrib) et une courbe correspondant à Isha- 4h.

En regard de cette inscription, on note une indication de Qibla, ici 110° , ce qui est une valeur classique pour les cadrans de cette époque en Tunisie (Mercier 2014b). Au Nord se développe le cadran proprement dit avec 4 parties principales; 2 de chaque côté de la droite méridienne. La modélisation de ce cadran, et le détail de la signification des tracés, est donné à la

figure 5. Dans le coin NW du cadran solaire on observe un petit tableau (fig. 6) dont la signification était restée mystérieuse.

2) L'appendice gnomonique

C'est la fonction et l'usage de ce tableau que nous allons essayer d'établir ici. Ce tableau se présente comme un ensemble de 4 colonnes graduées avec quelques chiffres (fig. 6). Entre les colonnes, quatre mentions donnent quelques éléments sur la nature des données retranscrites dans les colonnes. Ces indications épigraphiques sont traduites dans la figure 7. Ces indications ont, pour certaines, un sens très obscur. On ne dispose qu'aucun mode d'emploi qui permettrait de comprendre la signification du tableau et son usage. Après de nombreuses interrogations et autant d'essais, nous pensons pouvoir proposer quelques éléments qui peuvent constituer une tentative d'explication.



Fig. 6 - Détail du tableau étudié dans cet article, certaines indications épigraphiques sont très dégradées et illisibles.

3) Analyse de la troisième colonne

La mention de la 3^{ème} colonne (en partant de la droite) ; « la moitié de l'Arc », évoque une mention épigraphique déjà rencontré sur un cadran tunisien : la méridienne horizontale (1876) de la mosquée de la Kasba à Tunis, ou l'Arc indique la trajectoire du Soleil (Jarray et Mercier 2015b). Cette mention évoque également la notion d'« arc semi-diurne » (durée entre le lever du soleil et son passage au méridien) très utilisée dans l'astronomie musulmane médiévale.

Il apparaît que les valeurs de 72 (inscrite à la base de la colonne) et 108 (valeur évaluée grâce au nombre de graduation pour le haut de la colonne) correspondent aux deux valeurs extrêmes de la moitié de la durée du jour à Monastir exprimé en « drej »⁴ qui est l'unité temporelle utilisée sur les cadrans de l'époque moderne de Tunisie (type B). Ces valeurs extrêmes correspondent aux deux solstices. A l'équinoxe la valeur serait de 90

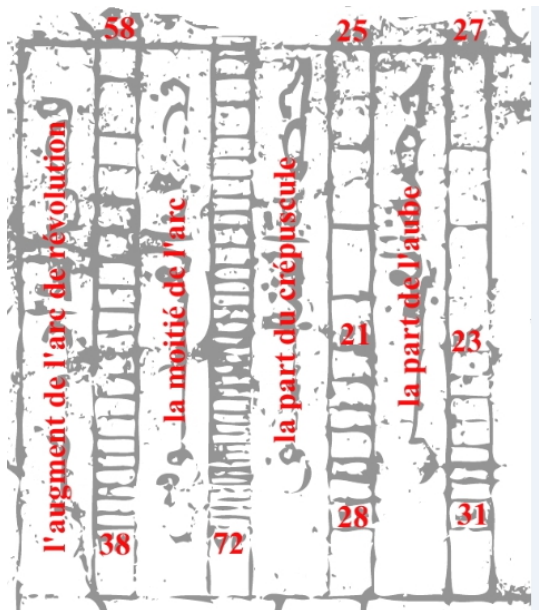


Fig. 7 - Traduction des mentions épigraphiques actuellement lisibles.

⁴ « drej » = degré, soit 1/15 de l'heure, c'est à dire 4 minutes. Cette unité est l'unité de base de la division traditionnelle de l'heure en fractions de 20 et 4 minutes. Actuellement en langage populaire drej signifie 5 minutes, c'était déjà le cas au milieu du XX^e siècle (Legendre (1958) qui, curieusement vu l'objet de son étude, n'évoque que la signification contemporaine). Le système traditionnel a été abandonné sur les cadrans au milieu du XIX^e comme en témoigne la date (1845) du premier cadran de type C, au sens de Jarray 2011, type justement caractérisé par la division de l'heure en fractions de 30, 15 et 5 minutes).

(soit 6 heures). Il est à noter que la position de cette graduation 90, c'est à dire la position des équinoxes, n'est pas au milieu de la colonne.

Par ailleurs, on constate que les positions, sur la colonne 3, des solstices et des équinoxes, sont exactement celles d'une méridienne horizontale calculée pour Monastir. De plus la ligne E-W qui semble limiter, vers le bas, la «zone» réservée au tableau sur le cadran correspond précisément à la position où devrait être implanté le gnomon droit d'une telle méridienne (fig. 8).

Fig. 8 - Comparaison entre la troisième colonne du tableau et le tracé d'une méridienne horizontale calculée pour Monastir. Le chiffre sans parenthèses est lu sur le tableau (voir figure M4) les chiffres entre parenthèses déduits du nombre de graduation. ►

On peut donc conclure : (1) la colonne 3 est une méridienne horizontale dont le gnomon vertical doit être positionné sur la ligne E-W susmentionnée et (2) ce n'est pas la demi-durée du jour qui est indiquée, mais la demi-durée de la nuit (le chiffre le plus petit correspond au Solstice d'Eté), cette colonne indique donc l'« arc semi-nocturne».

Comme il n'y a aucune implantation de gnomon visible sur la ligne E-W, il est probable que le muwaqqit de la mosquée utilisait un gnomon mobile pour établir, à midi, la durée de la nuit (fig. 9).

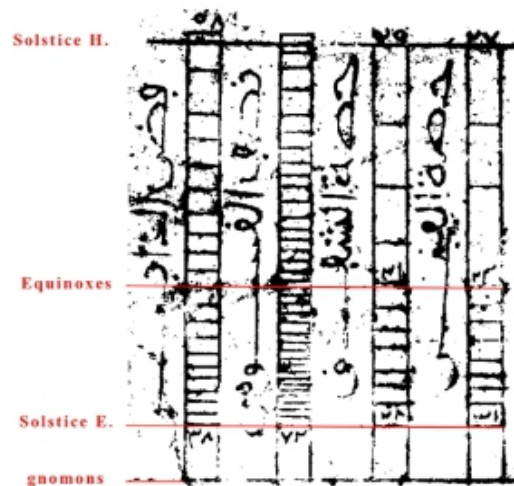
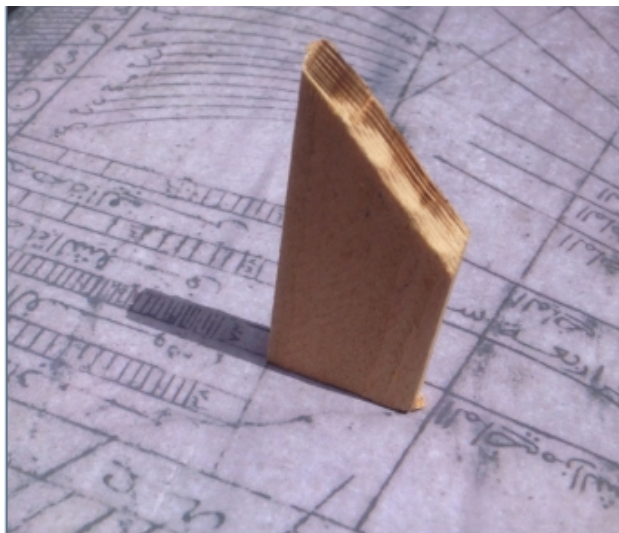
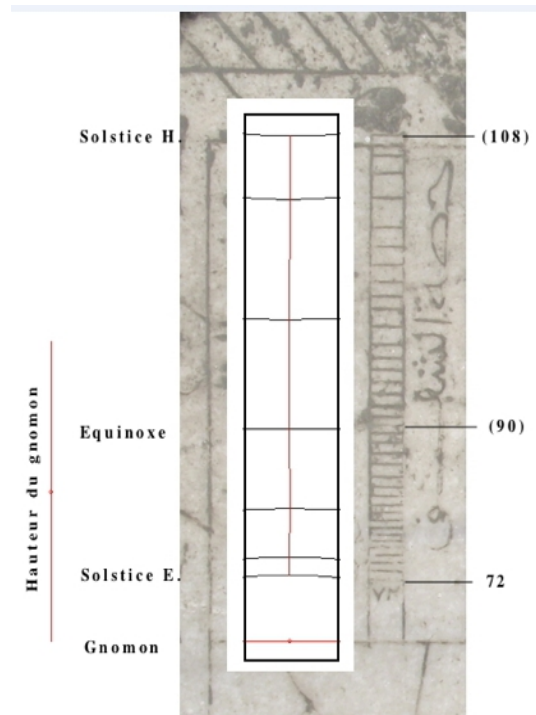


Fig. 9 - Tentative de reconstitution du gnomon mobile donnant, à midi, la demi-durée de la nuit en drej (4 minutes) et interprétation des colonnes du tableau en terme de méridiennes donnant, à midi solaire, des indications variées.

4) Les première et seconde colonnes

En fonction de ce qui précède, et vu l'épigraphe, on peut raisonnablement supposer que les première et seconde colonnes indiquent la durée de l'intervalle entre respectivement (1) Fajr et le lever du Soleil, et (2) Maghrib et Isha, c'est à dire la durée de l'aube et du crépuscule.

Pour pouvoir vérifier les valeurs inscrites sur le tableau, il faut calculer les heures de Fajr et Isha. Or, les méthodes de calcul de ces deux prières ont fortement variées au cours de l'histoire, et en fonction du pays concerné. La question est de connaître la hauteur (négative) du Soleil qui a servi de référence.

L'analyse du cadran lui-même va nous fournir la solution. En effet les courbes Fajr+4 et Isha-4 (respectivement + 4 heures et - 4 heures) y sont gravées à l'intérieur des «sous-cadrans» représentant les heures italiques et babyloniennes. On constate par ailleurs que les courbes relatives à Fajr et Isha ne sont pas parfaitement symétriques illustrant le fait que traditionnellement dans la civilisation arabo-musulmane, l'aube est considérée comme durer plus longtemps que le crépuscule.

Le calage de la position des courbes relatives à Fajr et Isha, par une série d'essais-erreurs lors de la modélisation du cadran (fig. 5) a permis d'établir que les hauteurs du Soleil de référence étaient respectivement :

$$\text{Fajr} : -20^\circ \quad \& \quad \text{Isha} : -18^\circ$$

Le calcul (fig. 10), avec les valeurs de hauteur du Soleil ainsi établies, donnent des durées (en drej) de l'aube et du crépuscule aux solstices, très proches de ce qui est inscrit sur le tableau du cadran. Le calcul montre par ailleurs (fig. 11) que la durée minimale de l'aube et du crépuscule, s'observe à des moments assez proches des équinoxes. C'est aussi ce que l'on retrouve sur les indications du tableau (fig. 7 et 10). Ainsi, par exemple, selon la colonne 1 du tableau, l'aube dure 31 drej au Solstice d'Été, passe par un minimum à 23 drej, puis remonte à 27 drej au Solstice d'Hiver. On trouve une situation similaire pour le crépuscule.

Traduction des intitulés de colonnes	l'augme-nt de l'arc de révo-lution		la moitié de l'arc		la part du crépuscule		la part de l'aube	
	Heure de début de Asr		Moitié de la durée de la nuit		Durée du crépuscule du soir		Durée du crépuscule du matin	
Interprétation	Calcul	Lecture	Calcul	Lecture	Calcul	Lecture	Calcul	Lecture
Solstice d'Hiver	57	58	108	(108)	23	25	26	27
Equinoxes	52	(48)	90	(90)	17	21	17	23
Solstice d'Été	38	38	71	72	28	28	32	31

Fig. 10 - Comparaison entre les valeurs lues (chiffres gras) ou déduites (chiffres entre parenthèses) sur le tableau (en noir) et le résultat des calculs (en vert). L'unité de temps est partout le drej (4 minutes). Avec ce tableau, on peut retrouver l'heure des 5 prières.

La position de ces minima, sur le tableau du cadran, correspond aux équinoxes ce qui n'est pas rigoureusement exact, mais constitue une approximation acceptable (voir figure 11). Les colonnes 1 et 2 sont donc, comme la colonne 3, des méridiennes mais indiquant cette fois-ci les durées de l'aube et du crépuscule (fig. 10). On notera pour finir que les minimums indiqués sur le tableau sont sensiblement différents de ceux calculés (23 et 21 au lieu de, respectivement : 17 et 17 soit des erreurs de respectivement 24 et 16 minutes d'erreur).

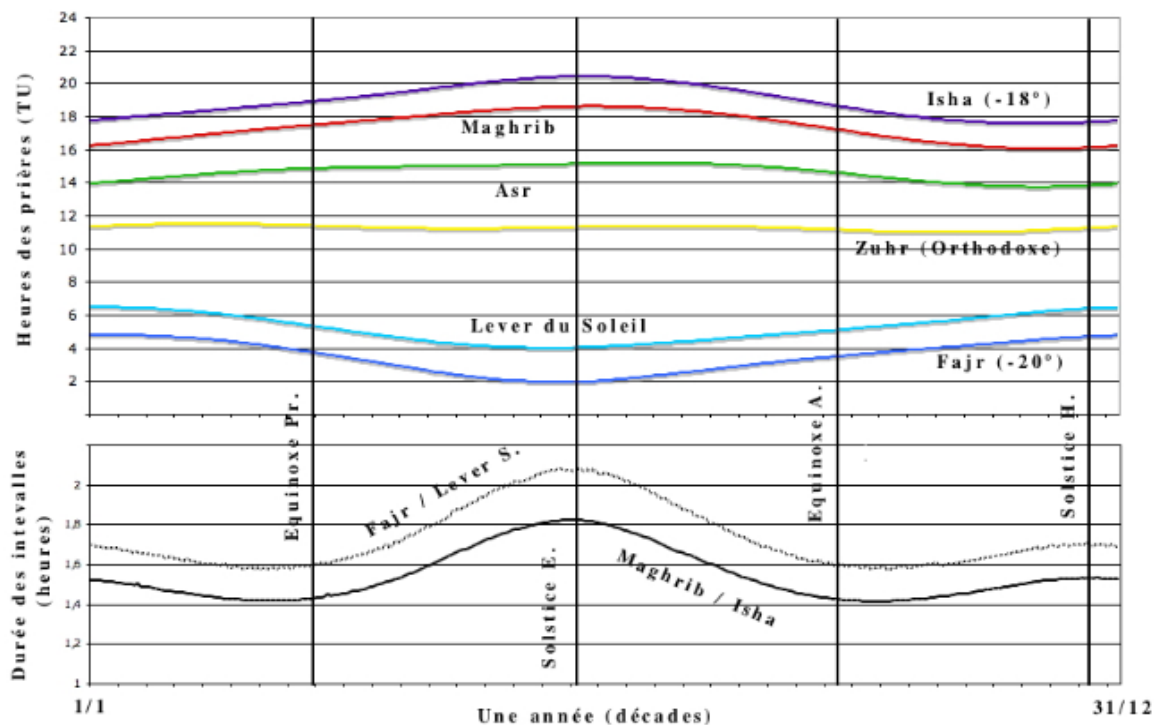


Fig. 11 - Evolution, au cours d'une année, de l'heure des prières (en TU) et de la durée de l'aube et du crépuscule (calculs avec Fajr : -20° et Isha : -18°)

5) La quatrième colonne

L'inscription épigraphique en regard de la quatrième colonne est assez problématique. La transcription en est : «*Faddhle al-dâier*» et sa traduction pourrait être «reste de l'arc (chose arrondie)». Nous avons trouvé dans l'ouvrage de Sédillot (1841) sur l'oeuvre de Aboul Hhas-san Ali⁵ la traduction suivante pour ce terme (p. 261): «*augment de l'arc de révolution*»; avec, en note infrapaginale, la précision suivante: «... *Nous aurions pu nous servir du terme d'argument, au lieu de celui d'augment, parce que l'élément dont il s'agit ne sert jamais que pour en trouver un autre.....*». L'étude détaillée du texte réalisée par Delambre (1819) permet de déduire que, l'«*augment de l'arc de révolution*» d'un instant (t) est égal :

- * à l'excès de l'arc semi-diurne sur la période lever => (t), si (t) est un instant du matin
- * à l'excès de la période lever => (t) sur l'arc semi-diurne, si (t) est un instant de l'après-midi

En termes plus simples: l'«*augment de l'arc de révolution*» est la valeur absolue de l'angle horaire entre le soleil au temps (t) et le méridien. A midi, quand on est capable de lire la valeur de ce paramètre sur le tableau, la distance du soleil au méridien est égal à 0, ce n'est donc pas la valeur de ce paramètre à l'instant de la mesure qui est indiqué sur cette colonne. Il s'agit donc, là encore, de lire à midi la durée d'un intervalle de temps qui, cette fois-ci, commence quand le soleil est au méridien (midi). On constate que, précisément, l'intervalle de

⁵ connu aussi sous le nom de *Al Marrakaschi*

temps entre midi et Asr, tel que l'on peut le calculer, correspond bien aux indications de la colonne (fig. 10). Nous supposons donc que cette colonne indique l'«*augment de l'arc de révolution*» au moment du début de Asr soit, plus simplement, l'heure de Asr.

B) Le cadran de la Grande Mosquée de Sousse

1) La mosquée et son cadran

La Grande Mosquée de Sousse (fig. 12) se trouve dans la partie Nord-est de la ville au Sud-est du *ribât*. Sa fondation remonte à l'époque *aghlabite* et son plan est de type classique. Construite en grand appareil et constituant une des fortifications de la ville, elle a connu plusieurs interventions au cours de son histoire sans que soit altérée sa configuration d'origine (Lézine 1963, 1971; Golvin 1974; Rammah 1982, Mahfoudh 2003). Quant à ce cadran, il a été fixé originellement au centre du patio avant d'être déplacé à son emplacement actuel au-dessus de la galerie orientale dans les années soixante du siècle dernier.



Fig. 12- La Grande Mosquée de Sousse vue de Ribat, la flèche indique l'emplacement du cadran solaire sur le portique.

2) Analyse gnomonique du cadran

Ce cadran, a été construit 5 à 6 ans après celui de la mosquée Hanafite de Monastir et à quelques kilomètres de distance seulement. Il est gravé sur une plaque de marbre blanc (50 cm x 50 cm). L'inscription commémorative indique:

- 1/ 1195 (jeudi 28 décembre 1780-dimanche 16 décembre 1781)
- 2/ *Ceci (le cadran) est l'œuvre du serviteur -qui a besoin de Son Dieu, l'Eternel- et espère son pardon,*
- 3/ *al-'Umarî Ahmad. (Ceci a été fait) pour la latitude de Sousse.*

Ils diffèrent par l'organisation de l'espace intérieur. Le gnomoniste a regroupé ici les différents sous-cadrans en un seul qui est en relation avec un gnomon vertical unique. Ce gnomon sert également de «guide-fil» pour le gnomon polaire du bandeau horaire (fig. 13).

Mais ce qui est surtout à remarquer est la baisse de qualité de la réalisation gnomonique.

- les informations concernant Fajr et Isha, présentes à Monastir, sont ici absentes.

- le tracé de Asr apparait fautif. On peut même se demander si la discrète ligne Nord-Sud qui dessine une corde à l'arc de Asr, n'est pas une tentative tardive de corriger le tracé (comparer avec la modélisation, (fig.14).

- le tracé des droites «Lever de Soleil +9h » et «Maghrib - 9h » est également fautif (comparer l'inclinaison de ces droites avec la modélisation, Fig.14).

Enfin, caractéristique assez exceptionnelle en Tunisie, il n'y a pas d'indication de Qibla sur ce cadran !



Fig. 13- Le cadran de la Grande Mosquée de Sousse (convention de couleur et principe : voir Mercier 2014a).

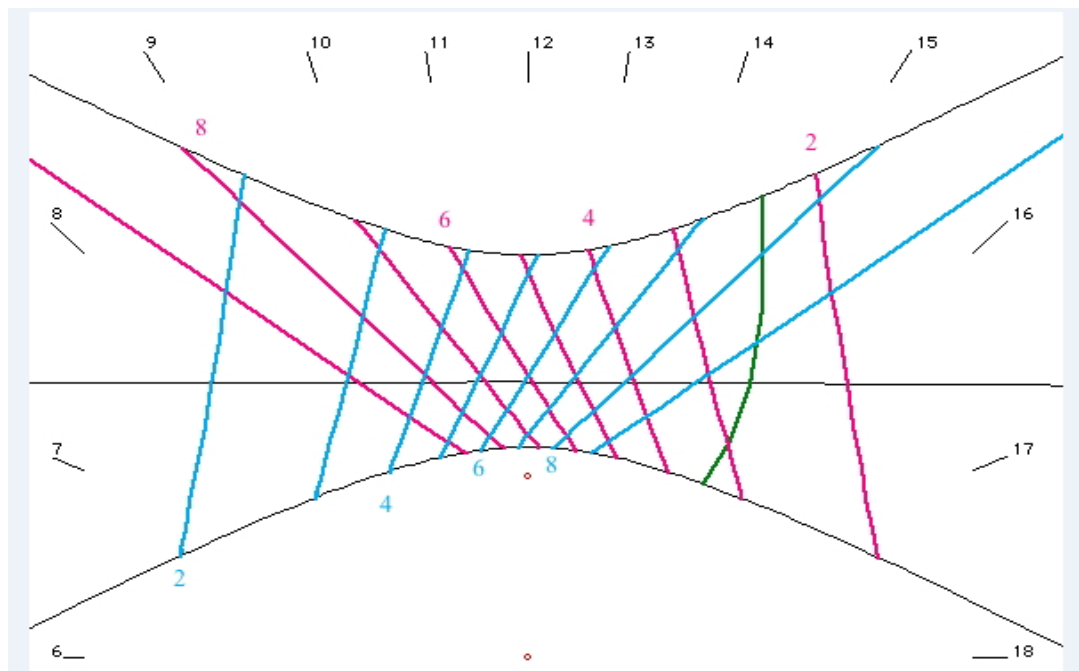


Fig. 14 - Modélisation du cadran de la grande mosquée de Sousse

C) Le cadran de la Grande Mosquée de Tébourba

1) La mosquée et son cadran

Cette mosquée se trouve actuellement presque au centre de cette bourgade andalouse dont elle surplombe la place principale. Elle date du début du XVII^e siècle et présente un plan classique composé d'une salle de prière et d'un patio. Le monument actuel est le résultat de

plusieurs interventions de rénovation et d'adjonction, parmi lesquelles l'ajout de ce cadran solaire au pied du minaret situé dans la partie nord de la cour (Saadaoui 2000).

2) Analyse gnomonique du cadran

Ce cadran, est installé au pied du minaret, coté Sud. Il fut construit 5 ans après celui de Sousse, lui ressemble beaucoup. Il s'agit d'une plaque de marbre blanc (46 cm x 37 cm). L'inscription commémorative est la suivante :

- 1/ *Au nom de Dieu, Bénédiction sur notre seigneur Muhammad*
- 2/ *Le pauvre serviteur (de Dieu) Ahmad al-'Umarî. L'année 1200 (vendredi 4 novembre 1785- lundi 23 octobre 1786)*

On note l'absence, sur le bandeau horaire, des heures antérieures à 6h du matin et postérieures à 6h du soir (fig. 15). Par ailleurs le tracé des heures italiennes et babyloniennes (y compris «Lever de Soleil +9h » et «Maghrib - 9h ») est exact. Enfin le tracé de Asr est également de bien meilleure qualité. Par ailleurs on remarque que les annonces de Asr sont espacées de 4 minutes (1 drej) ce qui est exceptionnel sur les cadrans tunisiens, les annonces sont en effet généralement espacées de 20 minutes. Par ailleurs, comme précédemment, aucune référence n'est faite aux prières de la nuit (Fajr et Isha). Notons également que ce cadran, contrairement au précédent, possède une indication de Qibla.



Fig. 15- Le cadran solaire de la grande mosquée de Tébourba.

D) Le cadran de la Grande Mosquée de Bizerte

1) La mosquée et son cadran

La Grande Mosquée de Bizerte (fig. 16) occupe un emplacement stratégique dans la ville. Elle est bordée de l'est par le quai du vieux port et de l'Ouest par la rue d'al-Znâydiyya (les Armuriers). Le monument d'origine remonte à l'époque médiévale tardive, mais il a connu une rénovation presque totale à partir du XVII^e siècle et le rajout de certains éléments architecturaux dont cet instrument de mesure du temps (Bouayta non daté, 1992; Hbaieb 2009) .



Fig. 16 - Vue ancienne de la Grande Mosquée de Bizerte et de son minaret de tradition ottomane. ►

2) Analyse gnomonique du cadran

Ce cadran est gravé sur une plaque de marbre blanc-jaunâtre de 50 cm x 50 cm (fig. 17). Il est situé au dessus du portique Nord du patio. L'inscription commémorative est fortement endommagée, on peut néanmoins y lire :

- 1/ *Ce cadran horizontal béni a été mis en place,*
- 2/ *par le serviteur qui a besoin*
- 3/ *de son Dieu, Ahmad*
- 4/ *al-'Umarî, en l'année 1203 (jeudi 2 octobre 1788-dimanche 20 septembre 1789)*

Fig. 17 - Le cadran de la Grande Mosquée de Bizerte ►

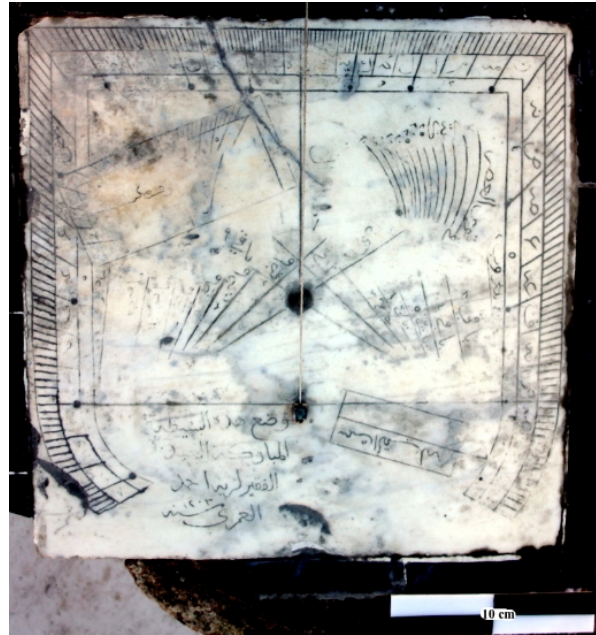
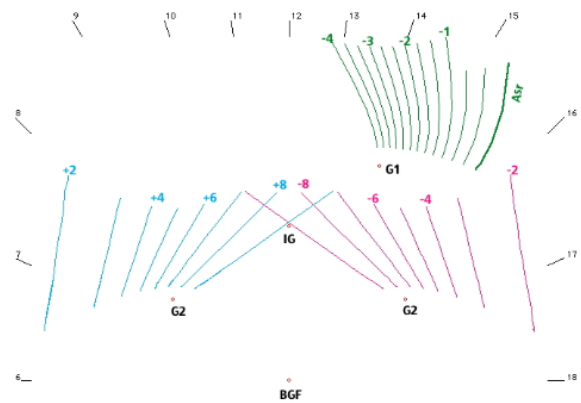


Fig. 18 - Modélisation du cadran solaire (convention de couleur et principe: voir Mercier 2014a). En bordure les heures égales; en haut à droite: Asr en 12 courbes d'alerte espacées de 20 minutes; en bas à gauche: les droites des heures babyloniennes (2 à 9 h après le lever du soleil); en bas à droite: les droites des heures italiques (numérotées 9 à 2 h avant le coucher du soleil, il s'agit de l'annonce de Maghrib). ►



Ce cadran fut réalisé 3 ans après celui de Tébourba. Les figures 18 et 19 illustrent la modélisation de ce cadran et un schéma de principe. On note, là encore, l'absence de référence aux prières de la nuit (Fajr et Isha).

Par contre l'organisation en «sous-cadran», comme à Monastir, a ici été choisie. Il est probable que ce choix découle de la volonté du gnomoniste de laisser de la place disponible au Nord-Ouest, pour une appendice gnomonique supplémentaire: un cadran donnant l'heure de La Mecque.

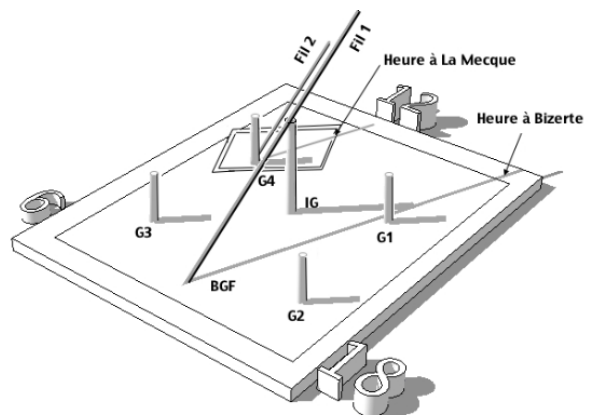


Fig. 19 - Schéma de principe du projet déduit du tracé. ►

La comparaison de la modélisation avec le tracé des trois «sous-cadrans» de prière montre que ces derniers ont été très correctement calculés et réalisés. Chacun des trois «sous-cadrans» devraient être associées à un gnomon vertical. On reconnaît, sur la figure 19, les gnomons G1, G2 et G3 dont les implantations sont indiqués sur la figure 18 et qui sont chacun relatifs à un «sous cadran» de prières. On note également le point d'accrochage du fil (BGF) et un piquet (IG) sans fonction gnomonique directe, mais qui sert, lors de l'installation du cadran, à «guider» le fil 1 et notamment à régler son inclinaison.

Ce qui est remarquable, et à dire vrai, très surprenant, c'est que la table de marbre du cadran ne conserve aucune trace des gnomons G1, G2 et G3 qui n'ont, de façon certaine, jamais été implantés ! On pourrait supposer que la Muwaqqit de l'époque utilisait un gnomon mobile (comme pour les mini-méridiennes de Monastir), mais le cadran ne possède aucun repère permettant le positionnement provisoire d'un tel dispositif mobile. Tout se passe plutôt comme si ce cadran n'était pas fini et que seule la partie horaire (bandeau extérieur et fil polaire) avait été mise en service.

Comme les «sous-cadrans» qui viennent d'être évoqués apparaissent comme correctement calculés et dessinés, on peut penser que c'est lors de la réalisation de l'appendice (heure de La Mecque) qu'est apparu un problème avant qu'il soit complètement terminé. Ce problème a entraîné l'abandon du projet, ou, au moins, l'abandon de plusieurs fonctions importantes.

3) L'appendice gnomonique: un cadran donnant l'heure de La Mecque

L'appendice, situé dans le quart Nord Ouest du cadran, indique, selon l'indication épigraphique elle-même, l'heure de La Mecque. Une telle indication ne correspond à aucune nécessité du rite musulman, par contre elle peut permettre de déterminer la Qibla. En effet, les 28 Mai et 16 juillet, à l'instant du midi solaire de La Mecque, le soleil est au Zenith de cette ville, si bien que, en tout lieu de la Terre, l'azimut du Soleil matérialise, à cet instant, la Qibla ... d'où l'intérêt de connaître le midi de la Mecque.

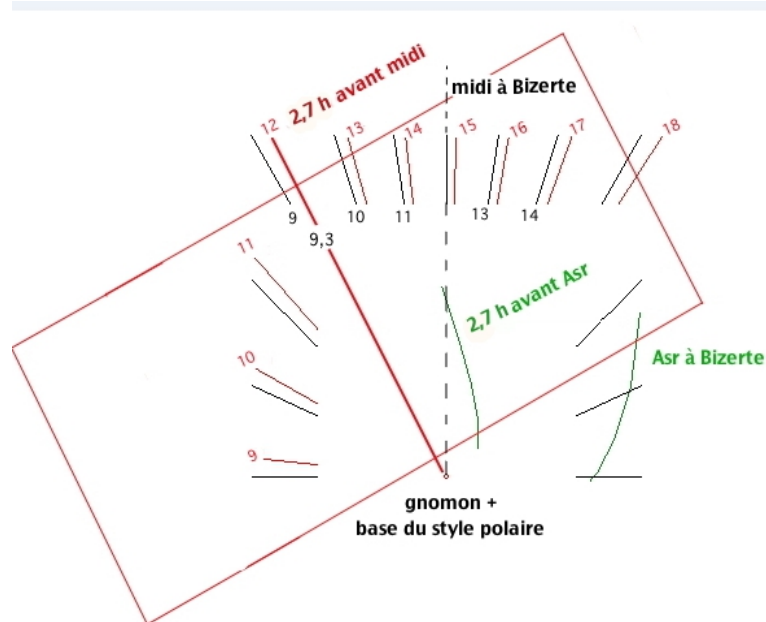


Fig. 20 - Principe du tracé d'un cadran donnant l'heure de La Mecque en un lieu situé à 2,7h (2h 42') de décalage horaire avec la Mecque (explications: voir texte).

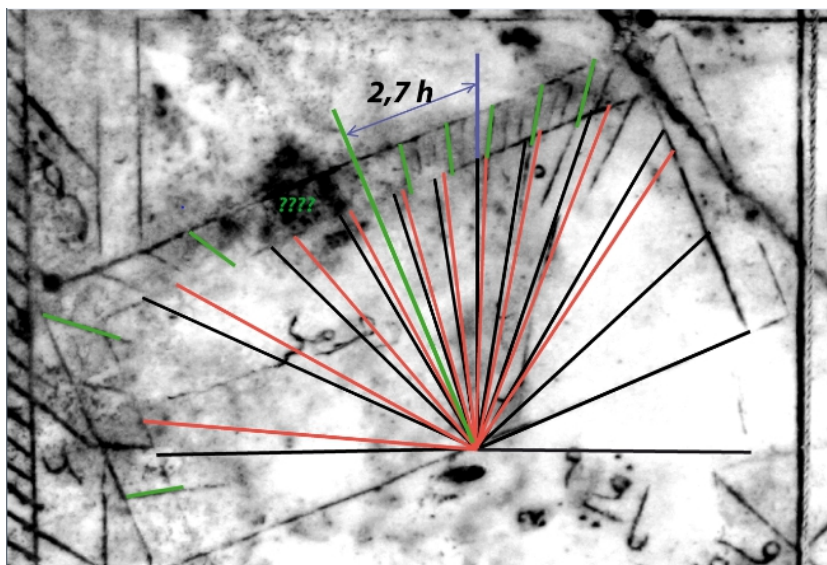


Fig. 21 - Vérification des tracés de l'appendice gnomonique de Bizerte. En vert, sur le bandeau extérieur, les indications horaires observables sur le cadran appendice (indiquant l'heure de La Mecque). En vert vif, le tracé de Asr. En noir: le résultat de la modélisation des heures égales à Bizerte (trait gras = midi est orienté parallèlement au méridien du grand cadran). D'après les indications du cadran lui-même, le décalage horaire est de 2,7h. En rouge, le même réseau de droite horaire que le réseau noir, mais avec un décalage de 2,7 h (qui indiquent donc les heures entières à La Mecque).

Voyons tout d'abord le principe d'un cadran situé à un endroit quelconque du globe (ici: B) et qui indique l'heure du autre point (ici : LM).

Un tel cadran est un cadran calculé pour B, avec, des lignes horaires calculées pour B. La seule modification, par rapport à un cadran standard pour B, réside dans le choix des lignes horaires et surtout dans leur numérotation. Le paramètre critique est le décalage horaire, c'est à dire la différence de longitude, entre les deux points. Dans le cas présent, l'analyse du petit cadran en question montre que le gnomoniste a considéré que midi avait lieu à la Mecque 2,7 h plus tôt qu'à Bizerte (soit 2h 42' ou encore 40,5° de différence de longitude⁶)

Pour illustrer la réalisation pratique du cadran, on se référera à la figure 20. On considère tout d'abord un cadran calculé pour Bizerte (traits et chiffres noirs) avec un gnomon polaire implanté au point de convergence des lignes horaires (fil n°2 de la figure 19). Puis on trace des lignes horaires, en rouge, décalées de 2,7 h . Ce tracé en rouge, avec le gnomon filaire initial, constitue le cadran qui indique l'heure à la Mecque. On peut ensuite dessiner un rectangle qui admet la ligne de 12h rouge comme axe de symétrie, ce qui donne l'illusion (!) que ce cadran est symétrique autour de 12h (ce qui est bien sûr faux).

Si l'on implante un gnomon droit au point d'implantation du fil (G4 de la figure 19), on peut calculer et dessiner les courbes de prières, notamment Asr à Bizerte, et la courbe d'annonce à -2,7 h qui est une approximation de Asr à la Mecque.

Voyons maintenant comment cette procédure a été appliquée dans le cas du cadran étudié. La figure 21 correspond à la superposition de la photo du cadran avec les lignes horaires rouges et noires de la figure 20. On constate que le tracé réel du cadran (en vert) s'éloigne fortement du tracé calculé. La conséquence est que le décalage entre les valeurs lues sur le cadran appendice et les valeurs lues sur le cadran principal varient selon le moment de la journée.

⁶ Ce chiffre, à la fois différent de celui que l'on trouve dans les manuscrits anciens et des données actuelles sera rediscuté plus loin.

à 6 h du matin à Bizerte, on aurait lu 8,25 h à La Mecque soit une différence de 2,25 h
à midi à Bizerte, on aurait lu 14,7 h à La Mecque soit une différence de 2,7 h
à 14 h à Bizerte, on aurait lu 17,2 h à La Mecque soit une différence de 3,2 h

Ce qui, évidemment, n'a aucun sens et n'aurait pas manqué d'interpeller tout utilisateur de l'instrument. Par ailleurs, on note que le tracé de Asr à la Mecque est fort éloigné de ce que la modélisation prévoit.

Nous pensons que c'est au cours de la gravure de ce cadran que Ahmad al-'Umarî s'est rendu compte de ses erreurs, et qu'il a décidé d'abandonner ou, au minimum, de simplifier son œuvre (sans implanter les gnomons G1, G2, G3, G4)

4) Remarque sur le calcul de la Qibla

Pour prier, les musulmans doivent s'orienter vers La Mecque. La détermination de la Qibla (direction de La Mecque) a donc toujours été un enjeu important. Le calcul scientifique de la Qibla a été mis au point dès le IXe par les savants musulmans (synthèse dans King 2014) en utilisant les règles de la trigonométrie sphérique établies à cette occasion. En dépit de cette découverte, les architectes ont continué à orienter les Mosquées selon les principes de l'astronomie populaire (lever d'une étoile particulière, direction des vents dominants...). En Tunisie, il semble qu'il n'existe aucune mosquée correctement orientée avant le début du XXe siècle (Mercier 2014b). Pourtant, et toujours en Tunisie, dès le début du XVIIe siècle les gnomonistes indiquent sur leurs cadrans une orientation correcte de la Qibla (Mercier 2014b, Jar-ray & Mercier *en préparation*).

Le cadran de Bizerte, qui associe une indication de la Qibla et une valeur de la différence de longitude entre La Mecque et Bizerte, constitue une occasion unique d'explorer les méthodes de calcul de la Qibla utilisés par les gnomonistes tunisiens.

Actuellement, on évalue la Qibla à 113° à Bizerte. Le cadran, avec son Mirhab' de grande taille permet de mesurer précisément la valeur de 107°. Cette proximité de résultat ne doit pas faire illusion car de nombreux paramètres interviennent.

Maintenant, comme à l'époque de la réalisation du cadran, calculer la direction de la Qibla d'un lieu donné, nécessite de connaître les coordonnées géographiques du lieu et celles de La Mecque. Or au XVIIIe siècle, les coordonnées géographiques étaient imprécises et fluctuantes.

Par ailleurs, les savants musulmans de l'époque avaient à leur disposition deux méthodes de calcul :

- la méthode rigoureuse (par trigonométrie sphérique) assez lourde sur le plan mathématique :

$$(1) \quad Q = \cotg \left((\cos \Delta L \sin \Phi - \cos \Phi \tan \Phi_M) / \sin \Delta L \right)$$

avec ΔL = différence de longitude; Φ = latitude du lieu ; Φ_M = latitude de La Mecque

- la méthode approchée purement graphique (fig. 22), qui est beaucoup plus simple. Elle a été proposée dès le IXe siècle par al Battani. Sa précision est d'autant plus grande que l'on est proche de la Mecque. Selon King (2014), cette seconde méthode fut, pendant très longtemps, la plus usitée. La formule équivalente est :

$$(2) \quad Q = \arctg (\sin \Delta L / \sin \Delta \Phi) \quad \text{avec } \Delta \Phi = \text{différence de latitude}$$

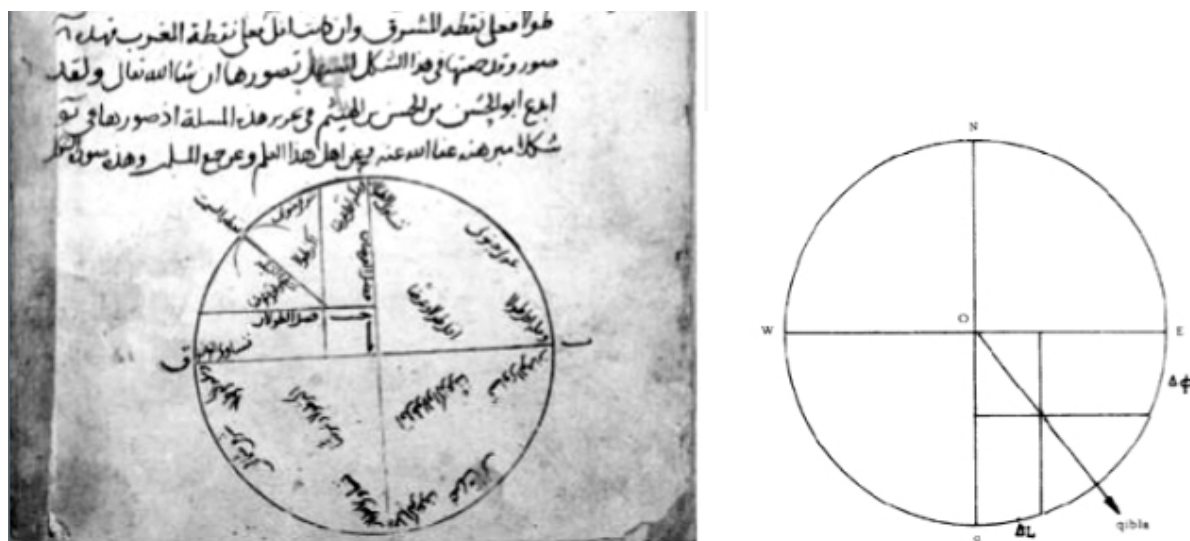


Fig. 22 - La méthode graphique (approchée) de calcul de la Qibla de al-Battani.
Extrait d'un manuscrit du XIII-XIVe siècle (King 2014 p. 60) et schéma de la méthode
selon les conventions actuelles (Nord en haut) (King 1987).

On peut considérer comme acquis :

- le fait que le gnomoniste considérait que le ΔL est égal à $40,5^\circ$
- le fait qu'il localisait La Mecque à 22° de latitude Nord (c'est la valeur systématiquement admise dans les manuscrits anciens, y compris Ptolémée : Kennedy & Kennedy(1987))
- le fait qu'il a utilisé une des deux méthodes à sa disposition: soit la méthode exacte (1) , soit la méthode graphique approchée de al-Battani (2)

Pour trouver $Q = 107^\circ$ avec ces éléments, il faut, avec la méthode exacte, considérer que $\Phi = 41,5^\circ$ (soit la latitude de Rome); et avec la méthode approchée admettre que $\Phi = 33^\circ$ ce qui est beaucoup plus réaliste.

Nous allons comparer ces données géographiques avec les données géographiques tirées des manuscrits musulmans tels qu'ils sont synthétisés dans Kennedy & Kennedy (1987). Le système de coordonnées musulman est directement hérité de celui de Ptolémée (IIe siècle après JC). Selon cet auteur, le méridien d'origine (0°) est à 90° à l'Ouest du centre du monde habité matérialisé par la ville d'Arîne en Inde. Pour des raisons qui restent à établir le méridien 90° des arabes ne passe pas exactement à Arîne, même s'il est systématiquement fait référence à ce terme («coupole d'Arîne») pour désigner le méridien 90° . De plus, les géographes musulmans n'ont cessé, par leur mesure, de diminuer la taille du monde habité en renvoyant *de facto* le méridien 0° en pleine mer, alors qu'il passait par les îles Canaries dans le système de Ptolémée (ce méridien 0° devient alors le «méridien de l'eau» , Comès 1988). Par ailleurs, pendant toute la civilisation arabo-musulmane, il a existé deux systèmes de méridiens décalés de 10° (systèmes A et C de Kennedy & Kennedy (1987)). Soulignons enfin que les manuscrits étant recopiés les uns les autres sans citation des sources, l'âge d'un manuscrit donné ne reflète pas forcément l'âge des connaissances géographiques qui y sont indiquées.

Bizerte				La Mecque				Type	réf.
longitude		latitude		longitude		latitude			
°	'	°	'	°	'	°	'		
30	30	36	30	67	0	21	0	A	al Zayyat (1058)
31	0	33	30	67	21	21	31	A	ibn Said al Maghribi (1286)
30	50	33	35	67	21	21	31	A	Abul Fida (1331)
40	58	36	30	77	0	21	0	C	al-Marrakusi (1250)
9	52	37	18	39	49	21	26		XX-XXIè siècle

Fig. 23 - Les coordonnées de Bizerte et La Mecque selon les manuscrits citant Bizerte (compilé d'après Kennedy & Kennedy (1987)).

On dispose de quatre manuscrits (sur les 74 synthétisés par Kennedy & Kennedy (1987)) qui donnent des coordonnées de la ville de Bizerte (et de La Mecque qui est toujours indiquée) (fig. 23).

On note qu'un seul est dans le système C (avec La Mecque à 77° de longitude), les 3 autres sont dans le système A. Mais à chaque fois le ΔL est proche de 36,5°, ce qui constitue un progrès par rapport aux conceptions de Ptolémée qui fixait pour ΔL entre Carthage et La Mecque à 39,5° (valeur moderne 30°). La valeur déduite du cadran pour ΔL , c'est à dire 40,5° apparaît donc élevée et suggère la caractère «primitif» de cette donnée, c'est à dire datant d'avant les corrections faites par les géographes arabes de la période médiévale.

La mesure de la latitude d'une ville est facile et nécessite une simple mesure nocturne à l'astrolabe. Dans les manuscrits anciens, cette valeur est très souvent correcte. On est donc surpris de trouver dans les manuscrits deux valeurs de latitude qui s'éloignent fortement de la valeur «moderne». En fait, les valeurs «basses» sont probablement à mettre en relation avec une erreur de Ptolémée qui fixait la latitude de Carthage à 32,4° (au lieu de 36,5°)⁷.

La valeur de Φ déduite du cadran ($\Phi = 33^\circ$) apparaît donc, la encore, comme «primitive» c'est à dire datant d'avant les corrections faites par les savants arabes de la période médiévale (la valeur de $\Phi = 41,5^\circ$ n'est bien entendu pas recevable).

On est donc amené à conclure que Ahmad al-'Umarî a indiqué une valeur de la Qibla qui semble très proche de la valeur «exacte». Mais cette convergence est fortuite, en effet, il semble bien qu'il ait utilisé des coordonnées proches de celles de Ptolémée sans tenir compte des progrès effectués pendant la période médiévale. Par ailleurs, pour son calcul, il a utilisé la méthode approchée d'al Battani.

E) Le cadran de la grande mosquée de Hachan (=Hashân)

1) La mosquée et son cadran

Cette mosquée se trouve à Hûmat al-Hashân sur la route reliant Mellîta à Hûmat al-Sûq. Il s'agit d'un complexe architectural qui couvre presque 4000m² et composé d'une salle de prières, d'un patio, des latrines et de plusieurs chambres de services (El Mrabet 2002). Sa *mizwala* est actuellement placée sur un support construit dans la partie Nord-est du patio. La

⁷ Sur les erreurs de coordonnées géographiques de Ptolémée qui concernent la Tunisie, voir la remarquable mise au point de Saada (2016).

plaque est fragmentée en 6 morceaux dont un est situé au niveau de la période de l'après midi a complètement disparu.

2) Analyse gnomonique du cadran

Ce cadran, gravé sur une plaque de marbre blanc cristallin de 50cm x 50 cm, apparaît comme fort simple (fig. 24). Son inscription commémorative est la suivante :

- 1/ *La mise en place de ce cadran horizontal béni*
- 2/ *fut ordonnée par le puissant notre seigneur Ahmad b. 'Ayyâd*
- 3/ *Gouverneur de l'île. Son rédacteur le serviteur de Dieu*
- 4/ *Ahmad al-'Umarî en l'année 1205 (vendredi 10 septembre 1790- mardi 30 août 1791)*

Le caractère rayonnant des fissures suggère qu'en plus de la boucle du gnomon polaire, il y avait un gnomon guide-fil au centre du cadran. L'existence d'une courbe de Asr est donc probable. Mais en dehors de cette courbe hypothétique, la partie religieuse du cadran est vide, et notamment on n'observe pas le réseau des heures italiques et babyloniennes qui était présent sur les autres cadrans étudiés.

Fig. 24 - Le cadran de la Grande Mosquée de Hachan (Ile de Jerba).



III Discussions et conclusion

Cette revue chronologique des instruments signés «Ahmad al-'Umarî» ne met pas en évidence d'évolution continue. Le cadran le plus ancien est de loin le plus remarquable sur le plan gnomonique et il est suivi par des réalisations parfois franchement fautives. Comme nous l'avons déjà signalé en introduction, nous pensons que deux gnomonistes quasi-homonimes se partagent la paternité des 5 cadrans que nous venons de présenter. Ces cadrans présentent une certaine unité mais aussi des différences très marquées. C'est ce que nous nous proposons d'exposer maintenant à l'appui de notre hypothèse.

A) *Un point commun : le mode de calcul de Zhur*

Aucun des cinq cadrans étudiés ici, ne fait référence au Zhur «andalou», ce qui suggère qu'il retient le zhur «orthodoxe». Ceci n'est pas exceptionnel dans la gnomonique Tunisienne, ainsi Barakât Ben Muhammad al-Zarîf al-Husaynî al-Idrîsî (le premier gnomoniste de l'époque moderne) semble avoir fait le même choix. Mais inversement de nombreux cadrans

tunisiens (jusqu'au début du XXe siècle) retiennent la méthode de calcul andalouse⁸. C'est également le cas de la totalité (100%) des astrolabes construits dans l'occident musulman (Mercier 2015). Le choix précoce du Zhur orthodoxe que l'on observe sur nos 5 cadrans a sans doute une signification religieuse, peut-être liée au rite hanafite (?).

B) Les différences

Beaucoup de choses opposent le cadran de Monastir aux quatre autres plus récents : la taille de la plaque de marbre, la précision du tracé des courbes de prière, l'originalité scientifique, le type de message fourni par l'inscription commémorative, etc.... Une fois que l'on a fait cette constatation d'autres éléments, qui en première analyse étaient passés inaperçus, attirent l'attention. C'est notamment le cas d'une subtile différence dans le nom du gnomoniste : le premier indique un élément de filiation (fils de Mohammed)

- sur le cadran de Monastir : *Ahmad ben Muhammad al-'Umarî*
- sur les quatre autres : *Ahmad al-'Umarî*

Sur cinq cadrans, la graphie, que ce soit pour l'inscription commémorative ou pour le reste de devises/indications de l'assemblage, est exécutée avec la technique de gravure en creux. Mais on note une nette différence dans le type de l'écriture entre, d'une part le cadran de Monastir, et d'autre part, les quatre autres.

-le cadran de Monastir est gravé en écriture maghrébine qui est très classique sur les épigraphies depuis l'époque médiévale. Cette graphie s'est diffusée surtout dans les régions intérieures au cours de l'époque moderne; elle est relativement rigide et se caractérise par sa ligne de base rigoureuse.

- Les cadrans de Sousse, de Bizerte, de Tebourba et de Djerba sont exécutés en *naskhî* tunisien, écriture souple utilisée et propagée sur les différents supports essentiellement sur les inscriptions depuis la fin de l'époque médiévale et durant toute l'époque moderne.

Les recherches menées sur les cadrans solaires de Tunisie ont clairement montré que chaque gnomoniste usait d'une technique d'exécution et d'une écriture bien particulière dans la gravure de ses œuvres. Les éléments précédents constituent donc un argument majeur en faveur de notre hypothèse de deux auteurs différents.

C) Conclusions

Au vu des éléments précédents, il nous semble que l'hypothèse selon laquelle c'est à deux gnomonistes différents qu'il faut attribuer les cadrans étudiés dans cet article, est la meilleure pour expliquer l'évolution paradoxale de la qualité de ces instruments dans le temps.

Nous avons donc décrit 5 cadrans créés sur la période 1774-1791 et signé de *Ahmad al-'Umarî*, mais ce serait deux gnomonistes qui se partageraient la paternité de ces instruments :

⁸ Dans le domaine maghrébo-andalou ancien, on a considéré que Zuhr devait commencer quand l'ombre d'un gnomon vertical (de longueur G) atteignait la longueur de son ombre à midi solaire (Hm) plus $\frac{1}{4}$ de sa hauteur (soit : ombre = Hm + 0,25 G). Cette règle fut énoncée pour la première fois par al Biruni au X^e siècle en Afghanistan/Ouzbékistan. La manière dont elle a pu se répandre dans l'occident musulman pour finir par être considérée comme une règle typiquement « andalouse » (en fait maghrébo-andalouse) demeure un mystère.

1) *Ahmad ben Muhammad al-'Umarî* qui a réalisé le cadran de la mosquée hanafite de Monastir. Il s'agit d'un cadran remarquable qui propose une solution innovante pour anticiper, dès midi, la valeur des intervalles de temps entre les prières du reste de la journée et de la nuit suivante.

2) *Ahmad al-'Umarî*, auteur de quatre autres cadrans plus tardifs et de qualité nettement inférieure. Un de ses instruments, inachevé et en parti erroné (cadran de la Grande mosquée de Bizerte), mérite une attention particulière car il nous permet de caractériser la méthode et les paramètres utilisés par les gnomonistes tunisiens de la période moderne pour calculer la Qibla qui est quasi-systématiquement indiquée sur les cadrans de cette époque.

Références bibliographiques :

Biémont E. (2006) : *Astronomie en Terres d'Islam*, Burellier éd. 172 p.

Blachère R. (1966) : *Le Coran*, Paris.

Bouayta H. (non daté) : « al-Jâmi' al-Kabîr bi-Binzart », *Actes du colloque : "Bizerte à travers l'histoire"* (années 1987, 1988, 1989,1990), 2^e éditions, Sans date, p. 92-102,

Bouayta H. (1992) «La Grande Mosquée de Bizerte : la tradition hafside et l'apport turc », *IBLA*, N°170, 1992, p. 225-233.

Comès M. (1998), «The meridian of water in the tables of geographical coordinates of al-Andalus et North Africa », *The formation of al-Andalus*, vol. 2, p. 381-391, éd. Ashgate, Farnham.

Delambre M. (1819) : *L'astronomie du moyen-âge*, Courcier edt, Paris

El Mrabet R. (2002), *Corpus des mosquées de Jerba*, INP, Tunis, 2002.

Golvin L. (1974) :, *Essai sur l'architecture religieuse musulmane*, tome 3, Paris ;

Hbaieb M.A. (2009), *Bizerte et sa région : étude de géographie historique*, sous la direction de M. Chapoutot et Pierre Guichard, Univ. Lyon 2, février 2009.

Jarray F. (2011) : «Les cadrans solaires islamique de Tunisie : essai de typologie préliminaire», *Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu*, Karabük Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Turquie, p. 155-200.

Jarray F. (2012) : «De l'horologium, solarium antique à la mizwala islamique : de l'adoption à l'adaptation», *Africa Romana XIX*, Université de Sassari, Sardaigne, Italie, p. 2355-2380.

Jarray F. (2015a) : *Mesurer le temps en Tunisie à travers l'histoire*. Cité des Sciences de Tunis, 229 p.

Jarray F. (2015b), «Le métier de gnomoniste d'après la collection des *mizwala*-s de Tunisie », *Métiers, savoir faire et vie professionnelle dans la Méditerranée d'après les sources archéologiques*, Actes du deuxième colloque international de l'Institut Supérieur des Métiers du Patrimoine, Tunis, p. 167-180.

- Jarray F. & Mercier E. (2015a) : Cadran de la Grande Mosquée al-Zaytûna, Cadran-Info, 31, p. 53-68.
- Jarray F. & Mercier E. (2015b) : Les méridiennes de Tunis, XVIII et XIX^e siècle, Le gnomoniste, XXII, 3, 4-16
- Kennedy E. S. & Kennedy M. H. (1987) : *Geographical coordinates of localities from Islamic sources*, Frankfurt am Main : Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, 709 p.
- King D.A. (1987) : *Islamic Astronomical Instruments*, London : Variorum,
- King D.A. (2014a) : *World-maps for finding the direction and distance to Mecca* ; Brill ed., 638 p. (première édition : 1999).
- King D.A. (2014b) : *In synchrony with the heavens* , volume 1 : *The call of the Muezzin* ; Brill éd, 930 p. (première édition : 2005).
- Legendre M. (1958) : *Survivance des mesures traditionnelles en Tunisie*; PUF, 90 p.
- Lézine A. (1963) : *Sousse : les monuments islamiques*, Paris ;
- Lézine A. (1971), *Deux villes de l'Ifriqiya : Sousse et Tunis*, Paris;
- Mahfoudh F. (2003) : *Architecture et urbanisme en Ifriqiya médiévale*, Tunis.
- Mercier E. (2014a) : Cadran islamique anciens de Tunisie, Cadran-info 29. 53-65
- Mercier E. (2014b) : Qibla des cadrans islamiques de Tunisie, Cadran-info, Cadran-info, 30, p. 66-72
- M'Halla M. M. (1995) : *Monastir au 19^e siècle. A propos de la ville et de l'urbanisme arabomusulman*; Africa n°13, p 243-260
- Rammah M.(1982) : *Sûsa mina al-fath al-islâmî ilâ majî'al-Muwahidûn : dirâsa târîkhiyya wa mi'mâriyya wa athariyya*, 2 tomes, D.R.A., sous la direction de I. Shabbûh, Tunis, 1982, p. 256-301
- Saada A. (2016) : *Reconstitution de l'espace tunisien de Ptolémée et de B. Sylvano (1511)*. e-Perimetron, Vol. 11, No.1, p. 1-12
- Saadaoui A. (1999) : *Inscriptions arabes et turques dans les mosquées tunisiennes de l'époque ottomane*; Africa 17, 128-151
- Saadaoui A. (2000), «Villes et villages andalous de Tunisie, aménagement, urbanisme et architecture », *R. H. M.*, 97-98, 2000, p. 97-125.



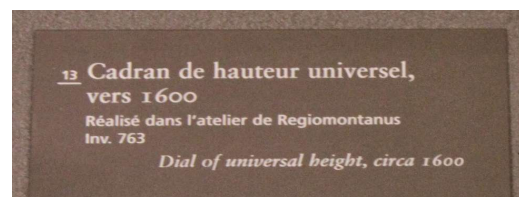
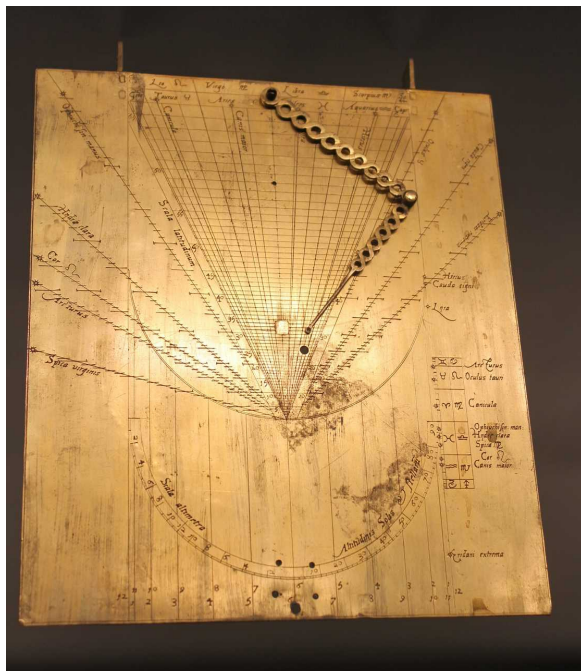


Étoiles et cadran de Regiomontanus

Yvon Massé

Décryptage des lignes aux étoiles du cadran de Regiomontanus conservé au musée des Arts et Métiers.

Cette étude fait suite à notre visite du 6 octobre 2013 au musée des Arts et Métiers pendant laquelle nous avons pu admirer ce cadran de Regiomontanus, cadran qui comporte des tracés propres aux étoiles.



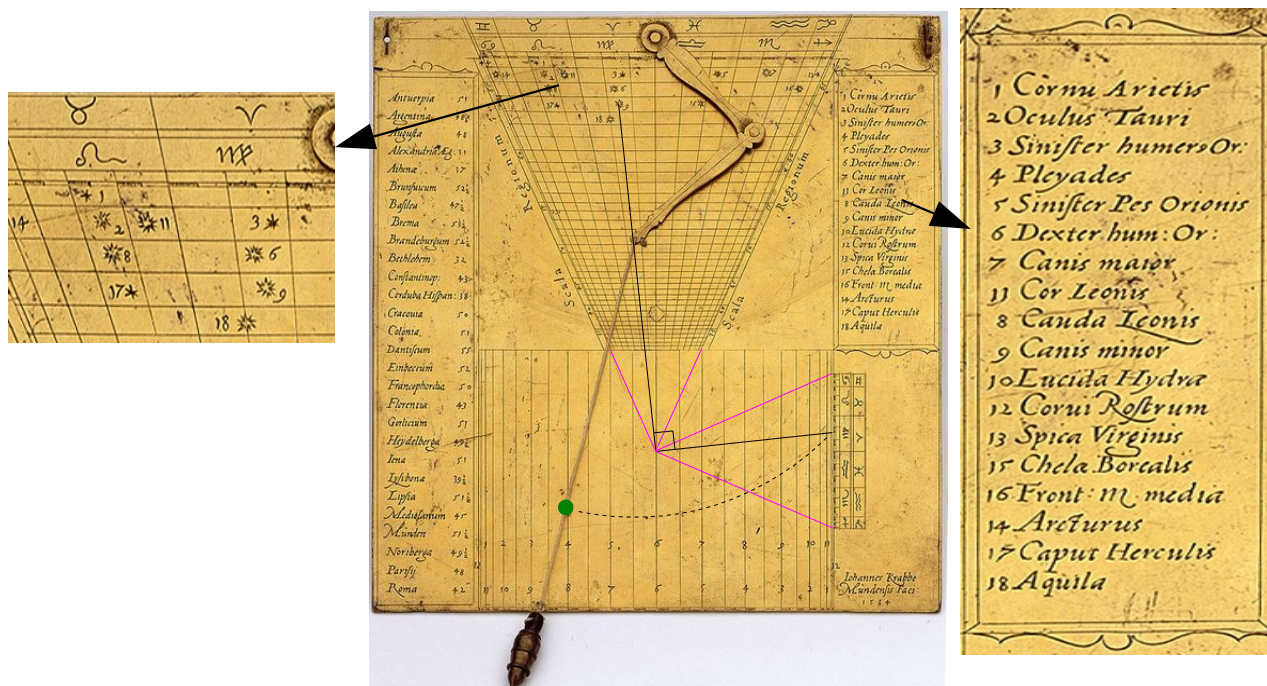
Pendant la visite Alain Ferreira fit remarquer que c'était un cas très rare. Effectivement, après une petite recherche sur Internet, je n'en ai trouvé qu'un seul autre. Il appartient au National Maritime Museum à Greenwich et il comporte une liste d'étoiles à gauche et un renvoi par numéro dans le haut du trigone supérieur (voir page suivante).

Le mode d'utilisation aux étoiles de ce dernier cadran est le suivant :

- Après avoir choisi l'étoile à utiliser, positionner l'extrémité du bras à l'intersection de la position de l'étoile et de la latitude du lieu (ici à environ $50^{\circ} 30'$).
- Tirer la ficelle et régler la perle sur le zodiaque latéral au signe correspondant à l'étoile choisie.
- Viser l'étoile avec les 2 pinnules et lire l'angle horaire de l'étoile indiqué par la perle (4 h du matin ou 8 h du soir sur la photo mais il faut remarquer que le fil n'est pas incliné du bon côté car l'étoile visée doit se situer à gauche du cadran).

De cet angle on peut ensuite déduire ou le temps sidéral avec l'ascension droite de l'étoile

ou le temps vrai en introduisant en plus l'ascension droite du Soleil.



On notera l'angle droit entre les droites noires de même déclinaison et on remarquera aussi que toutes les étoiles proposées sont situées entre les tropiques. Ce qui n'est pas le cas pour le cadran du musée des Arts et Métiers qui utilise des étoiles de déclinaison plus importante comme Deneb (la queue du Cygne). Cela justifie les droites graduées en latitude à l'extérieur du trigone supérieur. Toutefois, pendant la visite, en recherchant une cohérence dans le tracé des lignes, il est apparu d'emblée que plusieurs détails ne collaient pas :

- La ligne de l'Épi de la Vierge placée pour une forte déclinaison de l'hémisphère Nord.
- La ligne de l'Œil du Taureau du côté de l'hémisphère Sud.
- 4 étoiles en dehors des tropiques sur la ligne de midi pour 8 lignes graduées en latitude à l'extérieur du trigone supérieur...

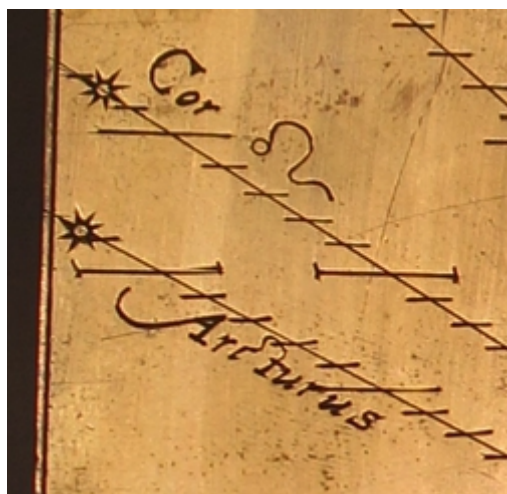
J'ai alors sollicité l'appareil photo de Véronique Hauguel, que je remercie ici, pour photographier le cadran au plus près de sa perpendiculaire afin de limiter l'effet de perspective et pouvoir ensuite effectuer des mesures angulaires. Par la suite, Véronique m'a transmis les photos qui se sont avérées d'excellente qualité. Toutes les conditions étaient donc réunies pour effectuer les mesures et essayer d'éclaircir le mystère.

Le premier travail a été de classer les couples *lignes graduées en latitudes / points matérialisés par une petite étoile sur la ligne verticale de midi* puis de retrouver les étoiles concernées.

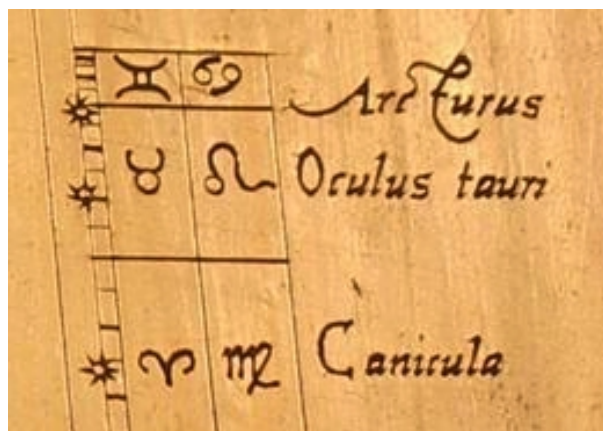
Ces étoiles sont au nombre de 12 :

- Les 6 premières sont évidentes.
- Les 3 suivantes sont désignées par le nom de la constellation. Ces constellations étant petites, il faut a priori prendre l'étoile la plus brillante. Ce point sera à confirmer.
- Les 3 dernières sont désignées par des indications plus vagues dans de grandes constellations. Elles ne seront déterminées qu'après avoir compris le principe de la

gravure du cadran.



Détail de lignes (à droite du cadran)



Détail de points sur la ligne de midi

Type	Gravure	Traduction	Étoile
Point Droite	Spica ♁ Spica virginis	Épi de la Vierge	Spica
Point Droite	Arcturus Arcturus	E : Arcturus	Arcturus
Point Droite	Cor ♌ Cor ♌	Cœur du Lion	Régulus
Point Droite	Hircus Hircus	E : Chèvre	Capella
Point Droite	Oculus tauri Oculus ♉	Œil du Taureau	Aldébaran
Point Droite	Cauda cigni Cauda cigni	Queue du Cygne	Deneb
Point Droite	Canicula Canicula	C : Petit Chien	Procyon
Point Droite	Canis maior Canis maior	C : Grand Chien	Sirius
Point Droite	Lijra Lijra ?	C : Lyre	Véga
Point Droite	Hijdrae clara Hijdre clara	Hydre brillante	
Point Droite	Ophiuchi sin : man : Ophiuchi sin : manus	Main gauche du Serpentaire	
Point Droite	Eridani extrema Eridani extrema	Extrémité de l'Éridan	

Les coordonnées de ces étoiles dans le repère équatorial ont ensuite été déterminées grâce au logiciel Stellarium configuré pour l'année 1600, date supposée de la réalisation de ce cadran.

Le second travail a consisté à mesurer les angles. La technique utilisée consiste à :

- Corriger la photo pour retrouver des lignes parallèles, horizontales et verticales ainsi

que des cercles circulaires. Le logiciel PhotoFiltre a été utilisé à cet effet.

- Avec un logiciel évolué de traitement de texte ou de dessin, insérer la photo dans un document. Superposer ensuite sur la photo des segments dont on peut relever dans les attributs l'angle correspondant. C'est le logiciel Draw de la suite LibreOffice qui a été utilisé ici.

Un premier exercice sur les angles extrêmes des trigones, mesurés par rapport aux origines définis sur la figure ci-dessous, a donné les valeurs cohérentes suivantes :

Type	Trigone	Angle	Angle mesuré
Point	Latéral	Angle maxi	23,5
Point		Angle mini	-23,5
Droite	Supérieur	Angle maxi	24,2
Droite		Angle mini	-24

Le tableau des résultats obtenus est le suivant, on y retrouve une bonne corrélation entre la déclinaison des étoiles et l'angle de leur position sur la ligne de midi (hormis pour Régulus où il y a vraisemblablement une erreur de signe). Ce n'est à l'évidence pas le cas des droites de la partie supérieure ainsi que nous l'avions constaté lors de notre visite au musée des Arts et Métiers.

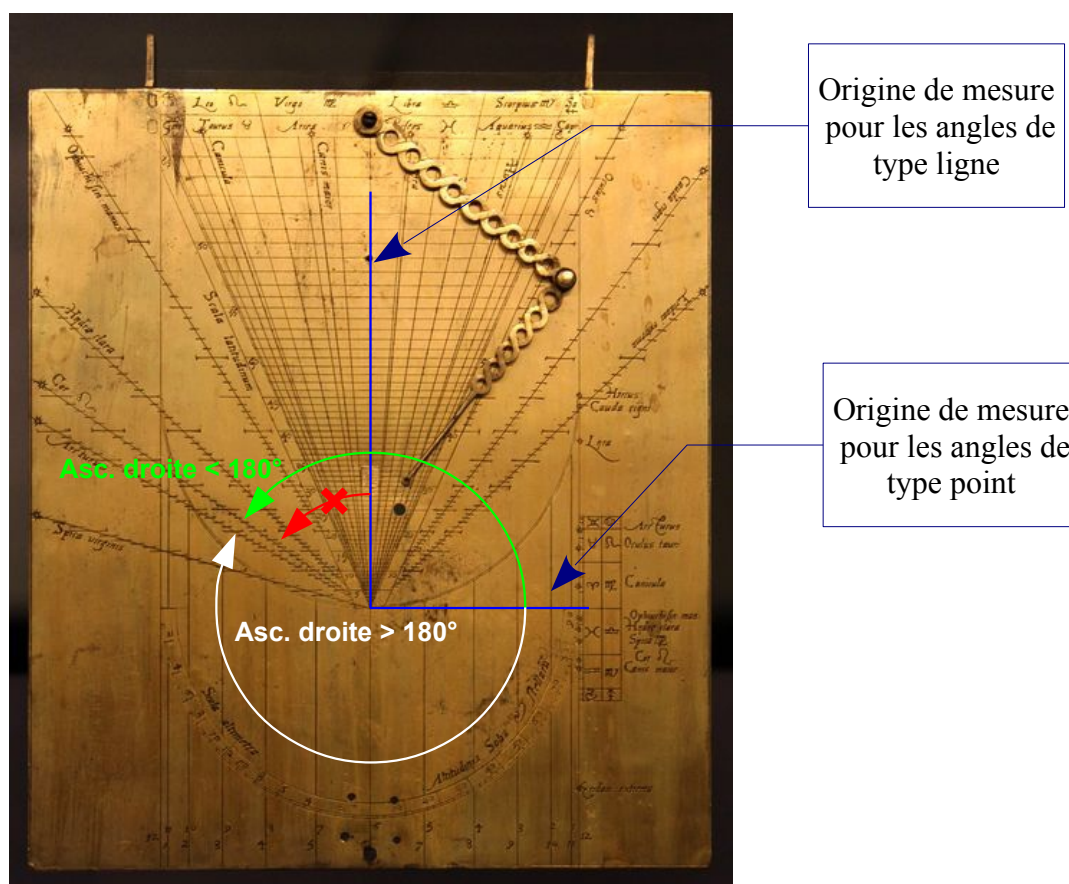
Type	Gravure	Traduction	Étoile	Angle mesuré	Déclinaison	Différence
Point	Spica ♀	Épi de la Vierge	Spica	-9	-9,05	-0,05
Droite	Spica virginis			74,5		
Point	Arcturus	E : Arcturus	Arcturus	20,4	21,32	0,92
Droite	Arcturus			60,5		
Point	Cor ♂	Cœur du Lion	Régulus	-14	13,88	27,88
Droite	Cor ♂			56		
Point	Hircus	E : Chèvre	Capella	45,3	45,49	0,19
Droite	Hircus			-18,3		
Point	Oculus tauri	Œil du Taureau	Aldébaran	16	15,63	-0,37
Droite	Oculus ♂			-27,8		
Point	Cauda cigni	Queue du Cygne	Deneb	44	43,89	-0,11
Droite	Cauda cigni			-37,5		
Point	Canicula	C : Petit Chien	Procyon	6	6,19	0,19
Droite	Canicula			19,7		
Point	Canis maior	C : Grand Chien	Sirius	-16	-16,22	-0,22
Droite	Canis maior			7		
Point	Lijra	C : Lyre	Véga	38,4	38,45	0,05
Droite	Lijra ?			-5		
Point	Hijdrae clara	Hydre brillante				
Droite	Hijdrae clara					
Point	Ophiuchi sin : man :	Main gauche du Serpenteaire				
Droite	Ophiuchi sin : manus					
Point	Eridani extrema	Extrémité de l'Éridan				
Droite	Eridani extrema					

-0,12

Ce n'est qu'en tâtonnant que je suis arrivé à la conclusion que la position des lignes graduées en latitude étaient, contre toute attente, dépendante de l'*ascension droite* de l'étoile. Bien que ces lignes apportent alors un complément d'information (pour le calcul de l'heure sidérale par exemple), elles ne peuvent en aucun cas servir au réglage du bras comme le laisse supposer leurs graduations en latitude.

L'ascension droite s'exprime généralement en heure, minute et seconde de 0 à 24 h, soit en degré de 0 à 360°. La volonté du concepteur de cet instrument était visiblement de mettre toutes les lignes des étoiles dans la partie haute du cadran, aussi a-t-il dû recourir à une façon de reporter l'angle de l'ascension droite de façon différente suivant qu'il était inférieur ou supérieur à 180° :

- Pour les ascensions droites de 0 à 180°, l'angle est reporté à partir de l'origine de mesure des angles de type point dans le sens antihoraire.
- Pour les ascensions droites de 180 à 360°, l'angle est reporté à partir de la même origine mais dans le sens horaire.



En modifiant les mesures effectuées d'après ce principe, on obtient finalement le tableau ci-dessous qui montre une bonne corrélation entre la position des étoiles et les angles mesurés.

De plus, les mesures ont, en quelque sorte, désigné les 3 dernières étoiles. Il s'est avéré qu'elles correspondaient effectivement à la description de la gravure.

Hormis pour Acamar et en intégrant l'erreur de signe faite sur Régulus, la différence entre mesures et positions est contenue dans le degré, ce à quoi on peut s'attendre en cumulant l'imprécision du graveur et des mesures effectuées.

Type	Gravure	Traduction	Étoile	Angle mesuré	Déclinaison	Asc. Droite	Différence
Point Droite	Spica ♀ Spica virginis	Épi de la Vierge	Spica	-9 195,5	-9,05	196,06	-0,05 0,56
Point Droite	Arcturus Arcturus	E : Arcturus	Arcturus	20,4 209,5	21,32	209,34	0,92 -0,16
Point Droite	Cor ♂ Cor ♂	Cœur du Lion	Régulus	-14 146	13,88	146,74	27,88 0,74
Point Droite	Hircus Hircus	E : Chèvre	Capella	45,3 71,7	45,49	71,81	0,19 0,11
Point Droite	Oculus tauri Oculus ♂	Œil du Taureau	Aldébaran	16 62,2	15,63	63,26	-0,37 1,06
Point Droite	Cauda cigni Cauda cigni	Queue du Cygne	Deneb	44 307,5	43,89	306,95	-0,11 -0,55
Point Droite	Canicula Canicula	C : Petit Chien	Procyon	6 109,7	6,19	109,58	0,19 -0,12
Point Droite	Canis maior Canis maior	C : Grand Chien	Sirius	-16 97	-16,22	96,89	-0,22 -0,11
Point Droite	Lijra Lijra ?	C : Lyre	Véga	38,4 275	38,45	275,86	0,05 0,86
Point Droite	Hijdrae clara Hijdre clara	Hydre brillante	Alphard	-6 136,8	-6,97	136,98	-0,97 0,18
Point Droite	Ophiuchi sin : man : Ophiuchi sin : manus	Main gauche du Serpenteaire	Yed Prior	-3 237,5	-2,60	238,36	0,40 0,86
Point Droite	Eridani extrema Eridani extrema	Extrémité de l'Éridan	Acamar	-40,6 43,5	-41,95	40,77	-1,35 -2,73

-0,12

La différence plus importante pour Acamar pourrait s'expliquer par une imprécision sur la position connue de cette étoile à l'époque de la réalisation du cadran. Rappelons qu'étant donnée sa déclinaison très négative, il faut se situer à des latitudes inférieures à 38°, soit en dessous de la latitude d'Athènes, pour pouvoir observer Acamar à plus de 10° au dessus de l'horizon. La difficulté de l'observation ajoutée à la réfraction atmosphérique ont pu la faire situer avec une grande imprécision par les observateurs d'avant la Renaissance. L'étude des catalogues d'étoiles existant à cette époque peut facilement valider cette hypothèse.

Pour conclure, l'utilisation de ce cadran aux étoiles ne peut donc se faire qu'avec les étoiles comprises entre les 2 tropiques car il est alors possible de reporter la déclinaison d'un trigone à l'autre (comme pour le cadran du National Maritime Museum mais dans l'autre sens). Régulus étant mal placée, c'est donc avec seulement 7 étoiles sur 12 que ce cadran peut être utilisé.

Le mode d'emploi est le suivant :

- Choisir l'étoile à utiliser et relever le signe correspondant sur le zodiaque latéral.
- Régler l'extrémité du bras sur le trigone supérieur à l'intersection du signe relevé et de la latitude du lieu.
- Tirer la ficelle et régler la perle sur le zodiaque latéral au repère de l'étoile choisie.
- Le cadran est réglé, viser l'étoile avec les 2 pinnules et lire l'angle horaire de l'étoile indiqué par la perle sur le réseau des lignes horaires.





Domifications Régiomontanus et Placidus

Jean Pakhomoff

Etude de deux domifications utilisées en astrologie sous l'aspect géométrique celle de Régiomontanus et de Placidus. Elle est suivie d'un programme en basic.

Cette article est la présentation succincte de l'étude complète placée en annexe de la version numérique de cadran Info n° 34. Elle comporte 59 pages avec descriptions détaillées, formules, schémas et se termine par un programme en basic tiré de l'étude dont les résultats sont conformes aux tables trouvées dans les éditions commerciales.

Ce travail étudie les deux domifications les plus utilisées en astrologie sous leur aspect géométrique.

L'une d'entre elles, celle de Régiomontanus a déjà fait l'objet d'une étude publiée sur ce site vers 1996. Nous l'avons remaniée et adaptée en la complétant avec la domification dite de Placidus.

Il existe un grand nombre d'autres méthodes de divisions de la sphère céleste. Nous nous limiterons à celles-ci car ce sont les plus classiques.

La valeur prédictive que l'astrologie attribue à chacune des maisons célestes ne sera pas évoquée. Seule la valeur numérique de l'arc zodiacal contenu dans chaque maison aura retenu notre attention.

Le calcul de l'ascendant est commun aux deux domifications. Nous commencerons donc par celui-ci.

Envisageons d'abord le cas de l'hémisphère nord et nous verrons ensuite comment procéder pour domifier l'hémisphère sud.

Plaçons gamma (g) point d'intersection de l'équateur céleste et de l'écliptique (zodiaque) au point Est et faisons le tourner de 2π dans le sens rétrograde (horaire). Lorsque g est au point Est il est 18 heures sidérales. g au méridien supérieur \Leftrightarrow 0 h sidérale, g au point ouest \Leftrightarrow 6 h sidérale et g au méridien inférieur \Leftrightarrow 12 h sidérale.

Dans l'hémisphère nord l'écliptique tourne depuis le point g au cardinal Est et son lever coupe l'horizon au nord de l'équateur céleste, ce jusqu'à ce que g atteigne le cardinal Ouest à 6 h sidérale. Ensuite g passe sous l'horizon et de 6 h à 18 h sidérales le lever de l'écliptique se fait au sud de l'équateur céleste.

Précisons ici que le point gamma de même que les étoiles tournent sur la sphère locale dans le sens rétrograde d'est en ouest. Le soleil vu de la terre "se déplace" par contre dans le

sens direct (anti-horaire) dans le zodiaque. Le point gamma se déplace dans le zodiaque dans le sens rétrograde de par le mouvement de précession des équinoxes. Il fait un tour de zodiaque complet en un peu moins de 26000 ans. En conséquence de nos jours le printemps ne se fait plus à l'entrée en Bélier mais vers le milieu des Poissons. Et dans quelques siècles il se fera à l'entrée en Verseau...qui deviendra alors le bélier des horoscopes.

Entre 18h et 0 h sidérales (figure 1), soit L le lever de l'écliptique, N le nord, S le sud, Z le zénith.

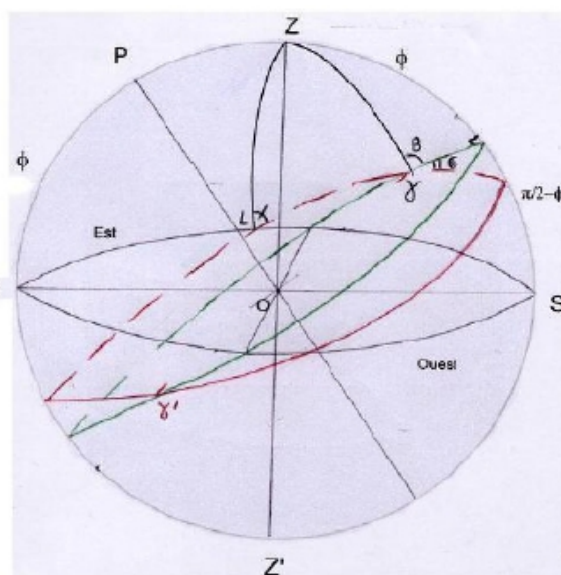


Fig 1

Domification de Régiomontanus.

Dans la domification de Régiomontanus les maisons sont des secteurs de sphère céleste limités par des grands cercles passant par les point Nord et Sud de l'horizon et coupant l'équateur céleste de 30 en 30° à partir du point Est de l'horizon dans le sens rétrograde.

Les maisons diurnes commencent à l'ascendant par la pointe de la maison 1 (qui elle est le grand cercle de l'horizon côté Est).

Ensuite d'Est en Ouest on trouve la maison 12, 11, 10 (la pointe de 10 étant le méridien ou milieu du ciel), puis 9, 8, 7 (la pointe de 7 étant le grand cercle de l'horizon côté ouest ou descendant), puis les maisons nocturnes 6, 5, 4 (la pointe de 4 est l'antéméridien ou fond du ciel), et 3, 2, 1.



Domification de Placidus

C'est la domification la plus utilisée par les amateurs d'astrologie car mise en tables et publiée dans le commerce ne nécessitant de ce fait pratiquement aucun calcul pour la connaissance des cuspides des différentes maisons.

Après de fastidieuses recherches dans la littérature et sur internet nous n'avons trouvé aucune démonstration satisfaisante concernant le calcul de ces maisons. La méthode elle-même est la plupart du temps exposée de façon très nébuleuse et souvent incorrecte.

Seul le livre de Max Duval "La Domification et les Transits" aux Editions Traditionnelles nous a été d'une certaine utilité car il apporte des précisions bienvenues et correctes sur le système placidien.

Nous allons montrer dans ce travail comment calculer ces maisons et leurs cuspides. Max Duval écrit dans son livre "La Domification et les Transits" aux Éditions Traditionnelles à propos de la domification de Placidus :

Les méthodes approchées remplacent les courbes gauches par des cercles de position à peu près équivalents dans la région de l'écliptique.

Une remarque importante s'impose : à la différence des deux précédents systèmes, les cercles de position placidiens n'ont pas d'intersections communes, et ne passent donc plus par celles du méridien et de l'horizon. Autrement dit, ils ne sont pas concourants à deux pôles.

On va alors considérer que par les points Q et Q1 passe un grand cercle qui recouvre l'arc QQ1 joignant les premiers tiers d'arc semi-diurne lors des solstices (fig 15). Il nous faudra alors déterminer l'angle dièdre fait entre ce cercle et l'horizon. Nous appellerons cet angle M par analogie avec l'angle dièdre des maisons type Régiomontanus.

Ce cercle tel que défini pourra représenter sur la figure 15 la maison XII en domification Placidus.

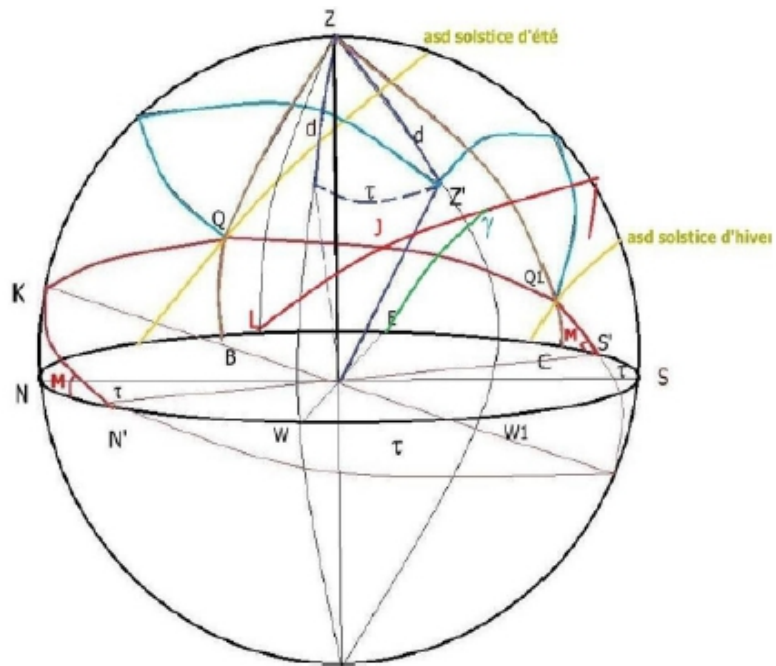


Fig 15

Compléments utiles sur la domification

Le nonagésime Ng partage le zodiaque en deux parties égales sur l'horizon.

Le Milieu du Ciel Mc correspond au zodiaque traversé par la méridienne (cuspidé de la maison X en placidus, Régiomontanus...).

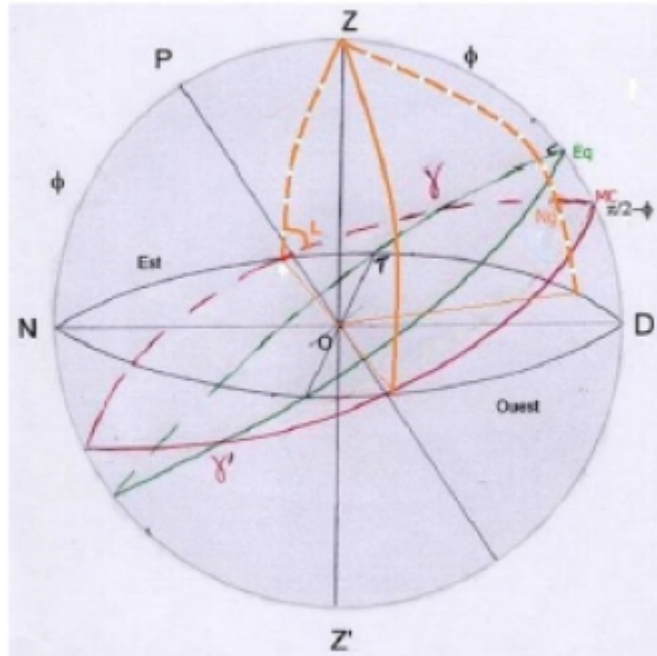
L point de l'ascendant sur l'horizon: ce point décrira comme tous les astres un cercle de déclinaison parallèle à l'équateur céleste.

Ci-contre, Zodiaque vers 21 h sidérale (gamma se lève à 18 heure sidérale passe au méridien à 24 hs est au cardinal ouest pour le coucher à 6 h sidérale, passe au Fond du Ciel NZ' à 12 hs...)

Connaissant la longitude écliptique de l'ascendant (fournie par mon programme de domification) on va retrancher $\pi/2$ pour avoir le point médian du zodiaque sur l'horizon.

Sont données ensuite les formules pour le calcul de :

- Hauteur du nonagésime.
- Azimut du nonagésime.
- Déclinaison de l'ascendant.
- Ascension droite α de l'ascendant.
- Angle horaire de l'ascendant.
- Arc semi-diurne asd de l'ascendant sur l'horizon de latitude ϕ .
- Hauteur h d'un point choisi de l'arc diurne de l'ascendant.
- Longitude écliptique du Milieu du Ciel



Ecliptique en rouge et équateur en vert

Pour conclure l'étude est écrit le programme en basic dont les résultats obtenus sont conformes aux tables trouvées dans les éditions commerciales.

Article sur le site de J. Pakhomoff : <http://www.pakhomoff.net/PLACIDUS.html>

⇒ Dans la version numérique, en annexe :

° le fichier : « annexe_Domifications de Régiomontanus et de Placidus ». Etude intégrale de Jean Pakhomoff comportant le programme basic. Les résultats obtenus par celui-ci sont conformes aux tables trouvées dans les éditions commerciales.





Cadran analemmatiques

Jean Pakhomoff

J. Pakhomoff nous présente son approche personnelle des cadrans analemmatiques horizontaux, verticaux et inclinés déclinants.

I – L'analemme horizontal

Soit la sphère céleste de centre O et de rayon R (fig. 1). Soit f la latitude. Plaçons le soleil en S au point d'intersection de l'équateur céleste avec le cercle horaire t . Projétons l'équateur sur l'horizon. Nous obtenons l'ellipse $GEFW$ de grand axe EW (demi-grand axe R) et de petit axe GF (demi-petit axe $R \cos\left(\frac{\pi}{2} - f\right) = R \sin f$). Sur cette ellipse se trouveront les projections des heures équatoriales.

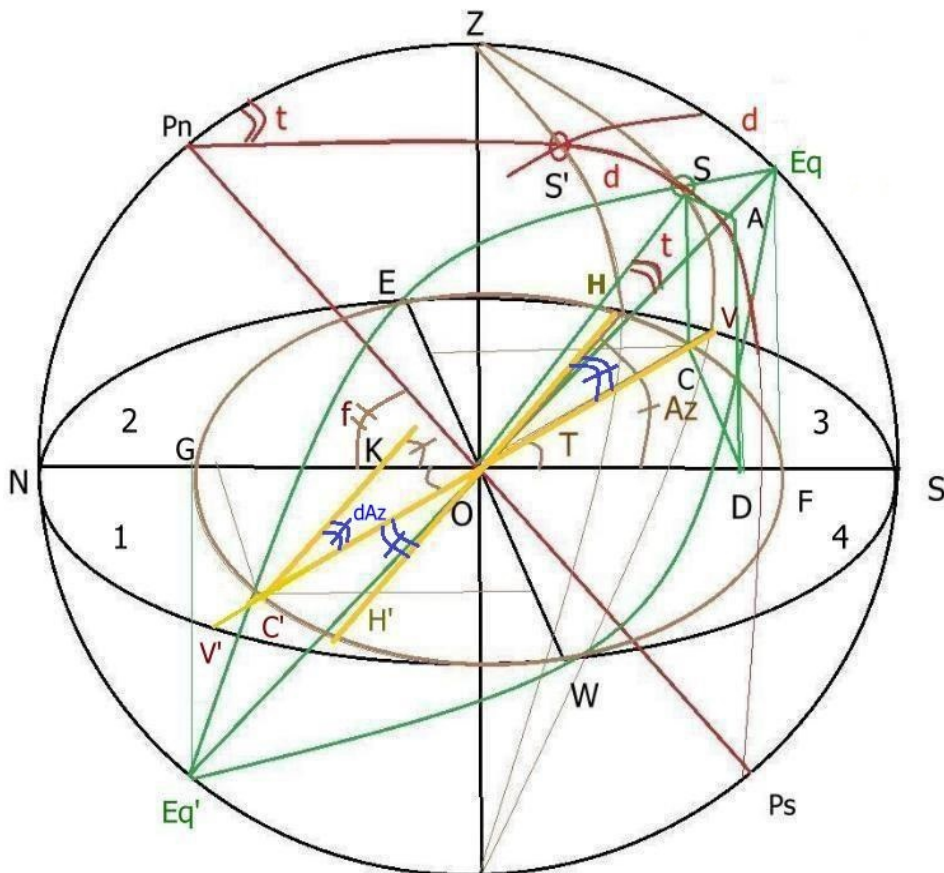


Figure 1.

Nous faisons passer par S un vertical qui coupe l'horizon en V et V' et l'ellipse $GEFW$ en C et C' . Un objet vertical placé en O montrera l'heure solaire le jour des équinoxes lorsque le Soleil est dans l'équateur céleste. Nous obtenons ainsi les emplacements des heures et demies heures solaires sur l'ellipse en faisant passer des verticaux de projection par les heures et demies heures solaires sur l'équateur. Ces verticaux font un angle d'azimut T avec le méridien. Faisons passer un plan vertical par SC perpendiculairement au plan méridien. On obtient A et D et $AS = OS \sin t = R \sin t = CD$.

$$OD = OA \cos\left(\frac{\pi}{2} - f\right) = OA \sin f = OS \cos t \sin f = R \cos t \sin f$$

et

$$\tan T = \frac{R \sin t}{R \cos t \sin f} = \frac{\tan t}{\sin f}$$

À l'instant t le point C' marque l'heure correspondant à t sur l'ellipse le jour de l'équinoxe. Donnons au Soleil une déclinaison d de façon à l'amener en S' sur le même cercle horaire t . Un vertical passant par S' montrera un azimut coupant l'ellipse en H et H' ce qui ne sera plus en concordance avec l'heure t . Il nous faudra alors déplacer l'objet vertical de O en K pour que son ombre passe à nouveau par le point C' pour donner la bonne heure t . Nous allons calculer la grandeur de la distance OK puis nous montrerons que celle-ci est fixe, quelle que soit l'heure du jour, pour une déclinaison constante. Nous considérerons que cette déclinaison est constante durant une journée ce qui est largement tolérable pour un cadran analemmatique.

$$\text{Azimut de } S = \frac{\tan t}{\sin f} \qquad \text{Azimut de } S' = \frac{\sin t}{\sin f \cos t - \cos f \tan d}$$

$$dAz = \text{azimut de } S' - \text{azimut de } S$$

$$HOV = H'O V' = K V' O = dAz \quad (KV' // HH')$$

Dans KOV' on a :

$$\frac{OK}{\sin dAz} = \frac{OC'}{\sin(\pi - Az)} = \frac{OC}{\sin Az}$$

$$OC \sin T = CD = R \sin t \quad , \text{ d'où } OC = R \frac{\sin t}{\sin T} \quad ,$$

et

$$OK = R \left(\frac{\sin dAz}{\sin Az} \right) \left(\frac{\sin t}{\sin T} \right)$$

On pourrait se contenter de cette relation pour calculer OK mais rien ne nous dit spontanément que ce qui est vrai pour l'heure t reste vrai pour l'heure t ou $\pm t'$. Remarquons alors que :

$$dAz = Az - T \quad \text{et} \quad \frac{\sin dAz}{\sin Az} = \frac{\sin Az \cos T - \sin T \cos Az}{\sin Az} = \cos T - \frac{\sin T}{\tan Az}$$

$$OK = R \frac{\cos T - \frac{\sin T}{\tan Az}}{\frac{\sin t}{\sin T}} = R \sin t \left(\frac{1}{\tan T} - \frac{1}{\tan Az} \right)$$

$$\hat{=} R \sin t \left(\frac{\sin f}{\tan t} - \frac{1}{\tan Az} \right)$$

En remplaçant $\tan Az$ par sa valeur on a :

$$OK = R \left(\sin f \cos t - \frac{\sin t}{\frac{\sin t}{\sin f \cos t - \cos f \tan d}} \right)$$

$$\hat{=} R [\sin f \cos t - (\sin f \cos t - \cos f \tan d)]$$

$$OK = R \cos f \tan d \quad \hat{=} \text{constante pour } d \text{ constant}$$

Cette déclinaison est considérée constante durant une journée, approximation largement tolérable pour un cadran analemmatique.

Tracé du cadran

1. Les points d'heure

À partir du centre O il nous faudra tracer les points C' sur l'ellipse.

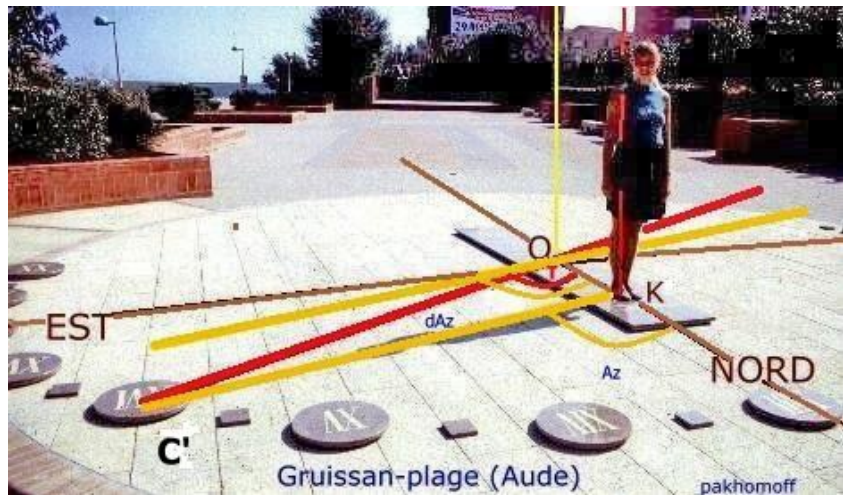


Figure 2.

En appelant axe des y la méridienne et axe des x la ligne Est-Ouest on a :

$$x = CD = R \sin t \quad \text{et} \quad y = OD = R \cos t \sin f$$

ces valeurs seront à porter dans les quadrants symétriques. Ainsi le matin on portera ces valeurs dans les quadrants 1 et 4 (du lever à midi) et le soir ces valeurs seront portées dans les quadrants 2 et 4 (de midi au coucher). On prendra t angle horaire multiple de 15° (11 h ou 13 h) pour avoir les heures ou un multiple de $7,5$ tel $7,5 (2n-1)$, où n est un entier positif, pour avoir les demies heures.

2. Échelle des dates

On choisit les déclinaisons de 15 en 15 jours ou de 10 en 10 jours et on reporte sur la méridienne les valeurs obtenues pour OK .

OK sera positif pour les $d > 0$ du printemps et de l'été et négatif pour les $d < 0$ de l'automne et de l'hiver.

On peut concevoir un style incliné à la demande permettant ainsi de ne pas le déplacer.

Pour que les points S du bout du style droit de longueur l posé en O se trouvent dans l'azimut passant par les points K , il suffit d'incliner le style d'un angle a égal à :

$$l \sin a = Ok \delta \quad \text{et} \quad a = \arcsin\left(\frac{Ok \delta}{l}\right)$$

$K\epsilon$ en rapport avec la valeur absolue de la déclinaison d aux solstices (fig. 3).

Un gnomon articulé centré en G restera perpendiculaire au sol pendant son déplacement et son ombre indiquera l'heure sur l'ellipse.

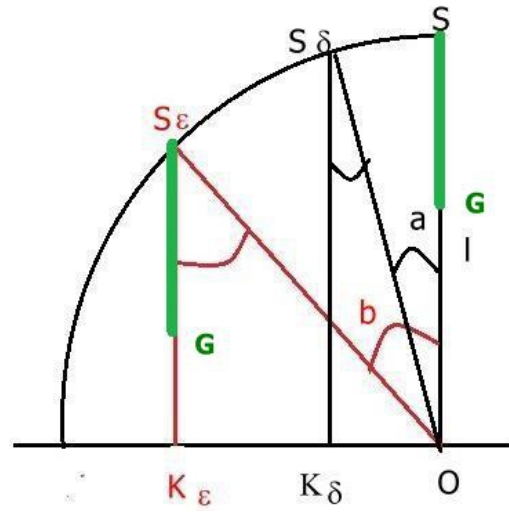


Figure 3.

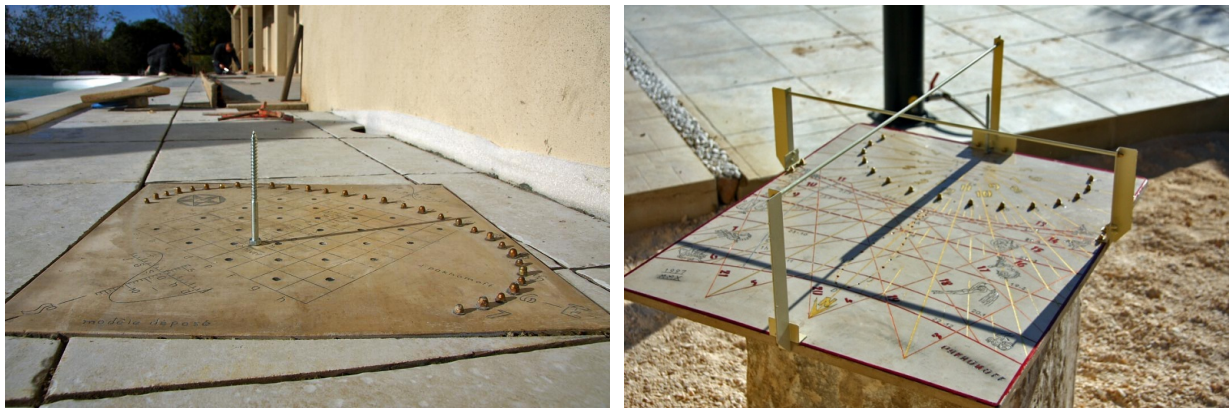


Figure 4 – 2 analemmatiques horizontaux dont l'un couplé à un bifilaire (11/03/2016).

II – Les cadrans analemmatiques verticaux

Nous avons étudié dans le précédent paragraphe le cadran analemmatique horizontal par la méthode des azimuts. Nous nous proposons maintenant d'appliquer une méthode analogue à l'étude des analemmatiques verticaux.

Nous appellerons « équivalents d'azimut » les angles obtenus sur les grands cercles verticaux perpendiculaires à l'horizon par l'intersection d'autres grands cercles ayant pour diamètre commun l'axe Nord-Sud.

La figure 5 montre le grand cercle NAS passant par un astre A au-dessus de l'horizon $NESW$. NAS est perpendiculaire au premier vertical $ZWZ'E$. NAS fait avec le plan méridien $NZSZ'$ un angle Az découpant sur le premier vertical un équivalent d'azimut $ZL = Az$. Sur un vertical ZJZ' faisant avec le premier vertical un angle dg (déclinaison gnomonique) l'angle Az découpe sur ZJZ' un angle ZJ que j'appelle Azg ou azimut gnomonique.

Cette présentation permet d'éclairer les figures suivantes et nous permettra de montrer d'une façon originale que la règle des dates est de grandeur constante sur le cadran quelle que soit son orientation.

II-1 – Le cadran analemmatique vertical non déclinant

a) Soit un horizon de latitude f (fig. 6). Le Soleil est en S sur l'équateur céleste ($d=0$), « grande horloge équatoriale ».

Choisissons un angle horaire t qui sera un multiple de 15° (11 h ou 13 h) pour avoir les heures ou un multiple de $7,5$ tel $7,5 (2n-1)$, où n est un entier positif, pour avoir les demies heures. $OS = R$ rayon de la sphère. Projétons l'équateur sur le plan du cadran situé dans le premier vertical. Celui-ci donne l'ellipse $WFEG$ de grand axe WE (axe des x) et de petit axe FG (axe des y).

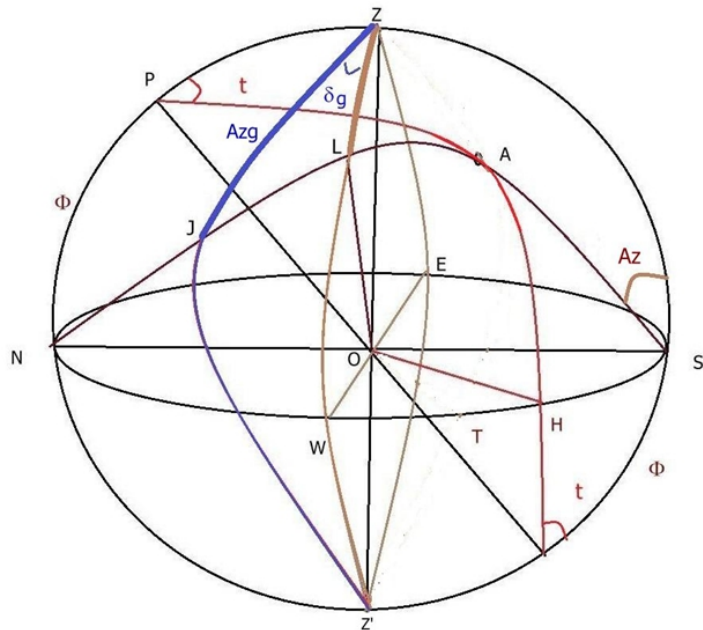


Figure 5.

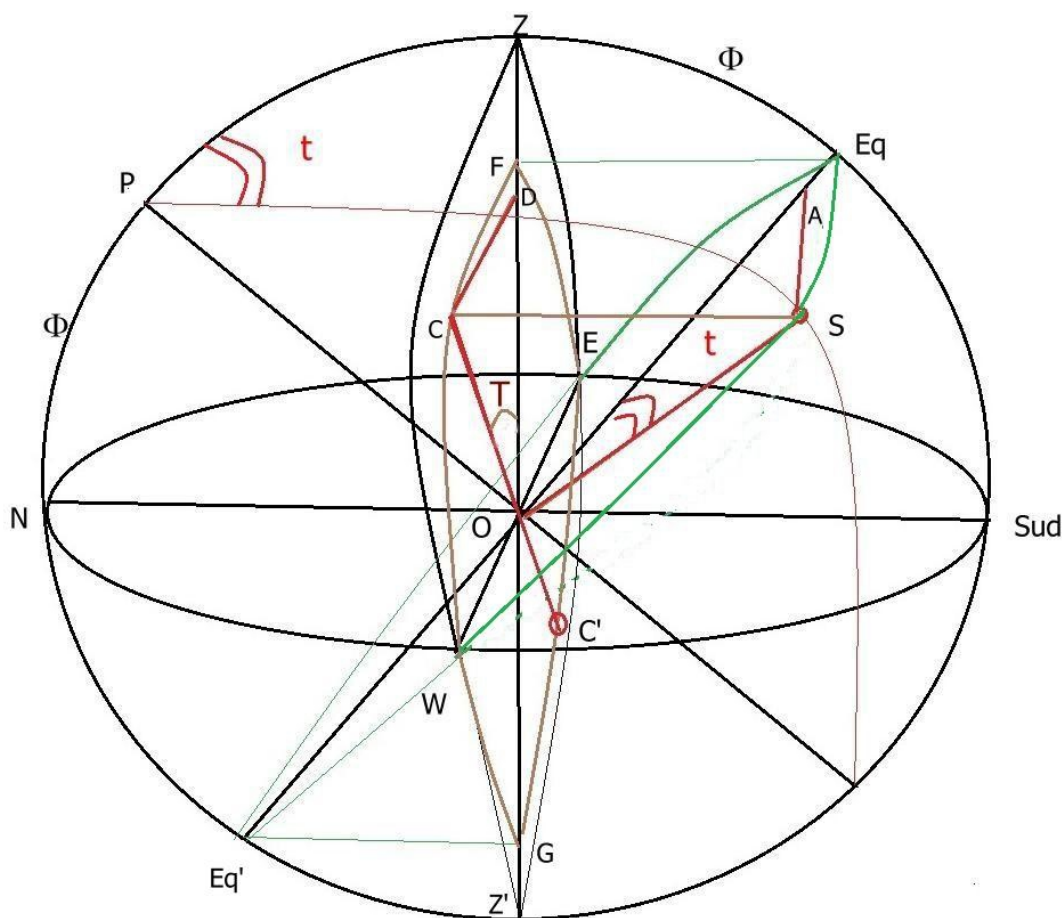


Figure 6.

Le point horaire S devient le point horaire C sur l'ellipse. Soit A la projection de S sur $EqEq'$. On a $AS = R \sin t = CD = x$ et $OA = R \cos t$, $OD = OA \cos f = R \cos t \cos f = y$. On portera ces valeurs de façon symétrique pour fixer le point C' image de S sur l'équateur céleste. L'ombre d'un objet horizontal placé en O passera sur C' à l'instant t aux équinoxes.

$$\tan T = \frac{CD}{OD} = \frac{\tan t}{\cos f}$$

$$OC \sin T = CD = SA = R \sin t \quad \text{d'où} \quad OC = R \frac{\sin t}{\sin T}$$

b) Donnons maintenant une déclinaison d à S de façon à l'amener en S' . Nous choisissons le cas de figure où d est > 0 .

La figure 7 permet de retrouver les cercles NAS tels que vus précédemment. Ici nous avons S sur son cercle « équivalent azimut » faisant un angle T avec le plan méridien et donnant un angle T sur le premier vertical et donc sur l'ellipse $WFEG$ constituant le cadran. Le cercle « équivalent azimut » de S' fait un angle $LOZ = Az$ avec le plan méridien. Cet angle LOZ est commun au premier vertical et à l'ellipse.

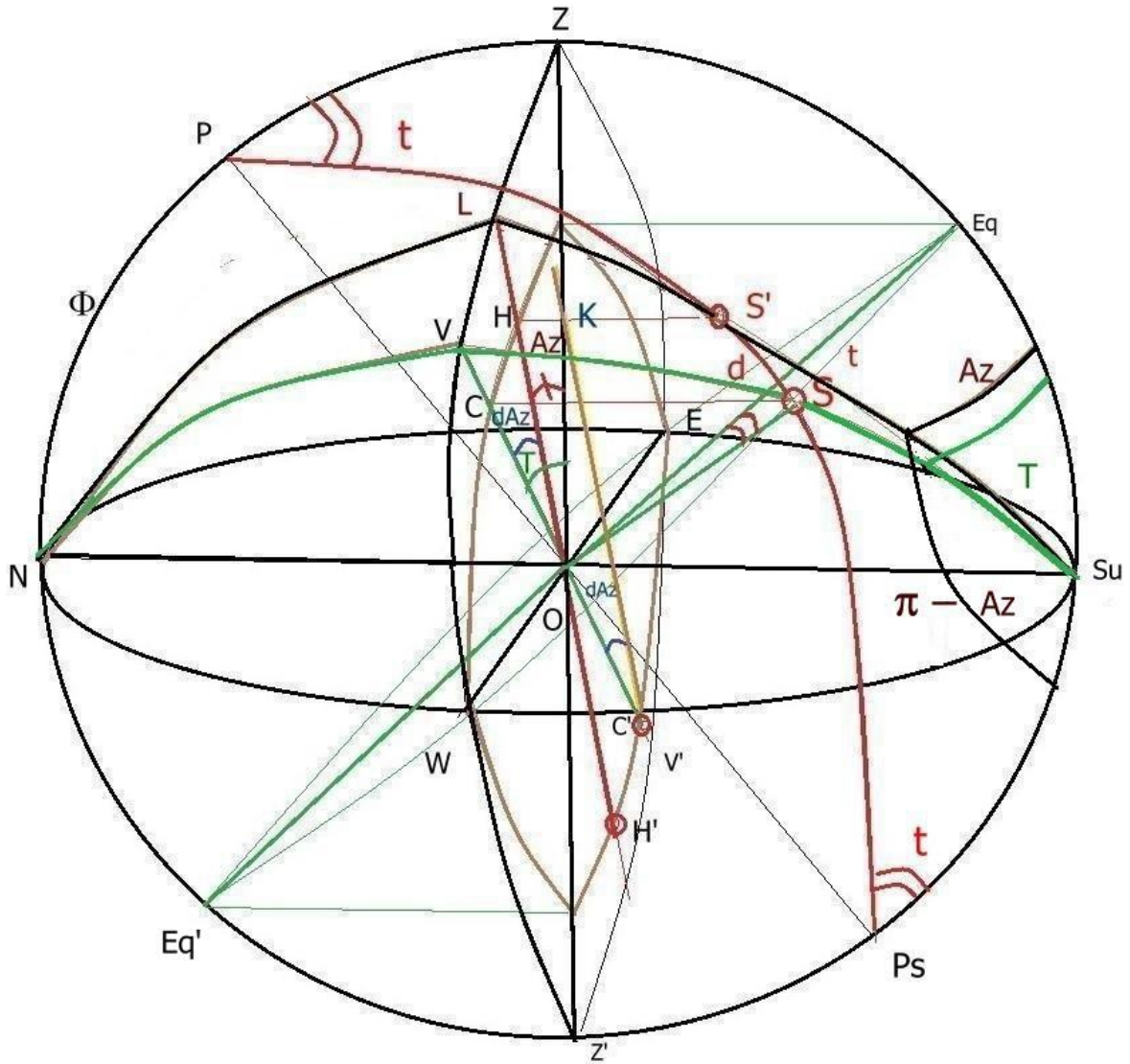


Figure 7.

L'ombre contenue dans ce cercle « azimutal » ne marque plus l'heure en C' mais en H' . Il faudra donc remonter l'objet porte ombre, le gnomon, d'une valeur OK pour que l'ombre contenue dans le plan du cercle i suive la direction parallèle KC' .

Nous allons rechercher la valeur de OK . Il nous faudra connaître la valeur de Az . Pour cela nous utiliserons la relation classique de la trigonométrie sphérique dite des 5 éléments qui s'écrit (fig. 8) :

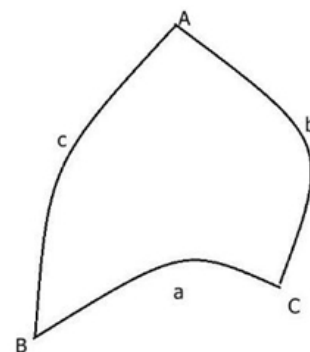


Figure 8.

$$\sin a \cos B = \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A$$

Appliquée au triangle $PsS'Su$ et en remarquant que $PsSu = f$ et que $S'Ps = \pi - \left(\frac{\pi}{2} - d\right) = \frac{\pi}{2} + d$, on peut alors écrire :

$$\sin(S'Su)\cos(\pi - Az) = \sin f \cos\left(\frac{\pi}{2} + d\right) - \cos f \sin\left(\frac{\pi}{2} + d\right)\cos t$$

et

$$\sin(S'Su)\cos Az = -\sin f \sin d - \cos f \cos d \cos t$$

C'est-à-dire :

$$\sin(S'Su)\cos Az = \sin f \sin d + \cos f \cos d \cos t \quad (1)$$

On peut aussi écrire :

$$\frac{\sin S'Su}{\sin t} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} + d\right)}{\sin(\pi - Az)}$$

ou

$$\sin(S'Su)\sin Az = \sin t \cos d \quad (2)$$

En divisant (2) par (1) on trouve :

$$\tan Az = \frac{\sin t}{\sin f \tan d + \cos f \cos t} \quad (3)$$

équivalent à l'azimut rapporté au point cardinal Sud, pôle du premier vertical.

Rappelons pour mémoire la formule du véritable azimut concernant un vertical, le méridien et l'horizon (pôle Zénith) :

$$\tan Az = \frac{\sin t}{\sin f \cos t - \cos f \tan d}$$

La différence entre les 2 « azimuts » T et Az (3) est dAz . Considérons maintenant le triangle KOC' . On a : $OC'K = dAz$; $OKC' = Az$ et $KOC' = \pi - T$.

On peut alors écrire :

$$\frac{\sin Az}{OC'} = \frac{\sin dAz}{OK} ; OC' = OC = \frac{R \sin t}{\sin T}$$

et

$$OK = R \left(\frac{\sin dAz}{\sin Az} \right) \frac{\sin t}{\sin T}$$

$$dAz = T - Az ; \frac{\sin dAz}{\sin Az} = \frac{\sin T \cos Az - \sin Az \cos t}{\sin Az} = \frac{\sin T}{\tan Az} - \cos T$$

$$OK = R \left(\frac{\sin T}{\tan Az} - \cos T \right) \frac{\sin t}{\sin T} = R \left(\frac{\sin t}{\tan Az} - \frac{\sin t}{\tan T} \right)$$

$$OK = R \left(\frac{\sin t}{\tan Az} - \frac{\sin t \cos f}{\tan t} \right) = R \sin t \left(\frac{1}{\tan Az} - \frac{\cos f}{\tan t} \right)$$

En remplaçant $\tan Az$ par sa valeur trouvée en (3) il vient :

$$OK = R \sin t \left(\frac{\sin f \tan d + \cos f \cos t}{\sin t} - \frac{\cos f}{\tan t} \right)$$

$$= R (\sin f \tan d + \cos f \cos t - \cos f \cos t)$$

et donc :

$$OK = R \sin f \tan d$$

Grandeur constante pour une déclinaison et une latitude données indépendante de t . Nous verrons ci-dessous que cette valeur reste également constante lorsque le mur décline.

II-2 – L'analemme vertical déclinant

Donnons au mur porteur du cadran une déclinaison gnomonique dg .

a) Soleil dans le plan de l'équateur ($d = 0$) (fig. 9)

La projection de S , soleil équatorial, se fera en C'' .

$$DC'' \cos dg = DC \quad \text{et} \quad DC'' = R \frac{\sin t}{\cos dg} = x$$

$$\tan T' = \frac{DC''}{OD} = \frac{\frac{R \sin t}{\cos dg}}{R \cos t \cos f} \quad \text{et} \quad \tan T' = \frac{\tan t}{\cos dg \cos f}$$

$$y = OD = R \cos t \cos f$$

T' , x et y gardent les mêmes valeurs que le cadran décline à l'Ouest ou à l'Est. On portera ces valeurs, comme vu plus haut, dans le quadrant symétriquement opposé.

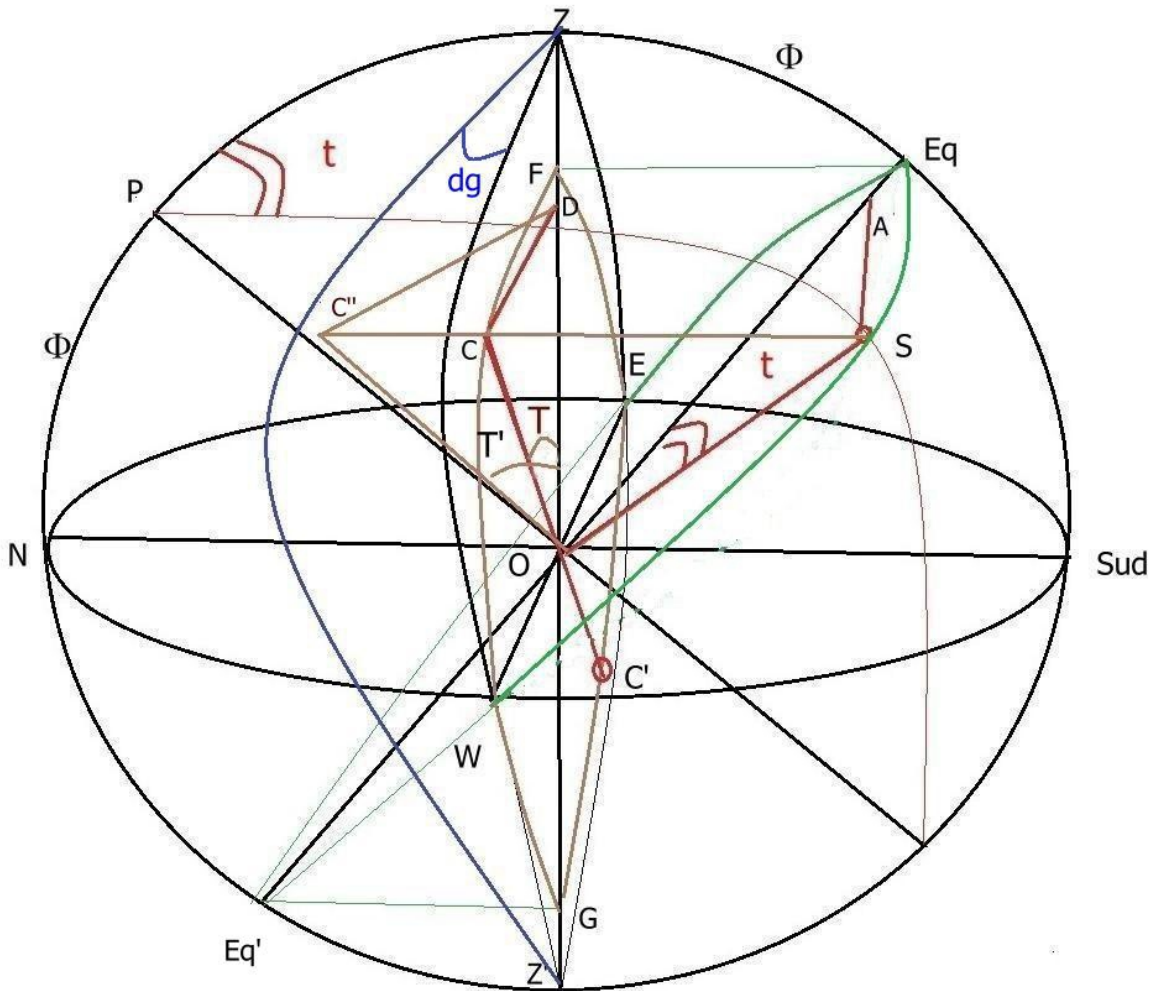


Figure 9.

b) Donnons maintenant une déclinaison d à S de façon à l'amener en S' .

Nous choisissons le cas de figure où d est > 0 (fig. 10). Nous avons vu que S se projetait en C'' sur l'ellipse $FW'GE'$ obtenue sur le vertical déclinant le point S' se projette lui en H sur cette même ellipse. Les grands cercles équivalents d'azimut passant par S et S' donnent les « azimuts » T' que nous avons calculé ci-dessus et $ZJ = Azg$ (g pour marquer la déclinaison du cadran). Ces cercles couperont l'ellipse selon $C''Q$ pour T' et HH' pour Azg . Pour la déclinaison 0 à l'instant t un objet placé au centre O donne par son ombre l'heure en Q . Pour la déclinaison d l'heure est lue en H' au même instant t . Il faut donc relever l'objet de O en K pour que le cadran donne la bonne heure. Pour la même déclinaison négative de l'automne et de l'hiver il faudra comme nous le verrons abaisser l'objet de la même grandeur.

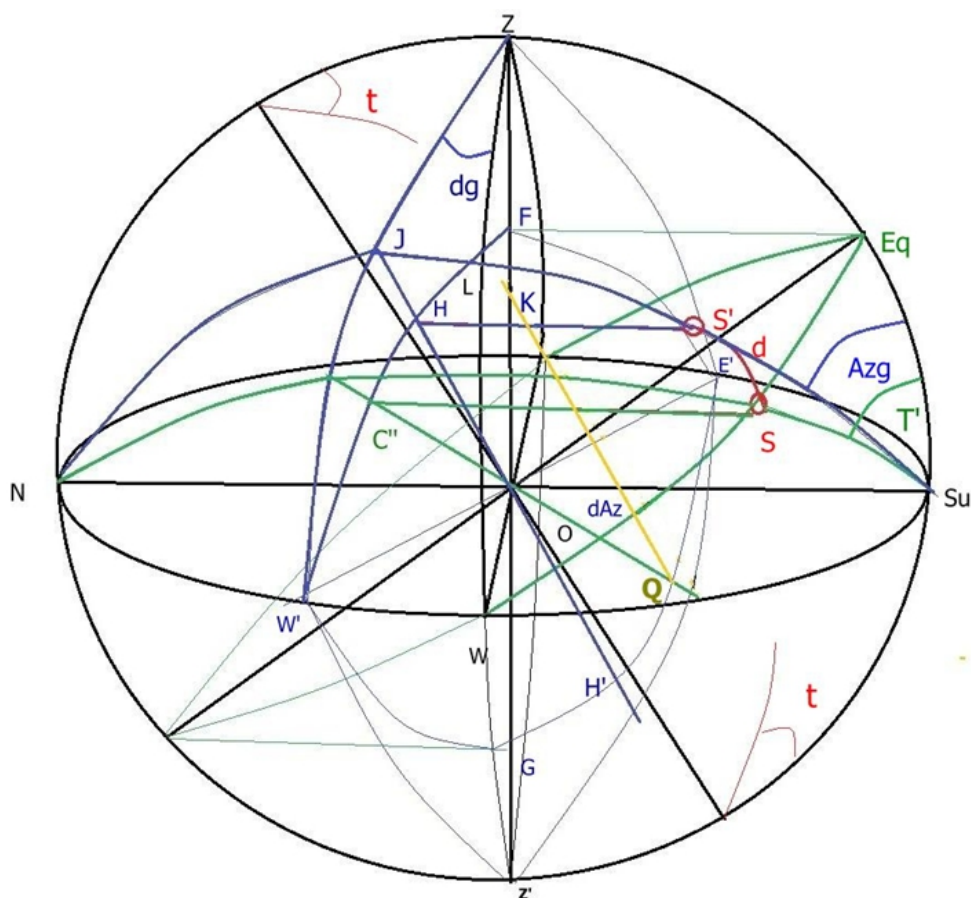


Figure 10.

Pour calculer cette distance OK il nous faut connaître Azg . Dans JZL (L point d'intersection du grand cercle équivalent d'azimut passant par S' avec le premier vertical) rectangle en L . On peut écrire $\frac{\tan JL}{\tan dg} = \sin ZL$, d'où $\tan JL = \tan dg \sin ZL$.

$$\text{De même : } \frac{\sin dg}{\sin JL} = \frac{\sin \frac{\pi}{2}}{\sin ZJ}, \text{ et } \sin ZJ = \frac{\sin JL}{\sin dg}.$$

$$\frac{\sin ZL}{\sin ZJ} = \frac{\frac{\tan JL}{\tan dg}}{\frac{\sin JL}{\sin dg}} = \frac{\tan JL \sin dg}{\sin JL \tan dg} = \frac{\cos dg}{\cos JL}$$

$$\sin ZL = \frac{\sin ZJ}{\cos JL} \cos dg \quad \text{ou} \quad \sin ZJ = \frac{\sin ZL \cos JL}{\cos dg}$$

On a :

$$\cos ZJ = \cos JL \cos ZL + \sin JL \sin ZL \cos \frac{\pi}{2} = \cos JL \cos ZL$$

$$\tan ZJ = \frac{\sin ZJ}{\cos ZJ} = \frac{\frac{\sin JL}{\sin dg}}{\cos JL \cos ZL} = \frac{\sin JL}{\cos JL \cos ZL \sin dg} = \frac{\tan JL}{\cos ZL \sin dg} = \frac{\tan dg \sin ZL}{\cos ZL \sin dg}$$

d'où :

$$\tan ZJ = \frac{\tan ZL}{\cos dg}$$

ZL est l'angle Az équivalent d'azimut calculé précédemment (angle fait entre le grand cercle $NS'Su$ et le méridien avec le premier vertical). D'où connaissance de $ZJ = Azg$. $C''OF$ est l'angle T' et HOF est l'angle Azg . La différence d'azimut :

$$dAz = C''OH = T' - Azg = H'OQ = OQK \quad .$$

Dans le triangle OQK on a :

$$KOQ = \pi - T' \text{ et } OKQ = HOK = Azg ;$$

$$\frac{\sin Azg}{OQ} = \frac{\sin dAz}{OK}$$

On a vu plus haut que $OC'' \sin T' = DC'' = R \frac{\sin t}{\cos dg}$,

$$OC'' = R \frac{\sin t}{\sin T' \cos dg} = OQ \quad (Q \text{ symétrique de } C'' \text{ sur l'ellipse}).$$

D'où :

$$OK = OC'' \frac{\sin dAz}{\sin Azg} = \frac{R \sin t}{\sin T' \cos dg} \times \frac{\sin dAz}{\sin Azg}$$

$$dAz = T' - Azg$$

et

$$\frac{\sin dAz}{\sin Azg} = \frac{\sin T' \cos Azg - \sin Azg \cos T'}{\sin Azg} = \frac{\sin T'}{\tan Azg} - \cos T'$$

$$OK = \left(\frac{R \sin t}{\sin T' \cos dg} \right) \left(\frac{\sin T'}{\tan Azg} - \cos T' \right)$$

$$\hat{=} \frac{R \sin t}{\cos dg \tan Azg} - \frac{R \sin t}{\tan T' \cos dg}$$

$$\hat{=} R \sin t \left(\frac{1}{\cos dg \tan Azg} - \frac{1}{\frac{\tan t}{\cos dg \cos f} \cos dg} \right)$$

$$i R \sin t \left(\frac{1}{\cos dg \tan Azg} - \frac{\cos f}{\tan t} \right)$$

On a vu que $\tan Azg = \frac{\tan Az}{\cos dg}$, donc :

$$OK = R \sin t \left(\frac{1}{\cos dg \frac{\tan Az}{\cos dg}} - \frac{\cos f}{\tan t} \right)$$

$$i R \sin t \left(\frac{1}{\tan Az} - \frac{\cos f}{\tan t} \right)$$

Et en remplaçant $\tan Az$ par sa valeur, on obtient :

$$OK = R \sin t \left(\frac{\sin f \tan d + \cos f \cos t}{\sin t} - \frac{\cos t \cos f}{\sin t} \right)$$

et donc :

$$OK = R \sin f \tan d$$

OK est donc invariable car indépendant de la déclinaison gnomonique dg . Nous avons donc les éléments x et y pour construire les points d'heure de l'ellipse ainsi que la relation permettant de construire la règle des dates.

II-3 – Confection du gnomon

Le gnomon posé verticalement sur le mur va être incliné d'un angle égal à la déclinaison gnomonique par rapport au plan méridien.

Il nous faudra le rendre confondu dans ce plan méridien pour lire convenablement l'heure sur le cadran analemmatique. Observons la figure 11.

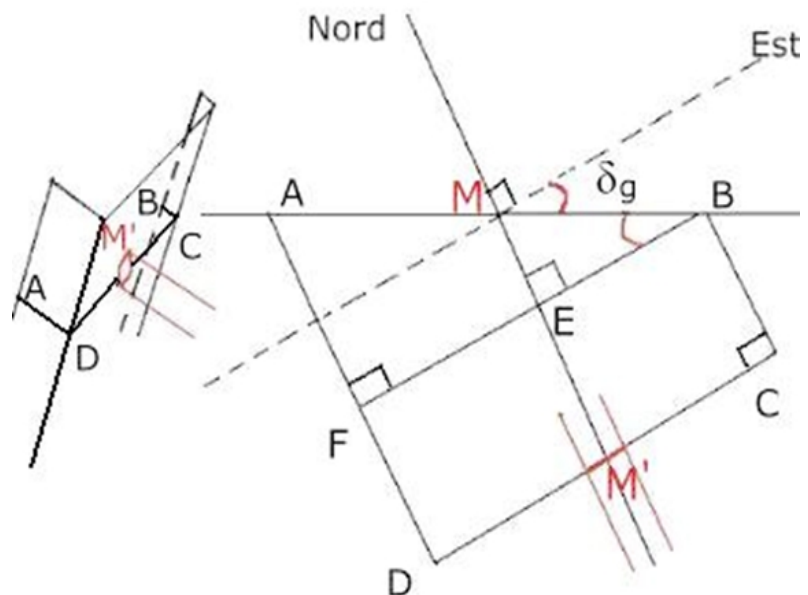


Figure 11.

On a pris le cas de figure d'un mur déclinant à l'ouest mais rien ne change si le mur décline à l'Est. Pour que l'axe du gnomon continue de passer par le point M il faudra prévoir

un système $ADCB$ percé en M' . L'axe MM' restant perpendiculaire au plan vertical passant par DC . AD et BC décriront des rails verticaux le long de la méridienne verticale passant par M .

On prendra soin de mettre des « témoins » aux points A et B de façon à les faire coïncider avec les horizontales passant par les points de dates (déclinaisons) portés sur la ligne méridienne. Ainsi MM' passera à chaque lecture par le point de date du jour de lecture.

Pour le cadran ci-contre une tige métallique en U a servi à la construction du porte gnomon $ABCD$.

Si on se donne $AB = 2 AM$ avec $AM=MB$ on aura $BF=AB \cos \delta g$ et

$$EB = MB \cos \delta g.$$

Ensuite on peut prendre $FD=BC$ selon son appréciation personnelle sachant que $AF=AB \sin \delta g$.

Voici ci-contre un analemmatique vertical déclinant de $8,289^\circ$ vers le Sud-Ouest ($278,289^\circ$) à une latitude de $43,2975^\circ$ Nord et une longitude de $-5,46416^\circ$ Est.

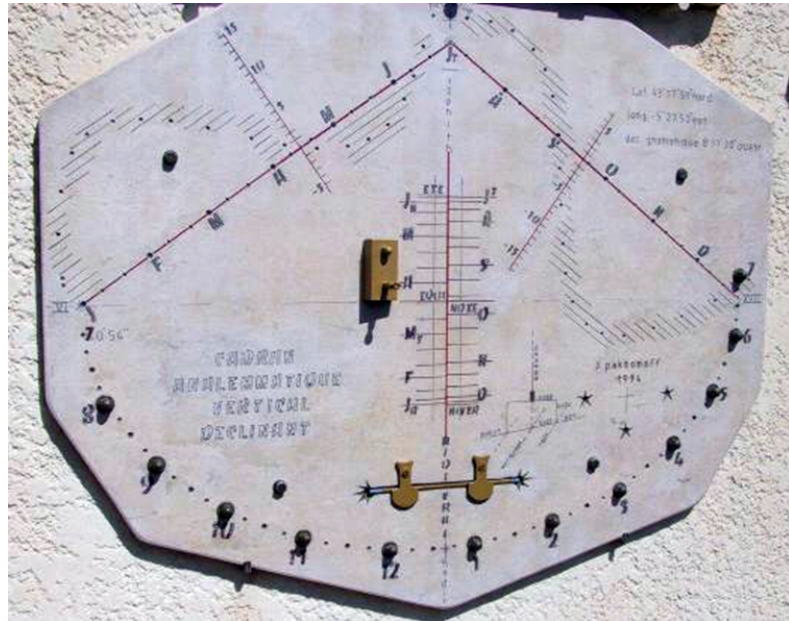


Figure 12.

Notez les rails le long de l'échelle des dates sur la méridienne. Le gnomon est placé dans un repère horizontal dans le bas du cadran. On le visse sur le mobile métallique actuellement fixé sur la gauche de l'échelle des dates. Une équation du temps graphique a été tracée sur le cadran dans sa partie supérieure.

Le mobile métallique a été dévissé pour lui adapter une tige métallique gnomon de lecture de l'heure. Les points A , D , B , C ainsi que M' entrée du gnomon, ont été représentés.

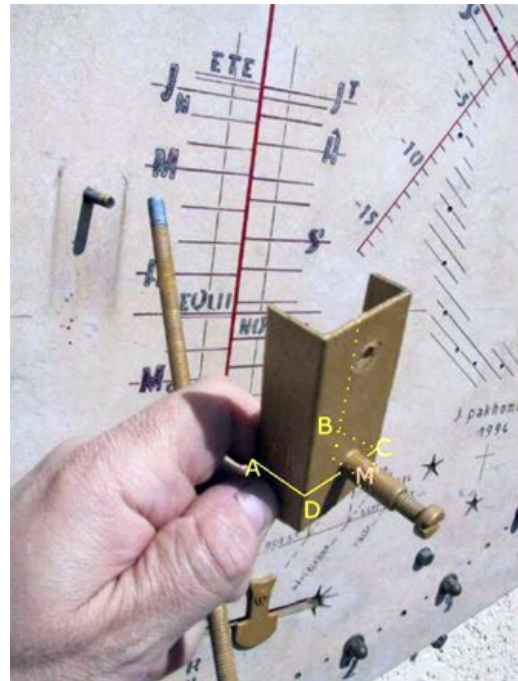


Figure 13. (17/3/2016)

II-4 – Calcul d'un analemmatique incliné méridional

Nous avons prolongé cette étude par celle d'un analemmatique incliné dans sa

présentation la plus simple c'est-à-dire celle du plan incliné sur l'horizon d'un angle i . N venant en Ni . L'ellipse de projection aura pour grand axe l'axe est ouest. Nous ne la représenterons pas pour ne pas alourdir le schéma (fig. 14).

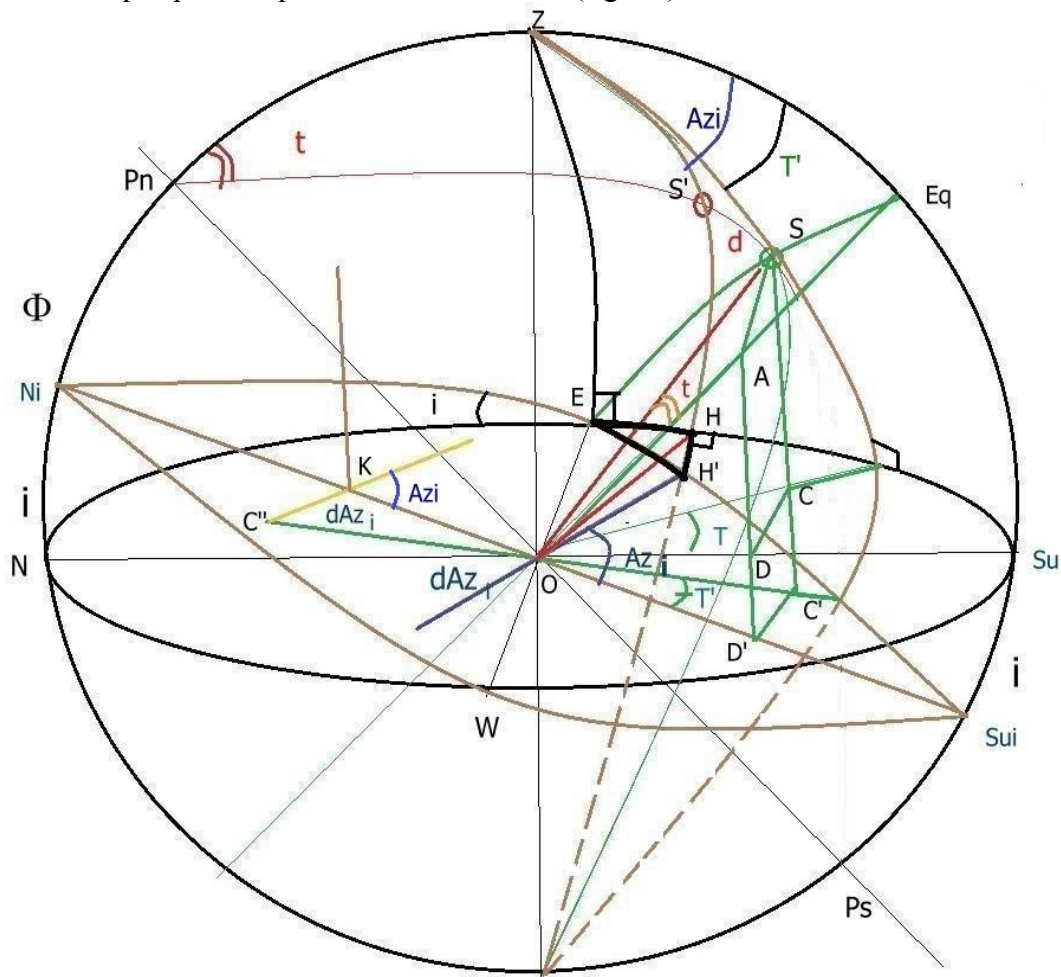


Figure 14.

a) Calcul de T' (points d'heure)

On retrouve le Soleil équatorial en S avec son angle horaire t . Sa projection sur l'horizon en C et sur l'incliné en C'. C'est ce point C' qui sera notre marqueur horaire sur l'ellipse des heures.

On a : $AS = OS \sin t = R \sin t$ (R rayon de la sphère de centre O).

$$OA = R \cos t \text{ et } OD = OA \cos\left(\frac{\pi}{2} - f\right) = R \cos t \sin f$$

$$\tan T = \frac{DC}{OD} = \frac{AS}{OD}$$

$$\tan i = \frac{DD'}{OD} \text{ et } \text{et } DD' = R \cos t \sin f \tan i$$

$$\text{'et } \sin OD' = \frac{R \cos t \sin f \tan i}{\sin i} = R \frac{\cos t \sin f}{\cos i}$$

$$OD' \sin i = DD'$$

$$DC' = AS = CD = R \sin t \tan T' = \frac{D'C'}{OD'} = \frac{R \sin t}{R \frac{\cos t \sin f}{\cos i}}$$

et

$$\tan T' = \frac{\tan t \cos i}{\sin f}$$

Coordonnées des points d'heure avec les x sur l'axe Est-Ouest et les y sur l'axe Nord-Sud :

$$x = D'C' = R \sin t \qquad y = OD' = R \frac{\cos t \sin f}{\cos i}$$

b) Calcul de OK (règle des dates)

Lorsque l'on donne une déclinaison d à S celui-ci vient en S' sur le même cercle horaire choisi. Nous comptons pour simplifier les angles horaires variant de 0 à 180° pour les heures du matin comme du soir depuis le méridien de midi solaire. De même pour les angles azimutaux. L'angle azimutal de S est ainsi T' sur l'incliné et Azi pour S' . C'' point symétrique de C' sera notre point d'heure pour l'angle horaire t . Nous opérons comme pour les analemmatiques horizontal et verticaux : OH' en rapport avec l'azimut Azi marquera pour ce même angle horaire t une autre direction que OC'' . Pour retrouver la bonne heure il faudra faire glisser sur la méridienne un objet porte ombre jusqu'en K pour que l'ombre vienne marquer la bonne heure en C'' .

On appelle daz la différence des azimuts Azi et T' : $daz = Azi - T'$.

Dans $OC''K$, on a :

$$\frac{\sin(\pi - Azi)}{OC''} = \frac{\sin daz}{OK}$$

$$OC'' \sin T' = D'C' = SA = R \sin t \quad \text{et} \quad OC' = OC'' = R \frac{\sin t}{\sin T'}$$

On peut alors écrire :

$$\frac{\sin Azi}{R \sin t} = \frac{\sin daz}{OK}$$

$$\frac{\sin T'}{\sin T'} = \frac{\sin T'}{OK}$$

et

$$OK = \frac{\sin daz}{\sin Azi} R \frac{\sin t}{\sin T'}$$

$$\frac{\sin daz}{\sin Azi} = \frac{\sin Azi \cos T' - \sin T' \cos Azi}{\sin Azi} = \cos T' - \frac{\sin T'}{\tan Azi}$$

$$OK = R \left(\cos T' - \frac{\sin T'}{\tan Azi} \right) \frac{\sin t}{\sin T'}$$

Nous remarquons que le grand cercle de l'horizon et le grand cercle de l'incliné faisant un angle i entre eux peuvent être assimilés au grand cercle de l'équateur céleste et de l'écliptique faisant entre eux un angle epsilon. Et sans chercher de démonstration nous appliquerons aux grandeurs EH et EH' la relation donnant l'ascension droite en fonction de la longitude écliptique. ($\tan \alpha = \tan l \cos \varepsilon$). Ici nous aurons : $\tan EH = \tan EH' \cos i$.

$$EH = \frac{\pi}{2} - Az \quad \text{et} \quad EH' = \frac{\pi}{2} - Azi \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{\tan Az} = \frac{\cos i}{\tan Azi} \quad , \quad \text{et donc}$$

$$\tan Azi = \tan Az \cos i \quad .$$

On peut alors écrire :

$$OK = \left(\cos T' - \frac{\sin T'}{\tan Az \cos i} \right) R \frac{\sin t}{\sin T'}$$

$$\dot{i} R \frac{\sin t}{\tan T'} - R \frac{\sin T'}{\tan Az \cos i} = R \sin t \left(\frac{1}{\tan T'} - \frac{1}{\tan Az \cos i} \right)$$

En remplaçant $\tan T'$ par sa valeur $\frac{\tan t \cos i}{\sin f}$, on obtient :

$$OK = \left(\frac{R \sin t}{\cos i} \right) \left(\frac{\sin f}{\tan t} - \frac{1}{\tan Az} \right)$$

et en remplaçant $\tan Az$ par sa valeur : $Az = \dot{i} \frac{\sin t}{\sin f \cos t - \cos f \tan d}$, il vient :

$$OK = \left(\frac{R \sin t}{\cos i} \right) \left(\frac{\sin f}{\tan t} - \frac{\sin f \cos t - \cos f \tan d}{\sin t} \right)$$

$$\dot{i} \left(\frac{R \sin t}{\cos i} \right) \left(\frac{\cos t \sin f}{\sin t} - \frac{\sin f \cos t - \cos f \tan d}{\sin t} \right)$$

$$\dot{i} R \left(\frac{\cos t \sin f - \sin f \cos t + \cos f \tan d}{\cos i} \right)$$

et

$$OK = R \frac{\cos f \tan d}{\cos i}$$

Le gnomon devra être incliné sur le plan du cadran de l'angle complémentaire à l'inclinaison du cadran.

II-5 – L'analemmatique inclinée déclinant lorsque l'inclinaison i est inférieure

au complément $\left(\frac{\pi}{2}-f\right)$ de la latitude f

Soit la sphère céleste de centre O (fig. 15). Nous faisons pivoter le grand cercle de l'horizon d'un angle dg et nous inclinons ce cercle d'un angle i . Nous choisissons une déclinaison vers l'Ouest.

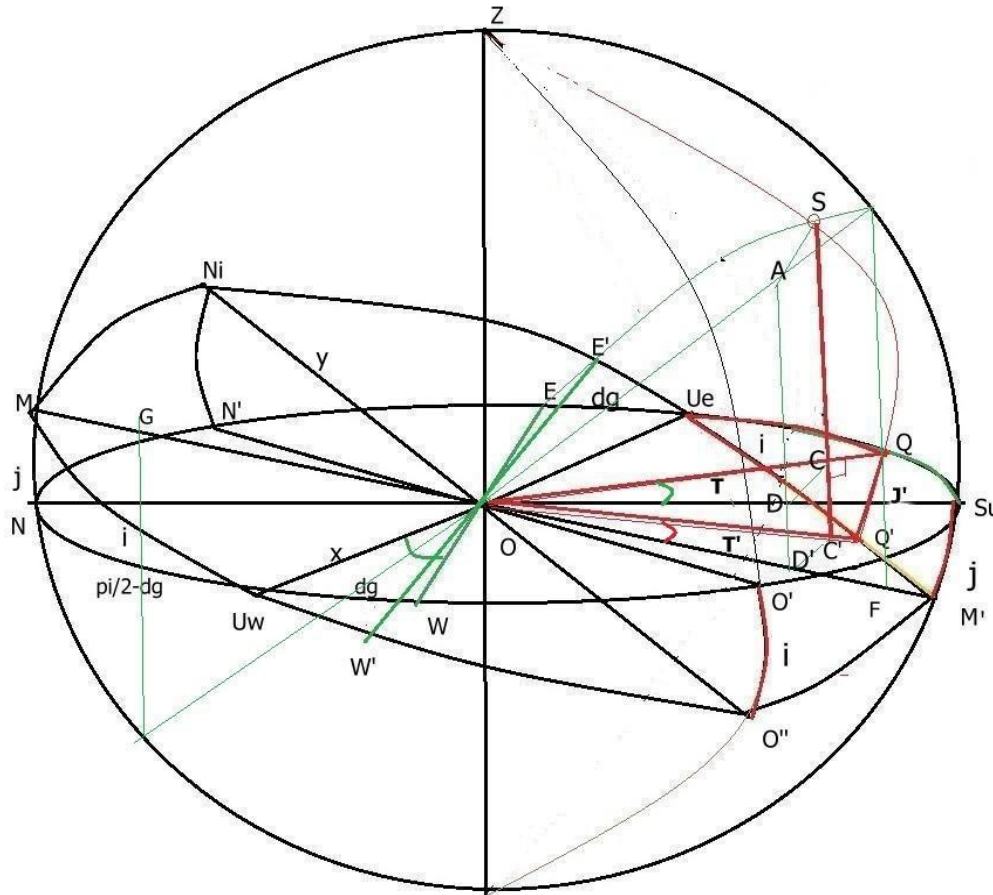


Figure 15.

Ces résultats serviront également pour la déclinaison est par symétrie. ONi est alors la ligne de plus grande pente et $UwUe$ l'horizontale qui lui est perpendiculaire. La ligne $M'M$ marque l'intersection du méridien avec le plan de ce grand cercle décliné et incliné qui est aussi le plan de notre cadran. L'ellipse obtenue par la projection des points d'heure équatoriaux sur le plan du cadran aura pour grand axe $E'W'$ et pour petit axe GF .

a) Heures du matin

Soit le Soleil en S sur l'équateur céleste. Son angle horaire est t . Sa projection sur l'horizon donne le point C et l'angle T que nous avons déterminés précédemment. Sa projection sur l'incliné donne le point C' et l'angle T' qui nous serviront à fixer le point horaire t . Comme vu dans l'exposé sur l'analemmatique inclinée méridional on peut écrire que :

$$\tan UeM' = \frac{\tan UeSu}{\cos i} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{2} - dg\right)}{\cos i} = \frac{1}{\tan dg \cos i}$$

$$\tan UeQ' = \frac{\tan UeQ}{\cos i} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{2} - (dg+T)\right)}{\cos i} = \frac{1}{\tan(dg+T) \cos i}$$

Alors $T' = UeM' - UeQ'$.

Détermination de l'angle j' :

$$UeQQ' \text{ rectangle en } Q \Rightarrow \tan QQ' = \tan j' \Rightarrow \frac{\tan j'}{\tan i} = \sin UeQ$$

$$i \sin\left(\frac{\pi}{2} - (dg+T)\right) = \cos(dg+T)$$

et

$$\tan j' = \cos(dg+T) \tan i$$

Nous avons trouvé plus haut la valeur de $OC = R \frac{\sin t}{\sin T}$, ou encore :

$$OC = R \cos t \frac{\sin f}{\cos T}$$

On peut écrire $OC = OC' \cos j'$ et

$$OC' = \frac{OC}{\cos j'} = R \frac{\cos t \sin f}{\cos T \cos j'} = R \frac{\sin t}{\sin T \cos j'}$$

Si $t = 0$, $OC' = R \frac{\sin f}{\cos j'} = OF$, nous pouvons donc placer le point d'heure T sur l'ellipse de grand axe $E'W'$ et de petit axe FG . (pour $t = 0$, C' est en F).

Coordonnées de C' .

On prend comme axe de coordonnées la droite de plus grande pente NiO'' pour les y et l'horizontale $UwUe$ qui lui est perpendiculaire pour les x . Il nous faudra connaître

$$O''OM' . \text{ On a } \tan UeM' = \frac{\tan UeSu}{\cos i} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{2} - dg\right)}{\cos i} = \frac{1}{\tan dg \cos i}, \text{ d'où } UeM' \text{ et}$$

$$O''OM' = \frac{\pi}{2} - UeM' = U$$

(angle compris entre la méridienne et la droite de plus grande pente). Alors :

$$x = OC' \sin(T'+U) \quad \text{et} \quad y = OC' \cos(T'+U)$$

Ces valeurs x et y sont à reporter dans les quadrants opposés car l'ombre va se projeter à 180° par rapport au point d'heure calculé.

b) Heures du soir

Observons la figure 16 : $UeQQ'$ rectangle en $Q \Rightarrow \tan QQ' = \tan j'$

$$\Rightarrow \frac{\tan j'}{\tan i} = \sin UeQ = \sin\left(\frac{\pi}{2} - dg + T\right) = \cos(dg - T) \quad \text{et} \quad \tan j' = \cos(dg - T) \tan i \quad .$$

On trouve de la même façon :

$$OC' = \frac{OC}{\cos j'} = R \cos t \frac{\sin f}{\cos T \cos j'}$$

si $t = 0$, $OC' = R \frac{\sin f}{\cos j'} = OF$

$$\tan UeM' = \frac{\tan UeSu}{\cos i} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{2} - dg\right)}{\cos i} = \frac{1}{\tan dg \cos i}$$

$$\tan UeQ' = \frac{\tan UeQ}{\cos i} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{2} - dg + T\right)}{\cos i} = \frac{1}{\tan(dg - T) \cos i}$$

Alors $T' = UeQ' - UeM'$.

Si $T' < U$, on prend $x = OC' \sin(U - T')$ et $y = OC' \cos(U - T')$:

la projection des points d'heure se fait sur la zone est par rapport à la ligne de plus grande pente.

Si $T' \geq U$, on prend $x = OC' \sin(T' - U)$ et $y = OC' \cos(T' - U)$:

la projection des points d'heure se fait sur la zone ouest par rapport à la ligne de plus grande pente. Ces valeurs x et y sont à reporter dans les quadrants opposés car l'ombre va se projeter à 180° par rapport au point d'heure calculé.

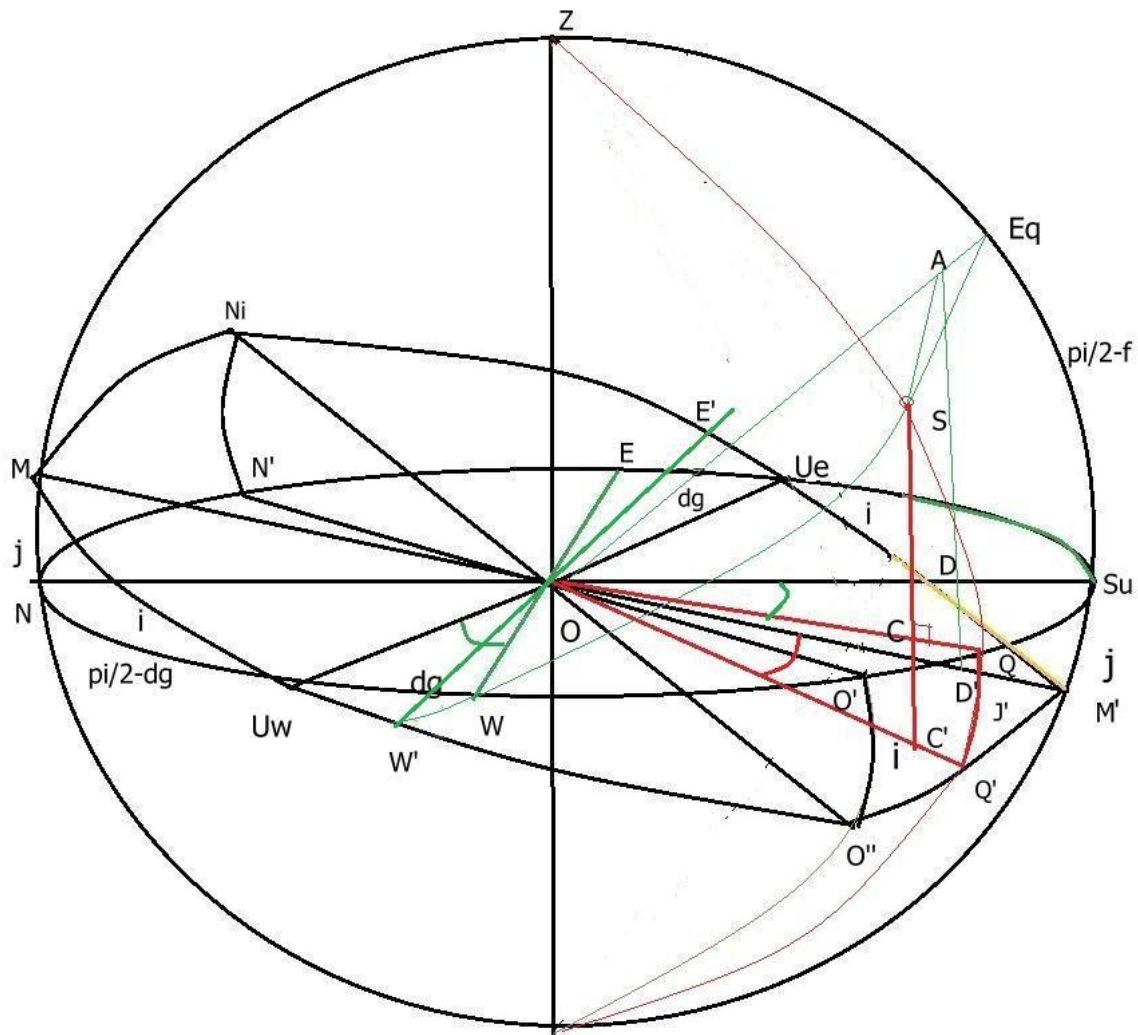


Figure 16.

Ainsi reprenant la figure 15 nous pourrions tracer les points d'heure matinaux dans les quadrants 4 et 1 et les points d'heure d'après-midi se traceront dans les quadrants 2 et 3.

c) Calcul de *OK* (règle des dates)

Observons la figure 17.

Nous retrouvons la sphère céleste de centre *O* avec le grand cercle de l'horizon *NESW* et le grand cercle de l'analemmatique inclinant *MUeM'Uw* incliné de *i* sur l'horizon et déclinant vers l'Ouest de *dg*. Le grand cercle *ZSQZ'QI* est le vertical passant par le point équatorial *S*. Il coupe l'horizon selon *QQI* marquant ainsi l'heure correspondant à *t* angle horaire de *S* sur la grande horloge de l'équateur. L'intersection *Q'Q'I* avec l'incliné donnera la ligne horaire correspondant également à *t*. On remarque que ces 2 lignes horaires indiquant la même heure sont dans un même plan vertical.

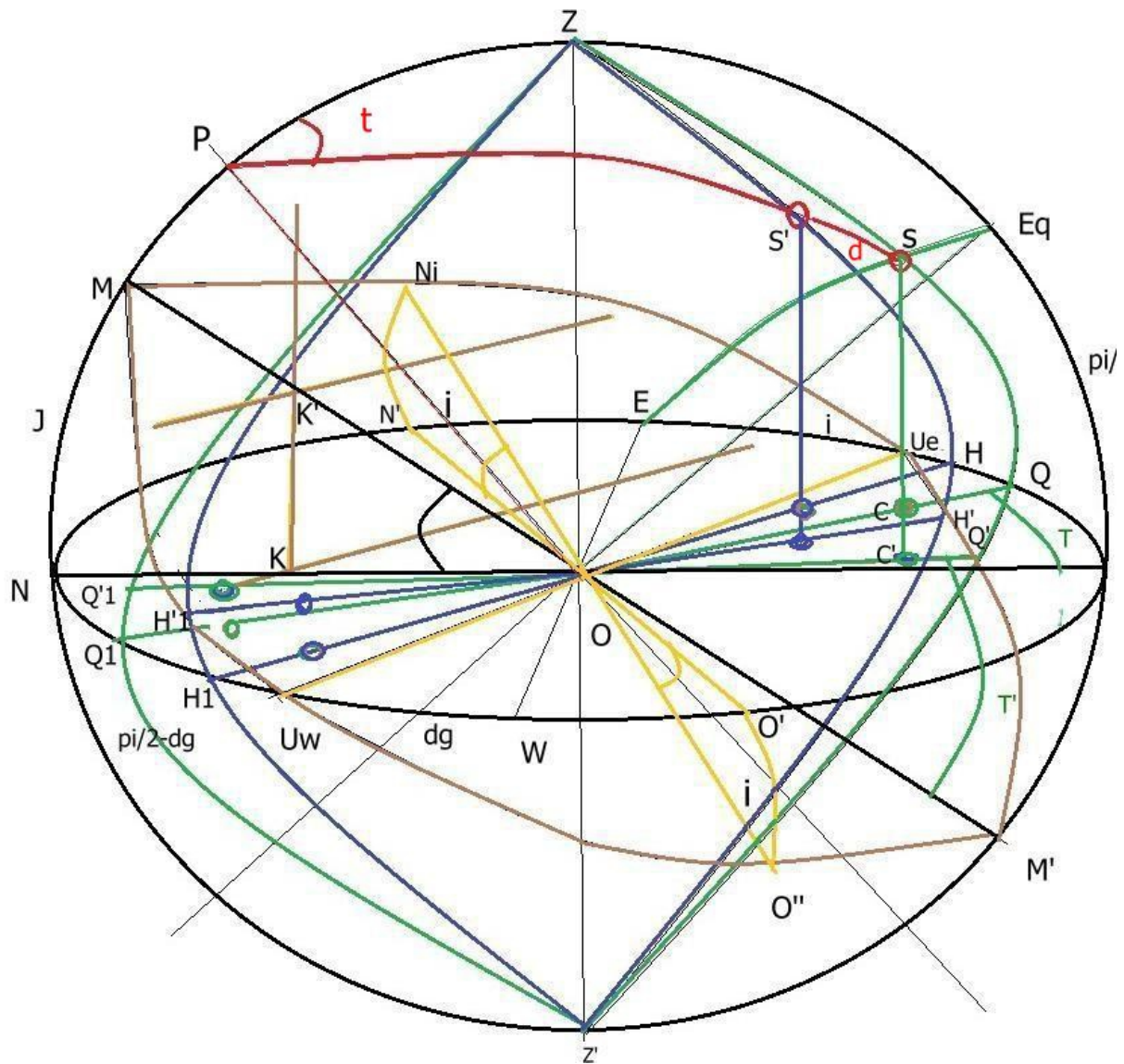


Figure 17.

Le grand cercle $ZS'HZ'HI$ est le vertical passant par S' de déclinaison d au même instant t . Son intersection avec l'horizon se fait selon HHI et avec l'incliné selon $H'H'I$. L'heure indiquée est donc fautive et nous avons vu dans l'étude de l'analemme horizontal qu'il était nécessaire de déplacer ce vertical $ZS'HZ'HI$ parallèlement à lui-même de façon à ce que la droite HHI passe par K pour venir toucher le point d'heure correspondant à t sur l'ellipse formée par la projection de l'équateur céleste sur l'horizon. Lorsque cela est réalisé ce vertical coupe également la ligne horaire correspondant à t sur l'incliné (puisque ces lignes horaires horizon-incliné sont dans le même vertical pour le même angle horaire t). Le vertical passant par K va couper la ligne de midi de l'incliné en K' et le gnomon KK' marquant la ligne des dates sur l'analemme horizontal marquera également par son prolongement la ligne des dates sur l'incliné. Pour telle déclinaison d il conviendra de placer le gnomon incliné de $\left(\frac{\pi}{2} - J\right)$ sur la ligne de XII heures à la distance :

$$OK' \text{ de } O \quad i \frac{OK}{\cos J} \quad OK' = \frac{R \cos f \tan d}{\cos J}$$

MNHI nous donne la valeur de J : $\frac{\tan J}{\tan i} = \sin\left(\frac{\pi}{2} - dg\right) = \cos dg$.

Et $\tan J = \tan i \cos dg$, d'où J et lorsque $dg = 0$ on a $i = J$. On retrouve la relation de l'incliné non déclinant étudié ci-dessus.

d) Confection du gnomon

Il faudra positionner le gnomon au point de déclinaison recherché (date). Ce gnomon fera un angle de $\frac{\pi}{2} - i$ avec la ligne de plus grande pente. Nous avons vu plus haut que cette ligne de plus grande pente (lpg) fait un angle U avec la ligne de XII heures et qu'elle est perpendiculaire à l'horizontale passant par K' .

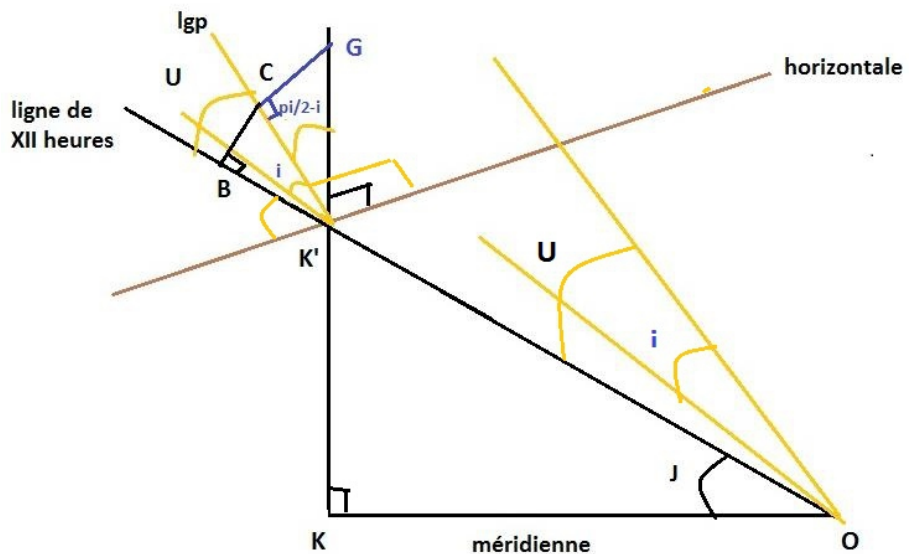


Figure 18.

Nous pourrions alors construire un petit triangle $K'GC$ rectangle en C qui nous servira de guide pour le gnomon (tige) prolongeant $K'G$. En prenant par exemple $K'G = 10$ cm on a $GC = GK' \sin\left(\frac{\pi}{2} - i\right) = 8,19$ cm et $CK' = 5,73$ cm. On pourra éventuellement faire passer par C ou tout autre point de $K'C$ une tige témoin perpendiculaire à CK' pour s'assurer de la bonne verticalité de CGK' .

e) Recherche des points d'heures utiles

Reprenons la figure 15 (points d'heures Est) sur laquelle nous avons rajouté l'arc semi-diurne $RR'R''$ de déclinaison d ainsi que l'axe des pôles PP' et l'angle horaire t correspondant au moment où le Soleil sur son arc semi-diurne va apparaître sur le plan du cadran (*cf.* fig. 19).

La partie du cadran $UeQ''Uw$ « sous l'horizon » va voir théoriquement les arcs semi-diurnes qui lui sont attachés s'accroître sans pour cela augmenter la durée du jour car le soleil encore sous l'horizon n'éclaire pas le cadran.

La partie du cadran $UeNiUw$ « sur l'horizon » verra par contre ses arcs semi-diurnes « amputés » de l'arc compris entre l'horizon et le plan du cadran.

Par symétrie pour un déclinant est on aurait une diminution identique des arcs semi-diurnes Ouest dans la partie $UeNiUw$ de l'horizon.

On peut essayer de calculer l'angle horaire utile ou résiduel restant par rapport à l'arc semi-diurne pour une déclinaison d sur un horizon f avec une inclinaison i et une déclinaison gnomonique dg . Cette diminution a lieu dès que l'azimut A de la naissance de l'arc semi-diurne est supérieure à $SuUe$.

$$SuUe = \frac{\pi}{2} - dg$$

On a en outre $\sin d = -\cos f \cos A$ (azimut des levers et couchers). Connaissant f et $A = \frac{\pi}{2} - dg$, on peut alors connaître la déclinaison pour laquelle les arcs diurnes vont commencer à être « amputés » par le cadran.

Dans $NMUw$ on a :

$$\frac{\tan\left(\frac{\pi}{2} - dg\right)}{\tan NMUw} = \sin j$$

On a vu que $\tan j = \tan i \cos dg$, d'où j :

$$\tan NMUw = \frac{1}{\tan dg \sin j}$$

Considérons le triangle MPR . On a $PM = f - j$; $PR = \frac{\pi}{2} - d$; $PMR = \pi - t$.

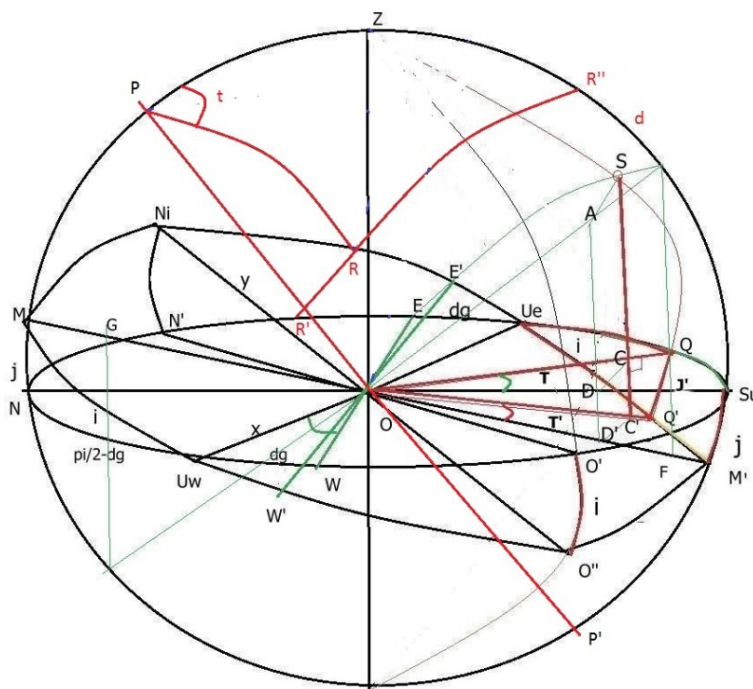


Figure 19.

On appellera M l'angle $PMR = NMUw$, R l'angle PRM et P l'angle MPR .

$$\frac{\sin M}{\cos d} = \frac{\sin R}{\sin(f-j)} = \frac{\sin t}{\sin MR} \text{ et } \sin MR = \frac{\sin t \sin(f-j)}{\sin R}$$

$$\sin R = \frac{\sin M \sin(f-j)}{\cos d}$$

$$\cos MR = \cos PM \cos PR + \sin PM \sin PR \cos(\pi - t) = \cos(f-j) \sin d + \sin(f-j) \cos d$$

$$\cos PM = \cos MR \sin d + \sin MR \cos d \cos R$$

$$\cos(f-j) = \cos(f-j) \sin^2 d + \sin(f-j) \cos d \sin d (-\cos t) + \sin MR \cos d \cos R$$

$$\cos(f-j) = \cos(f-j) \sin^2 d - \sin(f-j) \cos d \sin d \cos t + \frac{\sin t \sin(f-j) \cos d \cos R}{\sin R}$$

divisons par $\cos(f-j)$,

$$1 = \sin^2 d - \tan(f-j) \cos d \sin d \cos t + \sin t \tan(f-j) \frac{\cos d}{\tan R},$$

ou

$$\cos^2 d + \tan(f-j) \cos d \sin d \cos t - \sin t \tan(f-j) \frac{\cos d}{\tan R} = 0,$$

$$\cos d + \tan(f-j) \sin d \cos t - \sin t \frac{\tan(f-j)}{\tan R} = 0.$$

En appelant $A = \cos d$, $B = \tan(f-j) \sin d$, et $C = \frac{\tan(f-j)}{\tan R}$, on a :

$$A + B \cos t - C \sin t = 0$$

Appliquons les formules de l'arc moitié en prenant $t = \frac{t'}{2}$, on aura alors :

$$A + B \times \frac{1-t'^2}{1+t'^2} - C \times \frac{2t'}{1+t'^2} = 0$$

ou encore :

$$A + At'^2 + B - Bt'^2 - 2Ct' = 0, \quad \text{c'est-à-dire : } (A-B)t'^2 - 2Ct' + A+B = 0;$$

ce qui donne après développement 2 racines t' et

$$t = \left\{ \left(C \pm \sqrt{\{C\}^2 + \{B\}^2 - \{A\}^2} \right) \text{ over } \{A-B\} \right\} .$$

On prendra la racine adéquate et on aura $t = 2 \times \arctan t'$ ou $2 \times \arctan t''$.

Exemple :

Calculons l'amputation d'arc semi-diurne entraîné par un cadran incliné de 35° et déclinant de $34,922^\circ$ vers l'ouest sur un horizon de latitude $f = 43,2754^\circ$ le jour de l'été (déclinaison $23,433^\circ$).

$$\tan j = \tan i \cos dg \quad \rightarrow j = 29,861^\circ, A = 0,917525, B = 0,094845 ;$$

$$\tan M = \frac{1}{\tan dg \sin j} \quad \rightarrow M = 70,8314^\circ \quad \text{et} \quad \sin R = \frac{\sin M \sin(f-j)}{\cos d}$$

$$\rightarrow R = 13,81731^\circ ;$$

d'où $C = 0,969729$.

$$t' = 0,969729 + \frac{\sqrt{0,969729^2 + 0,094845^2 - 0,917525^2}}{0,917525 - 0,094845} = 1,36830$$

$$t = 0,78056 .$$

$$\arctan t' = 53,839 \quad \text{et} \quad t = 2 \times 53,839 = 107,678^\circ ;$$

$$\arctan t'' = 37,974 \quad \text{et} \quad t = 75,948^\circ .$$

On peut penser que la deuxième solution est la plus proche de la réalité. L'arc semi-diurne de l'été étant de $\arccos(-\tan d \tan f)$ égal à $114,0846^\circ$, l'ensoleillement du cadran commencera à : $114,0846 - 75,948 = 38,1366^\circ$ ce qui correspond à

$$\frac{38,1366^\circ}{15} = 2,5424 \text{ h} ,$$

c'est-à-dire 9h 27' 27'' solaire du matin. Sur la figure 20 ci-dessous nous avons représenté l'arc semi-diurne d'après-midi de même déclinaison d . Celui-ci va couper le cadran en R et R' sur l'horizon Ouest. Nous constatons alors que les éléments du triangle MPR sont identiques au triangle MPR du matin.

Nous aurons ici
 $M_{\text{après-midi}} = \pi - M_{\text{matin}}$ et
 $\sin M = \sin(\pi - M)$
 donc le calcul de R reste
 identique.

Nous allons avoir
 exactement les mêmes
 systèmes de relations et
 nous aboutirons à la
 même équation du
 second degré. C'est alors
 la deuxième racine que
 nous retiendrons pour
 connaître l'instant où le
 Soleil passera derrière le
 plan du cadran. Nous
 avons vu que

$$\arctan t' = 53,839$$

et

$$t = 2 \times 53,839 = 107,678^\circ$$

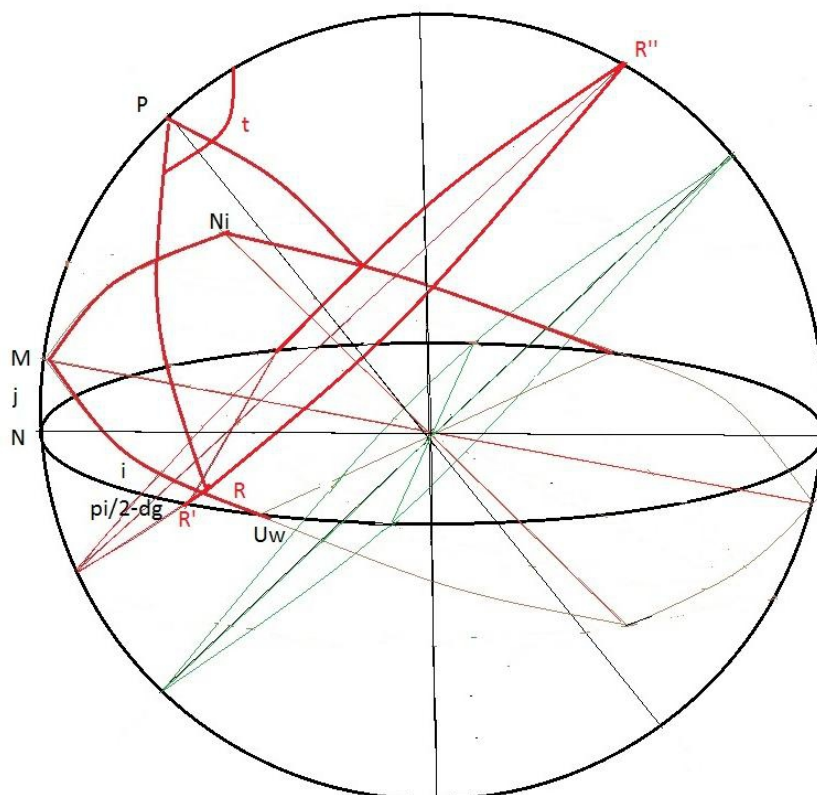


Figure 20.

Le Soleil passera donc derrière le cadran à
 $\frac{107,678^\circ}{15} = 19\text{h } 10'$ solaire, le coucher du Soleil
 ayant lieu à $\frac{114,0846^\circ}{15} = 19\text{h } 36'$ solaire (il faudrait
 corriger ces heures de la valeur de l'équation du temps
 au jour de lecture).

Nous avons étudié le cas de l'analemme
 incliné déclinant à l'ouest. On se servira des mêmes
 résultats de façon symétrique pour le déclinant Est.

Pour les fortes inclinaisons quand $i > \frac{\pi}{2} - f$ la
 projection de l'équateur céleste doit se faire vers le haut
 du cadran car, à défaut, la taille de l'ellipse deviendrait
 démesurée. Il faudra alors rechercher les relations
 trigonométriques adaptées à ce cas de figure.

Vérification du 11/04/2016.

Nous inclinons un plan de 35° sur l'horizon de
 latitude $43,2754^\circ$ Nord, de longitude $-2,6594^\circ$ Est et
 nous faisons pivoter ce plan de $34,922^\circ$ vers l'Ouest.

Nous obtenons sur papier Canson l'ellipse des heures ci-dessous :



Figure 21.

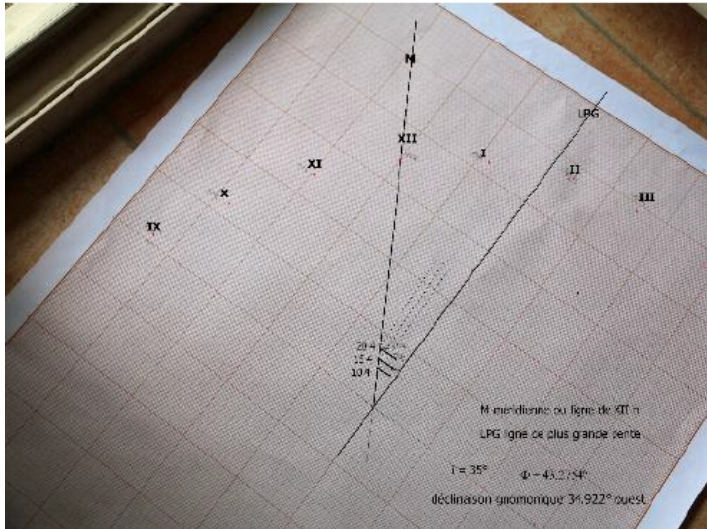


Figure 22 – Ellipse des heures sur papier Canson.

Après confection du style selon la méthode présentée ci-dessus nous vérifions notre théorie de l'analemme déclinant incliné ce 11/4/2016.

L'équation du temps à cette date est égale à $-1'7''$ (retard). Il y aura compte-tenu de la longitude du lieu et de l'heure d'été un écart de $1\text{h } 50'28''$ entre l'heure donnée par le cadran et l'heure de la montre.

Ainsi à $12\text{h } 50'28''$ à la montre, le cadran devrait indiquer 11 h solaire.

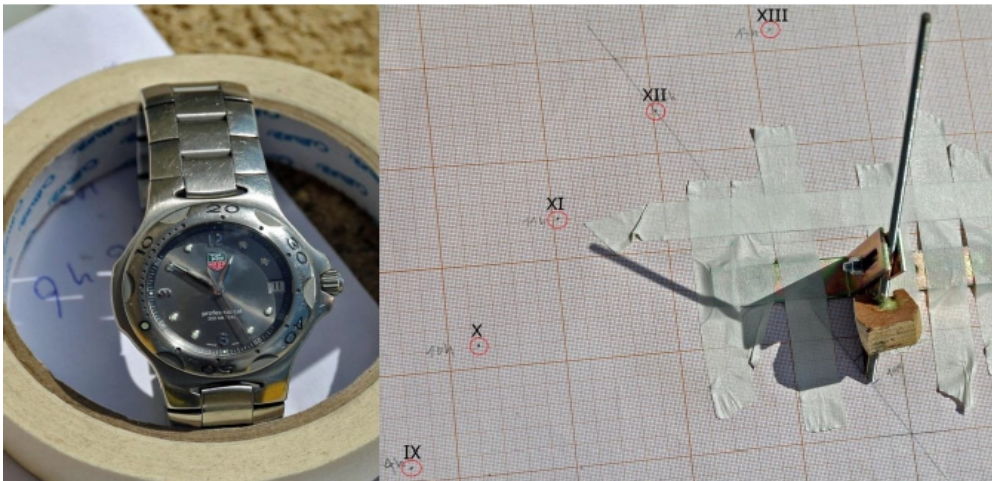


Figure 23 – Le cadran accuse un léger retard d'environ 3'.

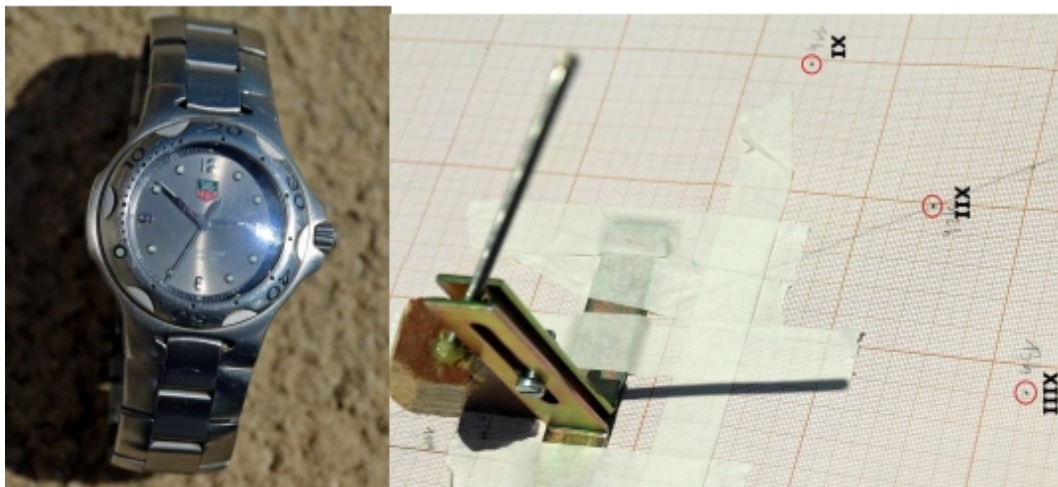


Figure 24 – Retard que l'on retrouve à XIII heures.

Ceci ne remet pas du tout en cause la théorie expliquée ci-dessus.

Cette différence provient de 3 raisons principales :

1) la déclinaison gnomonique retenue n'a pas été mesurée à partir du pilier d'appui de notre incliné mais simplement reportée de la précédente mesure de déclinaison du mur en enfilade porteur d'un cadran solaire et considéré comme parallèle au plan du pilier. Il peut donc y avoir une légère différence avec la valeur réelle de la déclinaison gnomonique du pilier.

2) L'inclinaison retenue pour le calcul a été fixée arbitrairement à 35°.

Nous avons fait en sorte de donner une inclinaison de 35° en mesurant la longueur de notre plan porteur du cadran.



Figure 25.

Ayant trouvé 108 cm nous l'avons posé contre le pilier à une hauteur de $108 \sin 35^\circ = 61,94$ cm. Un léger écart de cette valeur peut entraîner une légère erreur sur l'heure lue.

3) Enfin la réalisation du style métallique a été faite du mieux possible mais la découpe de la plaque de laiton porteuse du gnomon a pu donner lieu à quelques minimes imprécisions pouvant également entraîner une légère erreur de lecture.

Site des cadrans solaires de J. Pakhomoff :

- Mes travaux personnels : <http://www.pakhomoff.net/trvp.html>
- Menu principal : <http://www.pakhomoff.net/index.html>
- Abord classique des analemmatiques : <http://www.pakhomoff.net/AnalHV1.html>





La gnomonique

Joël Rodenburger¹

Présentation générale de la gnomonique afin de faire apprécier les cadrans solaires que l'auteur décrit dans le bulletin de Charmizay en Indre et Loire.

La gnomonique, c'est l'art et la science de la fabrication des cadrans solaires et on trouve sur notre commune et à proximité un certain nombre de cadrans anciens et modernes qui méritent qu'un article détaillé leur soit consacré. Il vient compléter le paragraphe dédié au cadran solaire du hameau des Bienneries paru dans le N° 22 du 1er semestre 2006 du bulletin « Charnizay à travers les siècles » (page 6).

Une définition simple d'un cadran solaire est la suivante : instrument qui utilise l'ombre portée par le Soleil pour indiquer l'heure.

Depuis des millénaires les activités humaines sont réglées par la mesure du temps. La première approche de la mesure du temps par l'ombre portée par le Soleil, fut l'utilisation d'un poteau (ou style), planté verticalement dans le sol pour marquer le passage des heures en observant le déplacement de son ombre au cours de la journée : c'est ce type de cadran primitif désigné par le mot « gnomon » qui a donné son nom à la gnomonique. Comme le fait remarquer Yves Opizzo, il faut prononcer le « gn » de gnomonique à la grecque, donc dur, le son « gue » comme dans agnostique et non pas le son mouillé « gne » comme dans agneau (1). Mais ce système primitif du poteau planté verticalement était loin d'être précis car l'ombre d'une tige verticale n'a, d'un jour à l'autre et pour la même heure, ni la même direction, ni la même longueur, la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel variant en fonction de la période de l'année. Pour pallier ce problème, le style (la tige dont l'ombre projetée indique l'heure) devra être parallèle à l'axe de la Terre. Il suffira de lui donner un angle d'inclinaison par rapport au cadran gradué sur lequel l'ombre est projetée : cet angle sera fonction de la latitude du lieu et du type de cadran solaire réalisé (2).

Le cadran solaire, dans sa conception, devant tenir compte des variations de hauteur du Soleil selon les saisons pour un lieu donné, il est donc nécessaire de rappeler au préalable quelques notions simples d'astronomie et de cosmologie qui permettent de comprendre la construction et la lecture d'un cadran solaire.

Quelques notions d'astronomie

La Terre tourne autour du Soleil sur son axe pôle Nord / pôle Sud en faisant un tour en un jour c'est à dire 360° en 24 h : si l'on tranchait la Terre parallèlement à l'équateur en plantant sur l'axe Nord / Sud un bâton (un style ou gnomon) l'ombre de ce bâton ferait donc un tour complet (360°) en un jour (24h) si bien que le déplacement de l'ombre projetée en une heure formerait un secteur angulaire égal à $360^\circ / 24 = 15^\circ$.

C'est le principe de base de la construction d'un cadran solaire : pour que l'ombre tourne de 15° par heure, sur ce plan équatorial, il faudra impérativement que le gnomon soit parallèle à l'axe des pôles.

La révolution de la Terre autour du Soleil s'effectue, non pas suivant une circonférence dont le Soleil serait le centre, mais suivant une ellipse dont le Soleil occupe un des foyers (première loi de Kepler).

¹ Note sur l'auteur en fin d'article

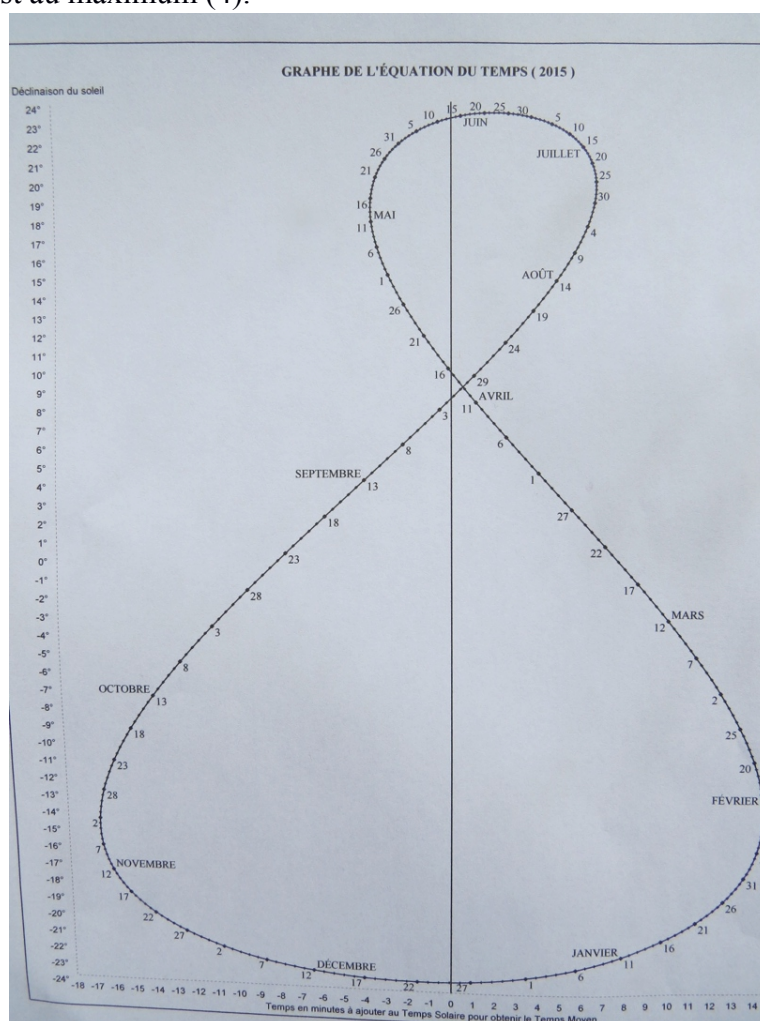
La vitesse de déplacement de la Terre le long de son orbite elliptique n'est pas uniforme. C'est l'aire balayée par unité de temps par le segment de droite qui va de la Terre au Soleil qui est constante (vitesse aréolaire / deuxième loi de Kepler). Chaque jour, la Terre balaie une surface d'ellipse égale au jour précédent : le segment de droite Terre-Soleil balaie des aires égales en des temps égaux ; la Terre accélère sa course quand elle se rapproche du Soleil et la ralentit quand elle s'en éloigne ; on compte 185 jours entre le jour du printemps et celui de l'automne et 180 jours seulement entre celui de l'automne et celui du printemps (3).

La Terre tourne sur son axe avec une inclinaison de $23^{\circ}26'$ par rapport à la verticale, ce qui veut dire que l'axe de rotation de la Terre sur elle-même n'est pas perpendiculaire au plan contenant l'ellipse de révolution (appelé plan de l'écliptique) ; le plan dans lequel se trouve l'équateur terrestre (plan équatorial) fait un angle de $23^{\circ}26'$ avec le plan de l'écliptique. C'est la raison pour laquelle il y a des saisons.

Cette inclinaison explique pourquoi les jours sont plus longs en été qu'en hiver dans l'hémisphère Nord : en hiver la Terre est proche du Soleil mais les rayons du Soleil arrivent très bas sur l'horizon dans l'hémisphère Nord.

Il résulte aussi de ce qui précède qu'il existe au cours de l'année des moments particuliers relatifs aux positions respectives de la Terre et du Soleil : les équinoxes de printemps (20 mars) et d'automne (23 septembre) où la durée du jour est égale à celle de la nuit, le solstice d'hiver (21 décembre) où la durée de la nuit est au maximum, le solstice d'été (21 juin) où la durée du jour est au maximum (4).

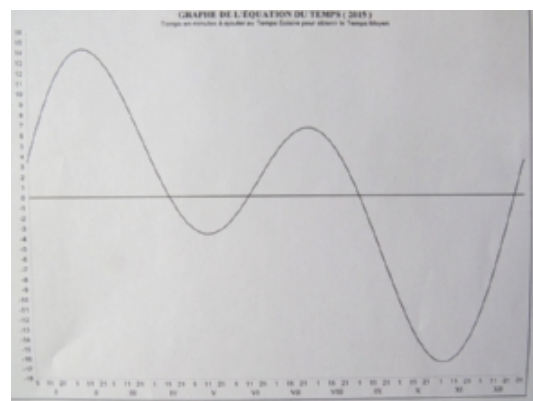
Du fait des variations de vitesse de la Terre autour du Soleil mais surtout de l'inclinaison du plan de rotation de la Terre sur le plan de l'écliptique ($23^{\circ} 26'$), il résulte des différences de temps pour qu'un méridien (ou le méridien de référence de Greenwich) se retrouve face au Soleil. D'où la nécessité d'une table dite « **équation du temps** » répertoriant les temps de passage du Soleil au méridien (de Greenwich) (5) : elle donne la variation du passage du Soleil en un point précis. L'orbite du Soleil étant une ellipse dont le plan est incliné par rapport à l'équateur, les heures n'ont pas la même durée sur une année : ceci provoque soit une avance soit un retard du passage du Soleil en un point donné, la variation sur l'année est



d'environ plus ou moins 15 minutes par rapport au temps moyen.

VALEURS DE L'ÉQUATION DU TEMPS (2015)
Temps en minutes à ajouter au Temps Solaire pour obtenir le Temps Moyen

	1	6	11	16	21	26
janvier	3 min 26 s	5 min 43 s	7 min 49 s	9 min 46 s	11 min 14 s	12 min 29 s
février	15 min 33 s	14 min 04 s	14 min 15 s	14 min 06 s	13 min 39 s	12 min 56 s
mars	12 min 24 s	11 min 19 s	10 min 05 s	8 min 42 s	7 min 15 s	5 min 44 s
avril	3 min 36 s	2 min 29 s	1 min 07 s	-0 min 8 s	-1 min 14 s	-2 min 09 s
mai	-2 min 52 s	-3 min 21 s	-3 min 37 s	-3 min 38 s	-3 min 22 s	-2 min 39 s
juin	-2 min 12 s	-1 min 22 s	-0 min 24 s	0 min 38 s	1 min 44 s	2 min 48 s
juillet	3 min 49 s	4 min 43 s	5 min 29 s	6 min 05 s	6 min 25 s	6 min 32 s
août	6 min 22 s	5 min 56 s	5 min 15 s	4 min 21 s	3 min 13 s	1 min 54 s
septembre	0 min 7 s	-1 min 31 s	-3 min 15 s	-5 min 05 s	-6 min 48 s	-8 min 33 s
octobre	-10 min 13 s	-11 min 47 s	-13 min 11 s	-14 min 23 s	-15 min 21 s	-16 min 02 s
novembre	-16 min 27 s	-16 min 25 s	-16 min 05 s	-15 min 19 s	-14 min 14 s	-12 min 48 s
décembre	-11 min 05 s	-9 min 05 s	-6 min 53 s	-4 min 31 s	-2 min 04 s	0 min 25 s



Deux représentation de l'équation du temps : valeurs sous forme de tableau et graphique.

Un point quelconque du globe terrestre est défini par ses coordonnées : Latitude et Longitude. La **latitude** est la distance angulaire d'un point donné à l'équateur et permet le positionnement du style par rapport à la table. En France, les latitudes varient entre 42° et 51° et on précise Nord pour indiquer que nous sommes dans l'hémisphère Nord. La latitude est déterminée par les parallèles à l'équateur. La **longitude** est déterminée par les méridiens, cercles imaginaires passant par les pôles. La référence – méridien 0 – est celui de Greenwich et sert de référence pour le calcul de l'heure légale (TU = Temps universel). Deux méridiens qui forment un secteur angulaire de 15° déterminent un fuseau horaire.

La place de l'église à Charnizay a les coordonnées suivantes :

Latitude 46° 54' 46" Nord Longitude 0° 59' 10" Est

L'heure donnée par le cadran est l'heure solaire, ce n'est pas l'heure légale. Pour obtenir l'heure légale par lecture d'un cadran solaire, il faudra apporter les corrections suivantes :

Heure Légale = Heure Solaire + 1 h (hiver) ou 2 h (été) +/- Correction Longitude +/- équation du Temps

Une brève histoire de la gnomonique et des cadraniers

Le cadran solaire qui passe pour être le plus ancien connu (vers 1 500 avant J.C.) serait égyptien. Le pharaon Thoutmosis III emportait, au cours de ses voyages, un cadran solaire portatif en pierre : en forme de T long de 30 cm, sa branche transversale est légèrement surélevée. Tournée face au Soleil, elle projette une ombre sur la partie graduée horizontale (7).

Le philosophe, mathématicien et astronome grec, Anaximandre de Millet (env. 610 – 547 av J.C.) est tenu pour être l'inventeur du cadran solaire fixe.

L'essor de la gnomonique a lieu à partir du XVIe siècle et l'on voit se multiplier à partir de la seconde moitié du XVIIe siècle les ouvrages et traités relatifs à leur construction.

L'âge d'or de la gnomonique est le XVIIIe siècle, le siècle des Lumières, et ce malgré le développement de l'horlogerie : la précision des montres et horloges n'étant pas encore fiable, le cadran solaire permettait – dit on - de les remettre à l'heure ! (8)

Les « faiseurs de cadrans solaires » ou « facteurs de cadrans » faisaient partie de la confrérie des « cadraniers », constructeurs d'instruments de mathématiques. Ils exerçaient leur art spécialement à Paris, ayant leurs boutiques et ateliers dans des quartiers aux noms évocateurs : « Cherche-Midi », « Quai de l'Horloge ». Moins connus sont leurs homologues exerçant leur art sur le terrain, ces cadraniers itinérants dénommés « cadraniers de plein air » (9). Groupés en corporations, ces maçons, tailleurs de pierre, ferronniers recevaient une formation de cadranier au cours de leur compagnonnage comme « Compagnon du Tour de France ».

Les principaux types de cadrans et leurs principes de construction

Il existe une très grande variété de cadrans solaires. Les descriptions qui suivent vont nous permettre de comprendre à quels types appartiennent les cadrans présentés dans cet article, qui sont uniquement des cadrans à table plane.

1- Les cadrans solaires à style polaires

Les cadrans solaires plans à style polaire sont les plus répandus. Leur table est plane et leur style / gnomon (la tige dont l'ombre projetée indique l'heure) est parallèle à l'axe des pôles. Ces cadrans à style polaire se définissent selon l'orientation et l'inclinaison de la table du cadran : vertical, horizontal ou équatorial.

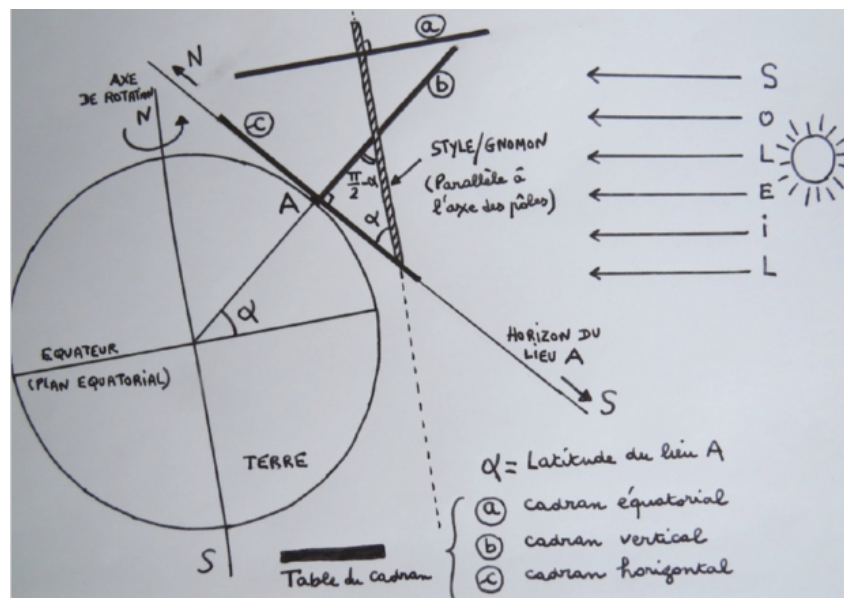
Au lieu de latitude α , le gnomon fera un angle de $(\pi / 2 - \alpha)$ avec le mur vertical (b) (cadran vertical) et un angle α avec le plan horizontal (a) (cadran équatorial) et (c) (cadran horizontal).

Le cadran équatorial est le plus simple à construire mais on ne le rencontre que très peu souvent. Le style fait avec le plan horizontal un angle égal à la latitude du lieu. La table est perpendiculaire au style et fait donc, avec le plan horizontal, un angle de 90° moins la latitude du lieu. Les lignes horaires forment des angles égaux de 15° .

Dans le cadran horizontal, la table est horizontale, le style fait avec la table un angle égal à la latitude du lieu. Les lignes horaires sont la projection horizontale des lignes horaires du cadran équatorial.

Les cadrans verticaux sont les plus répandus : très souvent tracés sur un mur, et donc fonction de l'orientation du mur, le tracé des lignes horaires ainsi que la position du style seront déterminés en conséquence. On aura donc différents types de cadrans verticaux :

- Les cadrans verticaux méridionaux / plein sud, dits non déclinants : le mur support du cadran est parfaitement orienté est / ouest ; le style fait avec la table un angle égal au complément de la latitude du lieu, soit donc un angle de 90° moins la latitude du lieu.
- Les cadrans verticaux déclinants est ou ouest : dans ces cadrans le plan n'est pas parfaitement est / ouest mais forme un angle d (déclinaison) avec l'axe est / ouest.
- Les cadrans verticaux occidentaux (tournés vers l'ouest) faisant un angle de 90° avec l'axe est / ouest ; ils donnent les heures à partir de midi.
- Les cadrans verticaux orientaux (tournés vers l'est) faisant un angle de 90° avec l'axe est / ouest ; ils donnent les heures jusqu'à midi.



2- Les cadrans polaires

C'est un type de cadran peu courant, pourtant facile à réaliser, donnant l'heure de 7 à 17 h, s'il fait face au Sud vrai. La table du cadran est perpendiculaire au méridien, c'est à dire à l'axe Nord / Sud et forme avec l'horizontale un angle égal à la latitude du lieu. Les lignes horaires sont parallèles et le style est parallèle à la table (6).

3- Les cadrans solaires à gnomon mobile ou analemmatiques

Les cadrans analemmatiques ont un style mobile en fonction de la date dans l'année. Le cadran est constitué d'une ellipse graduée avec des points horaires et une ligne centrale sur laquelle se déplace le style / gnomon au cours de l'année. Le cadran analemmatique le plus courant est horizontal, tracé sur le sol, d'une grande dimension, une personne jouant le rôle du style en se plaçant sur la ligne centrale à l'endroit indiqué par la date.

Comme indiqué précédemment, il existe de nombreux autres types de cadrans solaires (cadrans solaires cylindriques, cadran de hauteur, montre de berger, cadran solaire « camembert », cadrans bifilaires,)

Le lecteur intéressé pourra se reporter aux livres indiqués dans la bibliographie.

Le cadran solaire du hameau des Bienneries

Au hameau des Bienneries, sur le mur d'une propriété privée, se trouve un très beau cadran solaire de forme ovale, taillé dans la pierre du pays, portant la devise « PAX HVIC DOM », daté de 1634, avec un ovale occupé par un cœur et deux V accolés. Les propriétaires de la maison nous ont donné l'autorisation de publier les photographies du cadran solaire et nous les en remercions vivement.

Il s'agit d'un cadran solaire classique vertical méridional « plein sud » non déclinant : le mur support du cadran est parfaitement orienté est / ouest ; le style doit théoriquement faire avec la table un angle égal au complément de la latitude du lieu, soit donc un angle de 90° moins la latitude du lieu. Cependant le style métallique est actuellement en très mauvais état et l'ombre projetée ne permet pas – sauf pour l'heure de midi – de donner l'heure solaire.

La devise « PAX HVIC DOM » signifie « La paix sur cette maison ». Comme l'indique le Dr Louis Dubreuil-Chambardel, les deux V enlacés sont une abréviation du mot EVVIVA signifiant viv , que l'on rencontre sur les façades de maisons du comté de Nice et du Jura, expression d'un vœu à l'adresse des habitants de la maison, coutume venant d'Italie. Un compagnon maçon aurait pu avoir connaissance de cet usage et l'aurait gravé sur le cadran (10).

En 1634, dans cette première moitié du XVII^e siècle, les ouvrages théoriques de gnomonique étaient encore très peu nombreux et on peut supposer que le cadran des Bienneries soit l'œuvre d'un cadranier itinérant qui pouvait être un compagnon maçon/tailleur de pierre au cours de son Tour de France. La rareté des manuels spécialisés disponibles à cette



date laisse supposer une approche empirique et rudimentaire, sans connaissances mathématiques particulières, que l'on retrouve dans la simplicité du cadran réalisé (cadran classique vertical méridional « plein sud »). Des ouvrages permettant de réaliser simplement des cadrans solaires et destinés aux compagnons maçons et tailleurs de pierre qui faisaient leur Tour de France ont été publiés bien plus tardivement.



Détails du style et des inscriptions.

Les cadrans canoniaux de l'église Saint Martin

Dans l'ouvrage « Trésors oubliés de la Touraine » Les sentiers du patrimoine de Bernard BRIAIS ainsi que dans l'ouvrage du Dr Louis DUBREUIL-CHAMBARDEL (11), est mentionnée l'existence, sur la face Sud de l'église St Martin de Charnizay, de quatre cadrans canoniaux.

Ceux-ci ont été répertoriés / inventoriés par la Commission des cadrans solaires de la Société Astronomique de France sous les références 3706101-1/2/3/4.

À quel type appartiennent ces cadrans ? Nous n'avons jusqu'à présent pas encore mentionné ces cadrans canoniaux.

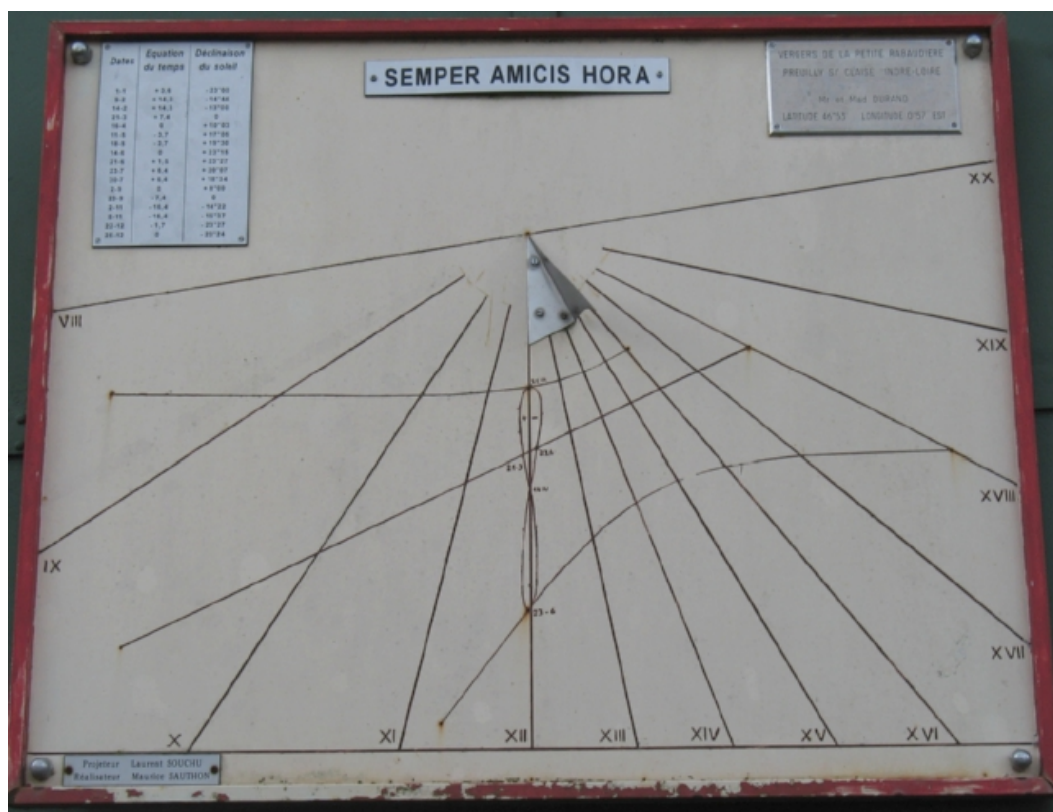
Ces cadrans n'ont pas vocation à donner l'heure solaire mais sont exclusivement réservés à la prière et se trouvent donc essentiellement sur les édifices religieux catholiques. Ce sont des cadrans solaires du Moyen-Âge.

En général un cadran canonial se situe verticalement sur la face Sud de l'édifice (le plan du cadran étant rigoureusement Est-Ouest). Le style / gnomon est perpendiculaire au mur et a une longueur quelconque. Le cadran se compose soit d'un cercle divisé en secteurs égaux soit d'un demi-cercle divisé en 6, 8 ou même 12 secteurs égaux correspondant à des heures inégales au cours d'une même journée et variables selon la saison. Aucune indication chiffrée n'y figure. L'ombre du style tombant sur un segment de droite indiquait la prière qui devait être faite ou l'office à célébrer.



Le cadran solaire de la Petite Rabaudière

Bien que situé sur la commune de Bossay sur Claise, mais très proche de la limite de la commune de Charnizay (D41), il faut citer le cadran solaire moderne des vergers de la Petite Rabaudière, installé à l'époque des anciens propriétaires, Mr et Mme DURAND. Il se situe donc actuellement sur la propriété privée des associés « Les Jardins Vergers », qui nous ont accordé l'autorisation de prendre des photos pour les publier dans le Bulletin, ce dont nous les remercions vivement.



Il s'agit d'un cadran solaire vertical déclinant Ouest : la table est verticale et forme un angle (déclinaison) avec l'axe est/ouest : c'est une variante du cadran vertical méridional (celui des Bienneries) dont le mur n'est pas face au Sud.

Comme dans tous les cadrans verticaux déclinants, le style ne fait pas fait avec la table un angle égal au complément de la latitude du lieu, mais un angle calculé en tenant compte de la déclinaison. Les lignes horaires sont le rabattement vertical du cadran horizontal du lieu. La date d'installation ne figure pas sur le cadran. Le cadran a été réalisé par Maurice SAUTHON et le projeteur (celui qui a tracé les lignes horaires) est Laurent SOUCHU.

Une devise en latin (ou sentence) y figure : « SEMPER AMICIS HORA » qui veut dire : « C'est toujours l'heure pour les amis ».

En haut à gauche du cadran ont été indiquées l'équation du temps ainsi que la déclinaison du Soleil aux différents dates de l'année.

Le seul regret est que n'y figure pas la formule permettant de passer de l'heure solaire (donnée par le cadran) à l'heure légale, ni la valeur de la déclinaison du mur utilisée.

Valeurs de l'Equation du temps et de la déclinaison du Soleil

Dates	Equation du temps	Déclinaison du soleil
1-1	+ 3,6	- 23°00
9-2	+ 14,3	- 14°44
14-2	+ 14,3	- 13°00
21-3	+ 7,4	0
16-4	0	+ 10°03
11-5	- 3,7	+ 17°05
18-5	- 3,7	+ 19°30
14-6	0	+ 23°15
21-6	+ 1,5	+ 23°27
23-7	+ 6,4	+ 20°07
30-7	+ 6,4	+ 18°34
2-9	0	+ 8°00
23-9	- 7,4	0
2-11	- 16,4	- 14°22
5-11	- 16,4	- 15°37
22-12	- 1,7	- 23°27
25-12	0	- 23°24

Et si vous décidiez d'en construire un chez vous ?

Si, à la suite de la lecture de cet article, vous prenait la brusque envie de réaliser vous aussi un cadran solaire moderne

agrémenté d'une devise qui vous serait propre ? Et si un vent de folie gnomoniste s'emparait de Charnizay ? Rien de plus facile, dans la bibliographie indiquée en annexe, figurent de nombreux ouvrages qui permettent de façon assez aisée de réaliser un cadran solaire et il existe aussi des logiciels qui vous permettent un tracé des lignes horaires sans avoir recours aux calculs trigonométriques, par simple connaissance des coordonnées GPS du lieu et des caractéristiques du cadran à réaliser (type, dimensions , inclinaison et orientation du support, hauteur du style, longueur de la base du style ,...)

Bon courage à tous les futurs gnomonistes de Charnizay !

Notes et Références :

1. Yves OPIZZO, Les Ombres des Temps, p. 7, 1998.
2. André E. BOUCHARD, Québec-Science, Vol 36, numéro 2, Octobre 1997.
3. Jean-Noël TARDY, Cadrans Solaires, les comprendre et les construire, p. 8, 1999.
4. <http://www.futura-sciences> Construction d'un cadran solaire, 2002.
5. Jean-Noël TARDY, *op.cit.*, p. 8.
6. Daniel PICON, Cadrans solaires, p. 28, 1988.
7. Jacques APEL – Christian PYTEL, L'ombre domestiquée, p. 59, 1990.
8. Patrick TEXIER, 17 cadrans solaires à découper à plier, p. 2, 1996.
9. Jacques APEL – Christian PYTEL, *op.cit* p. 23 à 28.
10. Dr Louis Dubreuil-Chambardel, Les cadrans solaires tourangeaux, p. 26 – 27, 1922.
11. Dr Louis Dubreuil-Chambardel, *op.cit.* p. 5.

Bibliographie :

- La Gnomonique. Denis SAVOIE, Les Belles Lettres 2001.
- Gnomonique Moderne. Denis SAVOIE, Société Astronomique de France 1997.
- Revue Astronomie-Québec Automne 1997, Vol 7, N° 3 supplément à Québec Science, Vol 36, numéro 2, Octobre 1997, André E. BOUCHARD, Commission des cadrans solaires du Québec.
- Cadrans Solaires, les comprendre et les construire Jean-Noël TARDY, EDISUD 1999.
- Les Ombres des Temps Histoire et devenir du Cadran solaire. Yves OPIZZO, Editions BURILLIER 1998.
- Construction-décoration Cadrans solaires. Daniel PICON Manie-tout n° 14, Editions FLEURUS 1988.
- L'ombre domestiquée – Les cadraniers – Cadrans solaires du Perche, Jacques APEL – Christian PYTEL BONNEFOY, Imprimeur-Editeur 1990.
- 17 cadrans solaires à découper à plier. Patrick TEXIER, Edition du LEZARD 1996.
- Les cadrans solaires tourangeaux. Dr Louis DUBREUIL-CHAMBARDEL dans Mémoires de la Sté Archéologique de Touraine, tome LI, 1922.
- Créez vos Cadrans Solaires. Claude DUPRE, Editions Didier Carpentier 1998.
- Les cadrans solaires. Jean-Marie HOMET, Editions CH.Massin.
- Midi au Soleil. Comment réaliser un cadran solaire ? Jean FULCRAND – Pierre BOURGE BONNEFOY, Imprimeur-Editeur 1994.

Note sur l'auteur

Joël Rodenburger, nouveau membre de notre Commission des Cadrans Solaires est adhérent à l'association locale "Charnizay son passé" et rédacteur occasionnel.

À ce titre il a rédigé pour le N° 33 paru en janvier 2016 un article sur la gnomonique où il parle du cadran des Bienneries (1634) mais aussi du cadran moderne de la Petite Rabaudière à Bossay sur Claise (commune qui jouxte Charnizay 37290). Ce dernier cadran n'était pas connu de notre commission.

J. Rodenburger a bien voulu que nous publions son article dans notre revue, après : « *lecture d'un œil le plus critique possible en me faisant part de toutes vos remarques que je ne manquerai pas de faire publier dans le prochain numéro N° 34 qui paraîtra en janvier 2017 (nous n'avons qu'un bulletin annuel). Il n'est jamais trop tard pour que les spécialistes pointus de la gnomonique se penchent sur ma prose et émettent toutes les critiques possibles qui me permettront de m'améliorer !* ».

C'est monsieur Paul Gagnaire qui a assuré la relecture.





Récréations : à la recherche du zénith

Joël Robic

Lors d'un voyage en Indonésie à l'époque l'équinoxe, J. Robic s'est livré à des mesure afin de déterminer ce qu'est concrètement le phénomène du soleil au zénith.

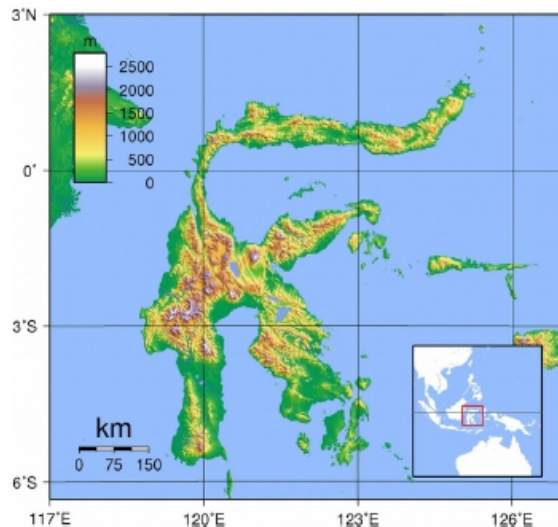


L'ombre du palmier avec le soleil au zénith

Entre les tropiques, le soleil passe au zénith deux fois par an à midi solaire, c'est le cas pour l'équateur en particulier lors de l'équinoxe : le 20 mars 2016 à 04:30:11 UTC

A l'occasion d'un séjour en Indonésie dans les jours qui précèdent l'équinoxe, on a réalisé que le soleil devait être proche du Zénith à midi.

Iles Togian - Latitude : 0,41°S
auteur de la carte : [Sadalmelik](#)



17 mars

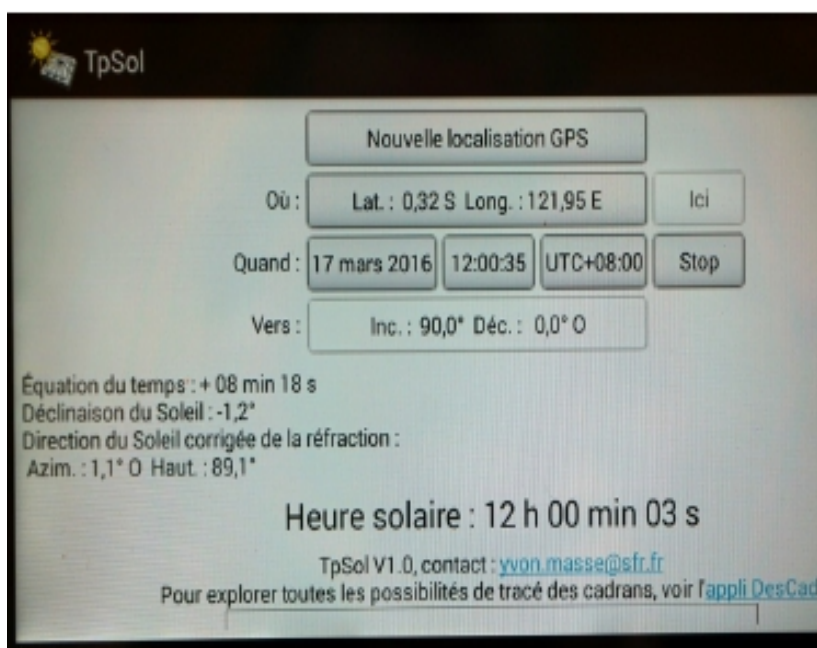
Premiers essais, on peut vérifier avec les moyens du bord que l'ombre d'un fil à plomb est bien à la verticale du support, pas d'erreur le soleil est bien au zénith.



Mais avec quelle précision ?

Il est temps d'utiliser l'application « TpSol¹ » de Yvon Massé qui repère notre position avec le GPS et nous indique l'heure solaire ainsi que sa position : azimut et hauteur.

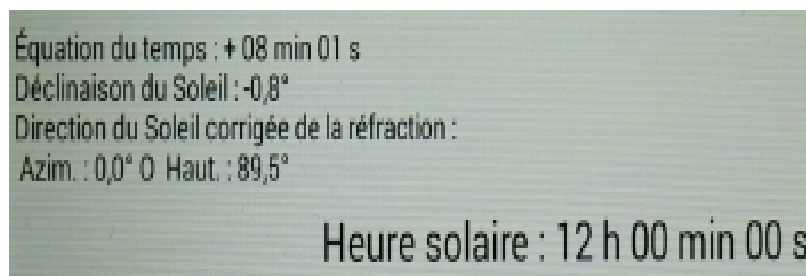
On n'est pas loin de la verticale : 89,1°. La déclinaison du soleil est encore un peu trop grande : -1,2°.



18 mars

Nouvel essai le lendemain, pas de soleil mais TpSol fonctionne quand même.

La déclinaison n'est plus que de -0,8°.



Le soleil est encore plus près de la verticale : 89,5°. ²

Encore un jour et la déclinaison du soleil devrait passer à -0,4° comme notre latitude.

1 TpSol, est une application gratuite de notre collègue Yvon MASSE. L'application peut-être téléchargée à l'adresse : <http://www.androidpit.fr/application/fr.ymasse.tpsol> . La fonction principale est de donner l'heure solaire en fonction de l'heure civile et de la position GPS mais aussi elle fournit l'équation du temps, indique l'azimut, représente l'ombre stylisée sur un cadran etc.

19 mars

Cette fois on est prêt, il ne reste plus qu'à attendre midi. Malheureusement, notre bateau part plein sud à 11 h, notre latitude va passer à $-0,5^\circ$ on va rater notre rendez-vous ?

Équation du temps : +07 min 43 s
Déclinaison du Soleil : $-0,4^\circ$
Direction du Soleil corrigée de la réfraction :
Azim. : $107,7^\circ$ E Haut. : $90,0^\circ$

Heure solaire : 11 h 59 min 55 s

Ouf, heureusement, il y a du retard.

Le soleil est bien au rendez-vous à $90,0^\circ$ à $-0,05^\circ$ de la verticale.

Prière de l'ASR

Et ensuite, comme on est dans un village musulman, on peut calculer facilement l'heure du début de la prière de l'ASR : l'ombre d'une personne est égale à la longueur de son ombre à midi plus sa propre hauteur

Comme à midi, la longueur est nulle, l'ASR commence donc quand l'ombre égale la taille de la personne soit quand le Soleil est à 45° soit : 15h solaire en ce jour.

La semaine des 4 saisons

C'était la fin de l'hiver en hémisphère nord avant de passer l'équateur et de se retrouver l'été en hémisphère sud. Arrive l'équinoxe qui nous fait passer en **automne** avant de rentrer de nouveau en hémisphère nord pour le **printemps**.



Vu au musée de Nantes



Nocturlabe du XVIIe siècle



Sphère armillaire du XVIIIe siècle



Cadran de l'Hôtel Amelot de Bisseuil

Denis Savoie

Histoire, description, rénovation des cadrans solaires l'Hôtel Amelot de Bisseuil dit des Ambassadeurs de Hollande dans le quartier du Marais à Paris.

L'Hôtel Amelot de Bisseuil, que l'on appelle plus communément *Hôtel des Ambassadeurs de Hollande*, est un des plus beaux hôtels particuliers du quartier du Marais à Paris¹. Construit dans les années 1650, il recèle ce qui est considéré comme le chef d'œuvre de la gnomonique française², à savoir quatre panneaux ornés de six magnifiques cadrans solaires qui décorent la première cour (fig. 1 et 2).



Fig. 1 : Façade Nord-Est de l'Hôtel Amelot de Bisseuil avec ses deux panneaux où sont peints les systèmes cosmologiques et différentes variétés d'heures anciennes indiqués par trois cadrans solaires.



Fig. 2 : Façade Sud-Ouest de l'Hôtel Amelot de Bisseuil avec ses deux panneaux où sont peints trois cadrans solaires qui donnent la durée des jours et des nuits ainsi que les coordonnées horizontales du Soleil.

Tombés dans un état de décrépitude avancé, ces cadrans viennent d'être complètement rénovés à la demande du nouveau propriétaire. Cela a été l'occasion de revenir sur l'histoire de ces cadrans et de découvrir des éléments exceptionnels de leur décor. De plus, les choix éclairés qui ont été pris quant à leur restauration serviront, on l'espère, à la sauvegarde

¹ Jean-Baptiste Amelot de Bisseuil (1612-1688 ou 1689), Maître des requêtes. Entre la mort de ce dernier et l'acquisition par Louis le Tellier (architecte du roi) en 1759, plusieurs propriétaires de l'hôtel se succèdent. Louis le Tellier loge de 1776 à 1788 Monsieur Caron de Beaumarchais qui, résidant dans l'entresol du premier étage de l'aile Nord, voyait les cadrans solaires de la cour où donnait son bureau. De la mort de le Tellier en 1785 à 1821, plusieurs locataires se succèdent. En 1821, Lecoq achète l'hôtel ; sa famille y restera jusqu'en 1924. L'hôtel a été classé d'office le 25 mai 1924.

² Avec également le cadran solaire à réflexion du lycée Stendhal de Grenoble tracé en 1672-1673 par le Père Jean Bonfa.

d'autres cadrans solaires patrimoniaux.

1 – L'histoire des cadrans solaires de l'Hôtel Amelot de Bisseuil

L'histoire des cadrans solaires de l'hôtel n'est pratiquement connue que par une seule source, Germain Brice (1653-1727). Cet historien de la ville de Paris a publié en 1684 une *Description nouvelle de ce qu'il y a de plus remarquable dans la ville de Paris*, ouvrage qui a connu de nombreuses rééditions revues et augmentées. Mais dans l'édition *princeps*, si l'auteur traite bien de l'Hôtel Amelot, il ne dit rien des ses cadrans solaires. C'est dans la troisième édition, celle de 1687, qu'il écrit (p. 150) « Toutes les murailles du côté de cette première cour sont chargées de cadrans au Soleil, d'une invention toute singulière ». Dans les éditions de 1698, 1706, rien de plus n'est ajouté. Il faut attendre la sixième édition en 1713 pour que Germain Brice précise (t.1, p. 412) : « Toutes les faces du côté de cette première cour sont chargées de cadrans à Soleil, de l'invention du P. Sébastien Truchet carme ». Ainsi donc, le Père Sébastien Truchet (1657-1729), membre de l'Académie des Sciences, est l'auteur de ces cadrans complexes et on s'accorde à dire qu'il les aurait tracés vers 1679, donc vers l'âge de 22 ans³. Sans douter de l'adage affirmant que la valeur n'attend pas le nombre des années et malgré l'hommage appuyé que prononça Fontenelle à la mort de Truchet où il insiste sur ses talents dès l'âge de ses 19 ans⁴, il est tout de même permis de s'interroger sur cette précocité en matière de gnomonique, et ceci pour deux raisons.

La première tient justement au fait qu'il faut attendre presque 30 ans après la première édition de son ouvrage *Description nouvelle de ce qu'il y a de plus remarquable dans la ville de Paris* pour que Germain Brice donne le nom de l'illustre Truchet.

Enfin pour qui connaît un peu la gnomonique, et c'est là la deuxième raison, il faut convenir que ces cadrans semblent être la réalisation d'un connaisseur très averti – on dira un gnomoniste d'une maturité certaine – plutôt que celle d'un jeune mathématicien comme l'était Sébastien Truchet vers 1679. Le calcul des lignes des heures planétaires, d'heures babyloniennes et italiques, d'heures solaires vraies, des nombreuses hyperboles de déclinaison, de courbes indiquant la hauteur du Soleil et de droites d'azimut, la durée du jour et de la nuit, le tout sur des panneaux déclinants dont deux sont orientés Nord-Est : ceci témoigne d'une très grande maîtrise de l'astronomie, des mathématiques et de la gnomonique.

Il est donc raisonnable d'imaginer que le Père Sébastien Truchet a peut être tracé ces cadrans soit vers 1685 (il avait alors 28 ans) soit carrément dans les années 1705-1710, à un âge plus en rapport avec leur savant contenu.

Il est enfin possible que des cadrans solaires aient été installés peu après la construction de l'Hôtel en 1660, et que par la suite, Sébastien Truchet les ait remaniés en les transformant en ce que nous connaissons aujourd'hui.

Les deux panneaux de la face Nord-Est, en plus de comporter des cadrans solaires aux indications très peu courantes, sont ornés de trois sphères armillaires peintes (fig. 3 et 4) qui

³ G. Camus et A. Gotteland, *Les Cadrans solaires de Paris*, éd. CNRS, Paris, 1993, p. 62, pensent que les cadrans « sont antérieurs à 1684 car cités par Germain Brice à cette date ». Cette affirmation est inexacte comme on l'a vu : non seulement G. Brice ne mentionne les cadrans qu'en 1687 et il ne cite le nom de Truchet qu'en 1713.

⁴ « Eloge du P. Sébastien Truchet, carme », *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, 1729, p. 93-101. Fontenelle écrit que le jeune carme commença à étudier la géométrie (pour compléter ses connaissances en mécanique) à 19 ans. Ne perdons pas de vue que les éloges sont rarement fiables en ce qui concerne les dates. Il n'est pas question des cadrans solaires de l'Hôtel Amelot dans cet éloge.

représentent les trois grands systèmes cosmologiques de l'époque⁵ – même si dans la seconde moitié du XVIIe siècle le système de Copernic a triomphé chez les astronomes depuis longtemps –, à savoir le système géocentrique de Ptolémée (la Terre est au centre du Monde et tous les astres tournent autour), le système héliocentrique de Copernic (le Soleil est au centre du Monde et tous les astres tournent autour) et le système géo-héliocentrique de Tycho Brahe (*cf. infra*),



Fig. 3 : Panneau 1 avec son cadran solaire inférieur qui indique les heures planétaires en usage dans l'Antiquité avec en-dessous une sphère armillaire qui représente le système géocentrique de Ptolémée.



Fig. 4 : Panneau 2 qui ne comporte qu'un seul cadran solaire avec en-dessous les deux représentations cosmologiques de Copernic à gauche et de Tycho Brahe à droite.

Il y avait de toute évidence chez le commanditaire de ces cadrans une volonté d'impressionner les visiteurs qui pénétraient dans l'Hôtel et qui découvraient ces magnifiques cadrans solaires peints sur lesquels étaient représentés des systèmes qui avaient été au cœur de débats scientifiques et théologiques au début du XVIIe siècle (fig. 5, 6 et 7).

C'est lors des travaux de rénovation de l'Hôtel que j'ai pu accéder au dernier étage de l'hôtel dans « l'appartement de commodité » de Amelot de Bisseuil, sorte de cabinet de curiosités dont les murs portent des peintures sur bois⁶ magnifiques (datées du XVIIe siècle) : trois de ces peintures, très sophistiquées, sont de toute évidence la source d'inspiration des fameuses représentations cosmologiques exécutées sur les cadrans solaires de la cour.

⁵ Pour une étude approfondie de ces systèmes, voir M. Lerner, *Le Monde des Sphères*, Les Belles Lettres, Paris, 2008. t I : *Genèse et triomphe d'une représentation cosmique*, t. II : *La fin du cosmos classique*.

⁶ N. Courtin, « L'hôtel Amelot de Bisseuil au Marais », *Revue de l'Art*, 1998, n° 122, p. 58 (l'auteur parle « d'astrolabes » peints, ce qui n'est absolument pas le cas). En plus des trois systèmes cosmologiques, on trouve une représentation d'un globe céleste avec les étoiles disposées comme décor (pas de position réelle des étoiles en constellations) et surtout une représentation d'un globe terrestre qui témoigne d'une grande incertitude sur la position géographique de certains continents. Cet élément serait en faveur d'une datation XVIIe siècle.

Lorsque l'on met en parallèle les peintures sur bois et celles des cadrans solaires, la similitude est frappante. Disons quelques mots de ces peintures qui éclairent, me semble-t-il, les orientations astronomiques de leur propriétaire.



Fig. 5 : Détail de la peinture (après réflexion) du système géohéliocentrique de Tycho Brahe représenté sous le cadran solaire du panneau 2.



Fig. 6 : Détail de la peinture (après réflexion) du système héliocentrique de Copernic représenté sous le cadran solaire du panneau 2.



Fig. 7 : Détail de la peinture (avant réflexion) du système géocentrique de Ptolémée représenté sous le cadran solaire du panneau 1.

Celle de Ptolémée (fig. 8) est une sphère armillaire au sens « d'instrument astronomique » par excellence de l'Antiquité ; l'écliptique avec son Soleil symbolise le géocentrisme, car un véritable système aurait nécessité de faire figurer déférents et épicycles des autres astres errants. On y voit les cercles classiques de la sphère céleste locale : le méridien du lieu qui porte l'ensemble, un cercle horaire, l'horizon, l'équateur, les tropiques du Cancer et du Capricorne, les cercles polaires arctiques et antarctiques.

Fig. 8 : Peinture sur bois dans l'Hôtel Amelot de Bisseuil qui représente le système de Ptolémée dans une sphère armillaire. ►



La Terre est représentée au centre, sur l'axe des pôles. De toute évidence, le peintre s'est inspiré d'un instrument

très complet de l'époque, les sphères armillaires étant restées jusqu'au début du XXe siècle des objets de prestige et de pédagogie pour la compréhension de l'astronomie du premier mobile.

Le système de Copernic (fig. 9), publié en 1543 dans le célèbre *De revolutionibus*, est soutenu par une armille réduite au strict minimum, comme suspendu entre haut et bas. Le Soleil central autour duquel le peintre a représenté la Terre à quatre moments remarquables de l'année avec en plus son satellite lunaire est affublé d'une précision : *Orbis Terrae*. On lit également *Circulus aequinoxialis*, détail qui souligne que le peintre a voulu représenter le mouvement de révolution de la Terre avec son axe de rotation incliné. Les cinq planètes sont

symbolisées par leurs signes astrologiques clairement visibles, l'ensemble étant entouré par un zodiaque. Faut-il voir dans la position du Soleil par rapport aux signes zodiacaux une distinction entre astronomie et astrologie ? En effet les représentations traditionnelles des solstices placent le Soleil avec les symboles du Cancer et du Capricorne tandis que les équinoxes sont flanqués des symboles du Bélier et de la Balance. Or la peinture montre un décalage d'un signe (dû à la précession des équinoxes) qui correspond effectivement à la réalité astronomique⁷.

Fig. 9 : Peinture sur bois dans l'Hôtel Amelot de Bisseuil qui représente le système de Copernic dans une sphère armillaire. Les planètes sont figurées par leur symbole zodiacal. ►



Quant au « système » de Tycho Brahe proposé en 1588 dans son *De mundi aetheri rectionibusphaenomenis*, et qui selon Galilée⁸ n'en était pas vraiment un puisque aucune table astronomique n'en avait été déduite, il est, comme celui de Ptolémée, porté en sphère armillaire (fig.10). On retrouve d'ailleurs les mêmes cercles que chez ce dernier mais le peintre a détaillé autour de la Terre portée par l'axe des pôles une mécanique compliquée, où le Soleil tourne autour de la Terre ainsi que trois autres cercles qui semblent porter les planètes Mars, Jupiter et Saturne. Mais on hésite sur le centre de révolution de ces trois astres : est-ce la Terre ou le Soleil ? En toute rigueur, ce doit être la Terre, bien que certains astronomes aient modifié ce système conciliateur en faisant tourner les planètes supérieures autour du Soleil.



Fig. 10 : Peinture sur bois dans l'Hôtel Amelot de Bisseuil qui représente le système de Tycho Brahe dans une sphère armillaire.

Dans les années 1650, certains théologiens tenaient encore une variante du système de Tycho Brahe comme une alternative aux affirmations coperniciennes, condamnées en 1633 lors du procès Galilée.

C'est le cas de Riccioli⁹ par exemple : alors que chez Tycho Brahe, seuls la Lune et le Soleil tournent autour de la Terre, l'ensemble des planètes tournant autour du Soleil, Riccioli imagine un système plus subtil : Mercure, Vénus et Mars tournent autour du Soleil – tout en tournant autour de la Terre –, alors que la Lune, Jupiter et Saturne tournent autour de la Terre.

Le fait de représenter le système de Tycho Brahe sous la même forme un peu désuète de la sphère armillaire comme celui de Ptolémée, tandis que le système de Copernic est peint avec des détails minutieux et comme flottant dans l'espace, est sans doute un indice sur les orientations héliocentriques du commanditaire.

⁷ On aurait pu imaginer que la peinture représente un horoscope héliocentrique avec comme éléments Saturne dans la Balance, Jupiter aux confins du Lion et Mars dans les Gémeaux.

⁸ L'ouvrage qui entraîna la condamnation de Galilée en 1633 s'intitule *Dialogue sur les deux grands systèmes du Monde*, sous-entendu celui de Ptolémée et celui de Copernic.

⁹ Voir le frontispice de G.- B. Riccioli, *Almagestum novum*, 2 vol., Bologne, 1651.

2 – La rénovation des cadrans solaires

Lorsque je fus contacté à l'automne 2015 pour faire une expertise des cadrans solaires de l'Hôtel des Ambassadeurs de Hollande, – que je connaissais de réputation et pour les avoir vus au début des années 1980 avec Robert Sagot –, je pensais que pour les remettre en fonction, il suffirait simplement de déterminer la longueur des gnomons et des styles à partir du tracé existant que je n'avais jamais examiné en détail, même si je savais par l'ouvrage de G. Camus et A. Gotteland que quelques « anomalies » étaient présentes¹⁰. Je fis donc faire un relevé sur papier calque à l'échelle 1 des quatre panneaux et je tentais à partir des tracés de déterminer deux inconnues, à savoir la déclinaison gnomonique adoptée par le constructeur et la longueur des gnomons¹¹. Ce fut peine perdue. Et je dus me rendre à l'évidence : les tracés étaient corrompus à un tel point qu'on ne pouvait plus rien en extraire, même si ça et là subsistait des intersections réalistes de lignes horaires ou des portions d'arcs, mais inexploitablement mathématiquement. On peut donner une possible explication à ce délabrement du tracé : à l'image des manuscrits anciens recopiés plusieurs fois au Moyen Âge, où à chaque fois le copiste introduit une corruption dans le texte voire une erreur plus conséquente, ces cadrans solaires ont dû, en plus de trois siècles, être repeints plusieurs fois par des personnes qui ignoraient tout de la gnomonique, altérant voire modifiant profondément à chaque « rénovation » la cohérence mathématique des lignes et des courbes, tandis que les gnomons se sont affaîsés ou sont tombés, rongés par la rouille. De sorte qu'en ce début de XXI^e siècle, mais c'était au moins déjà le cas dans les années 1970¹², ils étaient devenus de simples décors (fig. 11 et 12).

Mais on ne saurait faire l'impasse sur une autre hypothèse, certes plus audacieuse, mais légitime : ces cadrans solaires ont-ils réellement fonctionné et ne sont-ils pas depuis l'origine, du moins pour certains, qu'un décor savant, une sorte « d'encyclopédie gnomonique » ? Il est très étonnant que les astronomes et mathématiciens du XVIII^e siècle, très épris de cadrans solaires¹³, n'aient fait état dans leurs écrits d'un tel chef d'œuvre.

¹⁰ L'ouvrage de G. Camus et A. Gotteland, *Les Cadrans solaires de Paris*, op. cit., p. 62-66, pour aussi remarquable et utile qu'il soit, doit être dans le cas présent examiné avec beaucoup de circonspection. Les dessins de G. Camus ne représentent pas l'état réel des cadrans solaires, mais ce qu'idéalement ils devraient être, avec en plus des ajouts de lignes qui ne figurent pas sur les cadrans réels. Autrement dit, les dessins sont un tracé moderne et non le témoignage de leur état dans les années 1980 (époque où a été composé l'ouvrage *Les Cadrans solaires de Paris*). L'accès par les échafaudages a permis lors de la restauration de l'hôtel de découvrir des lignes ou des arcs trop effacés pour être visibles depuis le sol et qui ne figurent donc pas sur les dessins de G. Camus. Les auteurs ont fait preuve, d'autre part, d'une grande « indulgence » avec ces cadrans : ils ne relèvent seulement que deux erreurs, sur le cadran d'azimut et de hauteur du panneau 4.

¹¹ Seul le gnomon à œillette (diamètre de 2,5 cm) du cadran d'heures planétaires du panneau 1 était encore en place en 2015 ; mais sa longueur de 18 cm était incompatible avec le reste du tracé du cadran, complètement erroné d'ailleurs. Sur les six cadrans solaires des quatre panneaux, deux fonctionnaient avec un style polaire : il a été possible de récupérer le style fléché du cadran Nord-Est d'heure solaire vraie tombé il y a quelques années et conservé à l'abris. Le cadran à heures italobabyloniennes semblait même n'avoir aucun point d'ancrage d'un quelconque gnomon. Quant aux deux gnomons du double cadran indiquant la durée des jours et des nuits, ce n'était plus que des vestiges rouillés dont les œillettes avaient disparu. Notons que tous les jambages sont ondulés.

¹² Les photos les plus anciennes de ces cadrans ont été prises par Robert Sagot à l'été 1974 ; elles montrent déjà un état de décrépitude inquiétant.

¹³ Citons par exemple Jean-Etienne Montucla, Jean-Baptiste Delambre ou Joseph Jérôme Lefrançois de Lalande, qui se sont beaucoup intéressés à la gnomonique.



Fig. 11 : Photos des cadrans solaires de la face Nord-Est prise par A. Gotteland en juin 1979.



Fig. 12 : Photos des cadrans solaires de la face Sud-Ouest prise par R. Sagot le 15 août 1974 à 9 h 35 m UT.

Sans être exhaustif sur toutes les erreurs de chaque cadran, voici un état des principales anomalies relevées pour chaque cadran :

Panneau n° 1 (fig. 13) :

a) cadran n° 1 bas :

- ligne d'horizon inclinée (heure temporaire 0),
- arcs diurnes hyperboliques trop inclinés dans leur globalité,
- lignes des heures temporaires décalées, intersections entre lignes et arcs diurnes erronées,
- ligne temporaire 4 complètement fausse,
- gnomon encore en place mais tordu et de longueur incompatible avec le reste du tracé,

b) cadran n° 1 haut :

- lignes horaires non convergentes au point d'implantation du style polaire : défaut majeur qui rend le cadran solaire inutilisable,
- style polaire disparu.

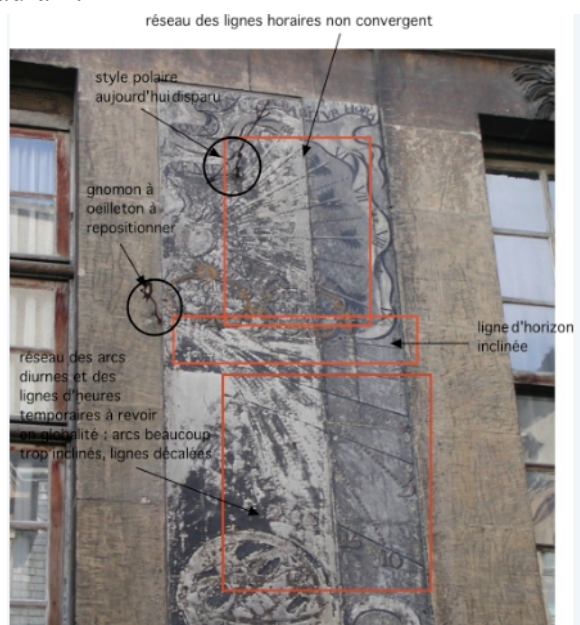


Fig. 13 : Bilan des anomalies des cadrans solaires du panneau 1.

Panneau n° 2 (fig. 14) :

- toute la partie inférieure du cadran est erronée : les intersections entre la ligne IX de temps solaire vrai avec les arcs hyperboliques sont décalées voire fantaisistes,

- intersection fautive entre la babylonique 4 (B4) et la ligne IX h temps solaire vrai,

- l'arc hyperbolique de déclinaison correspondant à $\delta = + 11^\circ, 49$ complètement faux (obliquité de l'écliptique pour 1680 = $23^\circ, 478$)

- ligne italique 14 h (I14) mal positionnée, mal inclinée et intersection fautive avec la ligne de temps solaire vrai VII h,

- intersection entre italique 12 h et VI h de temps solaire vrai fautive ; idem pour la triple intersection I12, VII et B2 ; idem pour triple intersection I11, VI, B1,

- ligne italique 13 h (I13) mal positionnée, mal inclinée,

- gnomon absent,

- signes zodiacaux mal positionnés.

Panneau n° 3 (fig. 15) :

cadran haut et bas :

- cadrans effacés en grande partie,
- la plupart des arcs hyperboliques sont erronés,
- les gnomons ont disparu.

Panneau n° 4 (fig. 16) :

a) cadran du haut :

- style polaire disparu,
- non convergence de certaines lignes horaires,
- lignes horaires extrêmes anormales, notamment IX et VIII.

b) cadran du bas :

- ligne d'azimut 90° ne coïncidant pas verticalement avec la ligne de midi solaire,
- arc hyperbolique d'été chaotique,
- droite des équinoxes trop basse (environ 20 cm) et très mal inclinée,
- intersection de la courbe de hauteur 60° avec vertical d'azimut 60° erronée puis courbe erronée sur le reste de son parcours,
- droite d'azimut 100° Ouest erronée (existence douteuse). Idem droites d'azimuts Est 60° , 70° , 80° .

Globalement, les cadrans situés sur deux panneaux orientés Sud-Ouest comportent moins d'anomalies, pour employer en euphémisme, que les cadrans orientés Nord-Est ; le calcul de ces derniers demande une grande maîtrise et il n'est guère étonnant que l'effacement

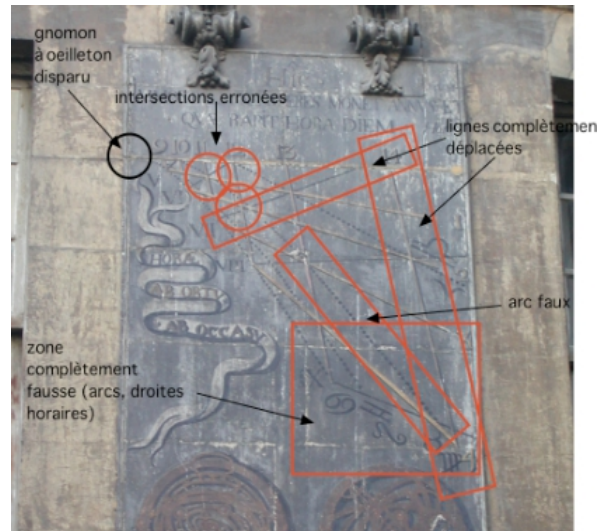


Fig. 14 : Bilan des anomalies des cadrans solaires du panneau 2.

progressif des peintures était plus facile à rectifier par un nouveau calcul pour des cadrans d'orientation classique. Cependant, on en vient à douter, par certains détails, de la compréhension de celui ou de ceux qui se sont occupés des restaurations : autant la cohérence d'une intersection entre lignes italobabyloniennes, lignes de temps solaire vrai et arcs hyperboliques sur un cadran déclinant Nord-Est peut être très complexe pour un néophyte, autant la continuité d'une ligne verticale entre midi solaire et la droite d'azimut correspondant coule de source : or ce n'est pas le cas ici.

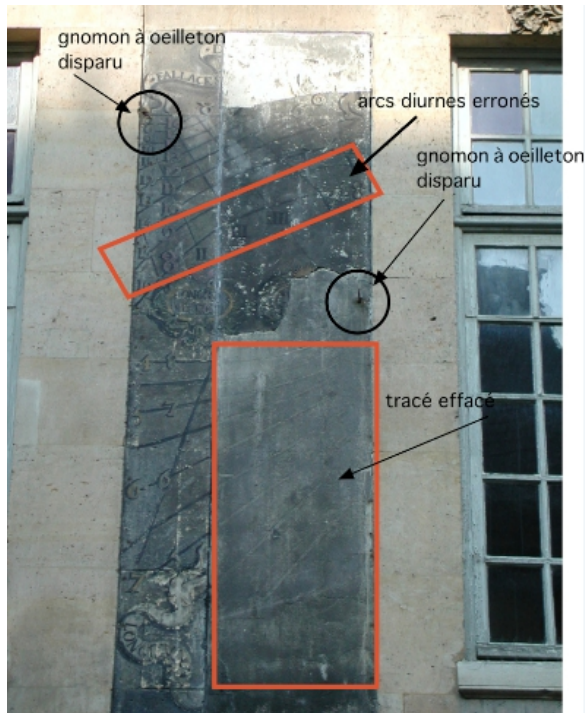


Fig. 15 : Bilan des anomalies des cadrans solaires du panneau 3.

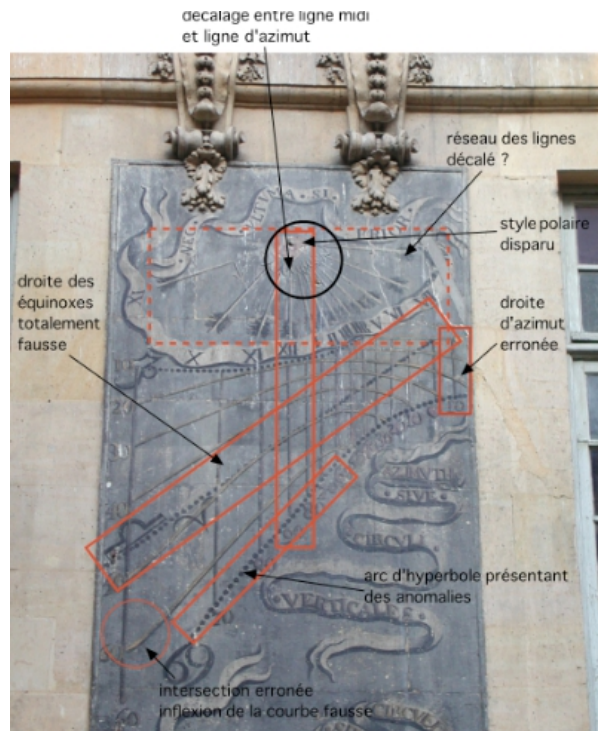


Fig. 16 : Bilan des anomalies des cadrans solaires du panneau 4.

Face à cette situation, il existe deux solutions : la première consiste à conserver strictement le tracé existant, même s'il est complètement faux¹⁴. Dans ce cas, inutile de remettre gnomons et styles, ou alors pour rendre le décor plus réaliste. La deuxième solution, et c'est elle on l'aura compris qui a été choisie ici, est de transformer chaque cadran en une sorte de palimpseste en masquant le tracé à l'aide d'enduits qui préservent l'existant mais qui permettent de redéfinir une surface vierge sur laquelle on va tracer un cadran solaire correct, identique du point de vue pictural à ce qui a été caché (fig. 17 et 18).

¹⁴ Il est dans ce cas toujours très amer de se dire que les cadrans furent très certainement corrects à l'origine mais que par des interventions incompétentes au fil des siècles, on les a rendus erronés. Les cadrans solaires peints ne sont pas que des œuvres d'art où il suffit de ré-hausser les couleurs pour les restaurer : leur tracé obéit à des lois mathématiques rigoureuses qu'il convient de prendre en considération.

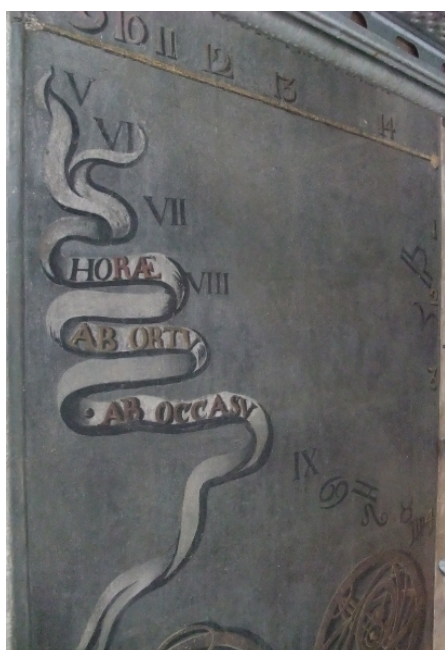


Fig. 17 : Photographie montrant la technique utilisée pour la restauration du cadran du panneau 2 : l'ancien tracé est masqué par une couche protectrice qui laisse apparaître une surface vierge.



Fig. 18 : Même technique pour les deux cadrans du panneau 1 : les anciens tracés sont masqués et préservés. C'est sur une nouvelle surface vierge qu'un tracé moderne va être peint.

Ce choix, arrêté en octobre 2015, posait un problème technique, car les échafaudages de la cour aux cadrans solaires devaient être déposés le 31 décembre de la même année. Or tracer de nouveaux cadrans impliquait de mesurer l'orientation de chaque panneaux très précisément, ce qui était d'une part impossible pour les cadrans de la face Nord-Est qui ne sont pas éclairés à cette période de l'année, et ce qui l'était d'autre part pour la face Sud-Ouest en raison de la hauteur des échafaudages qui empêchaient les rayons solaires de l'atteindre.

Je fis usage d'une solution expéditive mais efficace en demandant à un géomètre de calculer le gisement des cadrans : à l'aide du GPS, on réalise une polygona­tion que l'on raccroche au référentiel en Lambert Zone 1. Puis à l'aide d'un instrument de mesure des surfaces, on obtient l'orientation rapportée au réseau Lambert qu'il faut corriger de ce qu'on appelle la *convergence des méridiens*¹⁵ puisque la déclinaison gnomonique des cadrans est

¹⁵ C'est cette solution que j'ai utilisée pour déterminer l'orientation du cadran solaire du barrage de Castillon et pour le cadran solaire à réflexion de l'INES à Chambéry.

Pour les projections coniques conformes, la convergence des méridiens, notée γ , qui traduit l'écart entre le Nord Lambert et le Nord géographique, se calcule par :

$$\gamma = (\lambda - \lambda_0) \sin \phi$$

où λ est la longitude du méridien du lieu, λ_0 la longitude du méridien origine de la représentation (ici le méridien de Paris pour Lambert Zone 1 d'où $\lambda_0 = 0$) et ϕ la latitude du lieu. Rappelons quelques « subtilités » des conventions de l'IGN (qui travaille en grades) : le méridien origine est celui de Paris et les longitudes sont comptées positivement vers l'Est. L'Hôtel des Ambassadeurs de Hollande ayant une longitude de $-9\text{ m }26\text{ s}$ par rapport au méridien International qui passe par Greenwich, on en déduit que sa longitude depuis le méridien de Paris ($-9\text{ m }21\text{ s}$) en convention IGN vaut $+5$ secondes de temps, soit $+0^\circ 1' 15''$. D'où $\gamma = +0^\circ 1' 15'' \sin 48^\circ 51' 29'' = +0^\circ 0' 56''$. Le gisement fourni par le géomètre étant l'azimut entre le Nord Lambert et l'extrémité Sud-Est d'un cadran, il convient d'apporter quelques corrections pour obtenir la déclinaison

rapportée au Sud géographique.

Il fallu enfin choisir pour chaque cadran une longueur de gnomon compatible avec l'ancien tracé et le décor avoisinant¹⁶ : on superposa pour cela une photo des cadrans et un tracé moderne en faisant varier la longueur du gnomon.

On a donc adopté les paramètres suivants, la latitude du lieu étant de $48^{\circ} 51' 29''$ et la longitude de $2^{\circ} 21' 29''$ E (soit – 9 m 26 s) :

Panneau 1 (470 cm de haut, 99 cm de large) :

- cadran n° 1 bas : déclinaison gnomonique = $- 142^{\circ} 14' 48''$ (cadran aux heures planétaires). Longueur gnomon = 15 cm. Inclinaison de l'œilleton par rapport à la verticale = 40° .

- cadran n° 1 haut : déclinaison gnomonique = $- 142^{\circ} 14' 48''$ (cadran de temps solaire vrai). Longueur du style polaire = 46 cm.

Panneau 2 (471 cm de haut, 153 cm de large) :

- cadran n° 2 : déclinaison gnomonique = $- 142^{\circ} 18' 35''$ (cadran aux heures italo-babyloniennes). Longueur gnomon = 35 cm. Inclinaison de l'œilleton par rapport à la verticale = 40° .

Panneau 3 (470 cm de haut, 99 cm de large) :

- cadran n° 3 haut : déclinaison gnomonique = $+ 37^{\circ} 0'$ (cadran indiquant la durée du jour et de la nuit ainsi que l'heure solaire vraie). Longueur gnomon = 50 cm. Inclinaison de l'œilleton par rapport à la verticale = 45° .

- cadran n° 3 bas : déclinaison gnomonique = $+ 37^{\circ} 0'$ (cadran indiquant la durée du jour et de la nuit ainsi que l'heure solaire vraie). Longueur gnomon = 50 cm. Inclinaison de l'œilleton par rapport à la verticale = $- 45^{\circ}$.

Panneau 4 (471 cm de haut, 153 cm de large) :

- cadran n° 4 : déclinaison gnomonique = $+ 36^{\circ} 46'$ (cadran indiquant l'azimut et la hauteur du Soleil ainsi que l'heure solaire vraie). Longueur du style polaire = 64 cm. Style terminé par un œilleton distant de 34 cm du mur.

Notons une particularité intéressante : l'orientation des deux panneaux Nord-Est de la cour de l'hôtel fait qu'ils sont, en théorie, éclairés toute l'année le matin dès le lever du Soleil jusqu'au passage de l'astre du jour dans le plan du mur. Autrement dit, le mur sur lequel ils sont posés est orienté à très peu de choses (moins d'un demi-degré) dans la direction du lever du Soleil au solstice d'hiver. L'heure la plus précoce indiquée par les cadrans de cette face est donc 4 h 01 m et l'heure la plus tardive 10 h 04 m (en fait l'éventail horaire a été limité à 9 h par leur constructeur). Il va de soi que la construction, en face du 47 rue Vieille-du-Temple, d'un immeuble, a réduit considérablement le temps d'éclairage de la face Nord-Est.

gnomonique dans le référentiel astronomique. Par exemple pour le cadran n°1, on a : azimut Lambert = $141,930$ grades, soit $141,948$ grades par rapport au Nord géographique, soit finalement un azimut entre la perpendiculaire au plan du cadran compté depuis le Sud géographique de $- 142^{\circ} 14' 48''$.

¹⁶ Le diamètre de tous les œilletons (étoilés) est de 2,5 cm, valeur mesurée sur le dernier œilleton encore en place. Chaque œilleton est incliné de façon à ce que la tache de lumière soit optimale (le moins de déformation possible) en été entre 8 h et 9 h solaire pour les cadrans Nord-Est et vers le milieu de la matinée ou de l'après-midi en été pour le cadran n° 3.

Aujourd'hui, les heures précoces du matin des cadrans n° 1 et n° 2 ne sont plus jamais atteintes par les rayons solaires.

En ce qui concerne l'orientation des panneaux Sud-Ouest de la cour, pratiquement parallèles à ceux du Nord-Est, ils présentent la même particularité : le mur sur lequel ils sont posés est orienté dans la direction du coucher du Soleil au solstice d'été. L'heure la plus précoce d'éclairement (théorique) correspond au lever du Soleil au solstice d'hiver (7 h 58 m) et l'heure la plus tardive au coucher du Soleil le 21 juin (19 h 58 m), valeurs que l'on arrondit évidemment à 8 h et 20 h. Là aussi, l'urbanisme moderne de la rue Vieille-du-Temple empêche aujourd'hui les panneaux d'être éclairés aux premières heures.

Le calcul des points en coordonnées rectangulaires n'a pas posé de problèmes particuliers¹⁷ ; beaucoup plus fastidieux a été de reporter les centaines de points des tracés modernes de chaque cadran sur un calque à l'échelle 1. Aucune ligne ou arc supplémentaire n'a été ajouté au tracé existant. Certaines lignes comportent deux couleurs car deux options se présentaient :

a) le tracé « astronomique » sépare le trait coloré (ocre ou rouge) du trait noir (qui symbolise l'ombre de la ligne horaire).

b) le tracé « astronomique » est centré dans le trait coloré.

C'est ce deuxième choix qui a été fait, le noir étant l'ombre du rouge ou de l'ocre dans le tracé qui nous est parvenu.

Les calques ont été transformés en poncifs en y faisant des nombreux petits trous puis calés sur leur support en vérifiant la parfaite horizontalité ou verticalité des repères (fig. 19 et 20). Deux artistes spécialistes des fresques ont alors reporté sur les surfaces les points puis ont peint chaque cadran en respectant les codes couleurs (*cf. infra*) des anciens cadrans, désormais masqués (fig. 21).



Fig. 19 : Un calque à l'échelle 1 sur lequel on a tracé les lignes et les arcs calculés de façon correcte est positionné sur le cadran à l'aide d'un niveau à laser.



Fig. 20 : Le tracé du calque est percé de trous et prend le nom de poncif. Celui-ci est alors placé sur la surface vierge du cadran ; puis une poudre est appliquée en tamponnant sur le poncif et en entrant par les trous, la poudre de couleur va marquer la surface qui sera peinte à la main.

Voyons quelques détails de chaque cadran. Rappelons que de part leur orienta -

¹⁷ Le calcul des lignes horaires d'heures solaires vraies, d'heures temporaires, d'heures italiques, d'heures babyloniennes, des arcs diurnes, des droites d'azimut et des cercles de hauteur, les heures limites et le calcul des paramètres d'implantation des styles et des gnomons s'est effectué à partir des formules données par D. Savoie, *La Gnomonique*, Les Belles Lettres, Paris, 2007. L'obliquité adoptée est de 23°,4333.

tion contraignante, les panneaux 1 et 2 ne peuvent donner des indications que le matin et au maximum jusqu'à 10 h solaire¹⁸. Tandis que les panneaux 3 et 4, orientés Sud-Ouest, peuvent donner des indications jusqu'au coucher (théorique) du Soleil.

Le panneau 1 comporte deux cadrans (fig. 22) ; le cadran du haut est un classique d'heure solaire vraie¹⁹, gradué par des lignes fléchées de 4 h du matin à 9 h. A partir de la ligne 6, les demi-heures sont indiquées en pointillés. Les lignes convergent vers un cœur que l'on retrouve sur d'autres cadrans²⁰ car il faisait partie des armes de Amelot de Bisseuil. L'heure est indiquée par l'ombre d'un style polaire fléché, qui ne perce pas la surface, en recouvrant successivement les lignes horaires (fig. 23).

Fig. 21 :
Photographie
montrant l'artiste-
peintre spécialiste en
restauration
retouchant le cadran
solaire du panneau 2.



◀ Fig. 22 : Panneau 1 terminé avec son tracé moderne et son style et son gnomon installés.

▲ Fig. 23 : Détail de l'ombre du style polaire du cadran de temps solaire vrai du panneau 1 qui s'aligne parfaitement sur la ligne horaire 6 h 30 m le 20 avril 2016.

¹⁸ La construction d'une maison haute rue Vieille du Temple, juste en face de l'Hôtel des Ambassadeurs de Hollande, a pour conséquence d'accentuer la limitation de l'éclaircement, de façon considérable.

¹⁹ Il s'agit en toute rigueur du temps solaire vrai local de l'Hôtel Amelot de Bisseuil.

²⁰ Sur les autres cadrans solaires, le cœur remplace le chiffre zéro.

Le cadran du bas indique les heures temporaires (appelées ici heures planétaires²¹), de 0 (ligne d'horizon qui correspond au lever du Soleil, non chiffrée) à 4 h. Sept arcs diurnes tracés en pointillés rouges ponctuent l'éventail horaire (fig. 24). Ils indiquent la déclinaison du Soleil depuis -5° à $+20^\circ$, de 5° en 5° , avec en plus l'arc du solstice d'été (21 juin) qui correspond à la déclinaison $23^\circ,4333$. La droite des équinoxes (déclinaison nulle, 20 mars et 22 septembre) est symbolisée par un cœur. Les dates moyennes où la déclinaison atteint les valeurs indiquées sont :

- $\delta = -5^\circ$: 7 mars et 6 octobre
- $\delta = +5^\circ$: 2 avril et 9 septembre
- $\delta = +10^\circ$: 16 avril et 26 août
- $\delta = +15^\circ$: 1^{er} mai et 11 août
- $\delta = +20^\circ$: 20 mai et 22 juillet



Fig. 24 : Détail de la tache de lumière projetée par l'ocilleton du cadran d'heures planétaires du panneau 1 le 20 avril 2016.

Les heures antiques, comme la déclinaison du Soleil, sont indiquées par la tache de lumière que projette l'ocilleton positionné à l'extrémité du gnomon de l'angle supérieur gauche du cadran. Deux cartouches précisent « *Solis declinans* » et « *Hora planetariae* ». Ajoutons que ce genre de tracé est tout à fait exceptionnel au XVII^e siècle, les heures temporaires étant depuis longtemps abandonnées.

Cette « restauration » d'une survivance d'une heure en usage dans toute l'Antiquité et le Moyen Age témoigne chez l'ordonnateur du cadran d'une volonté de rappeler les origines et les façons de compter le temps chez les Anciens. Il est donc logique que ce soit sous ce cadran que soit peinte la sphère armillaire de Ptolémée, le plus grand astronome de l'Antiquité (II^e siècle ap. J.C.).

On passe de l'heure temporaire T à l'heure solaire vraie H par :

$$H = [(T - 6)/6](H_0/15) + 12 \text{ h}$$

où H_0 est l'arc semi diurne calculé par :

$$\cos H_0 = -\text{tg } \phi \text{ tg } \delta$$

Une devise orne le haut du panneau : *VENIET QVAE NON SPERABITVR HORA* (elle sera la bienvenue l'heure que l'on n'aura pas espérée, Horace, *Epîtres*, IV, 14).



Fig. 25 : Panneau 2 terminé avec son tracé moderne et son gnomon étoilé.

²¹ Sur ces appellations d'heures planétaires confondues avec les heures temporaires, voir D. Savoie, *Recherches sur les cadrans solaires*, Brépols, Turnhout, 2014, p. 128-139.

Le panneau 2 comporte un seul cadran solaire fonctionnant avec la tache de lumière projetée par un œilleton qui termine un gnomon situé dans le coin supérieur gauche (fig. 25). Il permet de lire trois types d'heures : les heures solaires vraies qui sont indiquées en chiffres romains noirs de V h à IX h par un trait noir. Les heures babyloniennes qui sont indiquées en chiffres arabes ocres de 1 h à 4 h par un trait ocre, un cœur indiquant la babylonienne 0 (ligne d'horizon qui correspond au lever du Soleil). Enfin les heures italiques qui sont indiquées en chiffres arabes rouges de 9 h à 14 h par un trait rouge.

Quatre arcs diurnes en pointillés noirs figurent également, dont la droite des équinoxes symbolisée par les deux signes zodiacaux du Bélier et de la Balance. Les lignes horaires prennent naissance sur l'arc hyperbolique du solstice d'été muni du signe zodiacal du Cancer. Les deux autres arcs hyperboliques correspondent à l'entrée du Soleil dans les signes du zodiaque représentés par leur symbole²² :

20 avril (Taureau) et 23 août (Vierge)
21 mai (Gémeaux) et 23 juillet (Lion)

Rappelons que les heures babyloniennes indiquent depuis combien de temps le Soleil est levé tandis que les heures italiques (principalement en usage en Italie jusqu'au XIXe siècle) indiquent le nombre d'heures écoulées depuis le précédent coucher de Soleil ; mais elles servent par une simple soustraction à savoir dans combien de temps va se coucher l'astre du jour. Un petit calcul permet à l'observateur de déduire « l'éphéméride » journalière. Par exemple si le 20 mars lors de l'équinoxe de printemps, la tache de lumière indique VII, il est donc 7 h du matin en temps solaire vrai ; comme on se trouve à l'intersection de deux autres lignes, on lit qu'il est 1 h babylonienne et 13 h italique. Autrement dit, le Soleil est levé depuis 1 h (ce qui est logique puisqu'aux équinoxes le Soleil se lève à 6 h) ; comme la veille il s'est couché pratiquement à 18 h, il s'est bien écoulé 13 h depuis le précédent coucher ; on conclut aussi que la nuit a duré 12 heures, ce qui est justement le cas aux équinoxes. Enfin on n'oubliera pas que le coucher du Soleil correspondant toujours à 24 h italiques, on déduit que s'il est 13 h, le Soleil se couche dans 11 h.

On passe de l'heure italique *I* ou de l'heure babylonienne *B* à l'heure solaire vraie *H* (que l'on peut ensuite transformer en temps légal en ajoutant l'équation du temps, la longitude du lieu et l'avance sur le Temps Universel) par :

$$H = I + (H_0/15) - 12 \text{ h}$$

$$H = B - (H_0/15) + 12 \text{ h}$$

où H_0 est l'arc semi diurne (*cf. supra*).

Un phylactère porte les indications respectant le code couleur des lignes : *Horae ab ortu - ab occasu*, c'est-à-dire « heures [comptées] depuis le lever [du Soleil] - depuis le coucher » : en ocre les heures *ab ortu* et en rouge les heures *ab occasu*.

Une devise orne le haut du panneau : *HIC IMMORTALIA NE SPERES MONET ANNUS NVM ETQUAE RAPIT HORA DIEM* (N'espère pas l'immortalité : l'année qui fuit t'en avertit ainsi que l'heure qui entraîne tes beaux jours).

En fin le bas du panneau est lui aussi orné d'une devise : *IN VANO QVAERIS NUNC SYS HORAE ERRAT HOTA TIMENS VITAE*

²² Soit une déclinaison du Soleil respectivement de + 11°,4692 et + 20°,1453.

Le panneau 3 contient deux cadrans solaires complémentaires (fig. 26) qui donnent le temps solaire vrai : celui du haut fonctionne l'après-midi de 2 h [14 h] à 6 h [18 h] (chiffres romains en noir) et celui du bas fonctionne le matin de 11 h à 14 h (chiffres romains en noir). Chaque cadran a son gnomon terminé par un œilleton.

Ces deux cadrans sont munis chacun de neuf arcs diurnes, les deux arcs extrêmes étant ceux des solstices. Plusieurs indications figurent latéralement : sur le cadran du bas, à gauche, on lit respectivement l'heure de lever en ocre puis de coucher en rouge du Soleil ; à droite du cadran, on lit respectivement la durée du jour en ocre et la durée de la nuit en rouge.

Sur le cadran du haut, on retrouve les mêmes indications mais positionnées différemment : à gauche on lit respectivement la durée du jour en ocre puis la durée de la nuit en rouge ; à droite du cadran on lit l'heure de lever en ocre et de coucher du Soleil en rouge.

Le calcul des arcs diurnes repose sur une séquence jour/nuit du type 16/8, 15/9, 14/10, etc. Ce qui revient à chercher la déclinaison du Soleil correspondant à une durée du jour précise²³.

On a donc tracé les arcs pour les valeurs suivantes (latitude = 48° 51' 29'') :



Fig. 26 : Panneau 3 terminé avec son tracé moderne et ses deux gnomons étoilés installés. ►

16/8 : $\delta = + 23^{\circ},4333$	lever 4 h	coucher 8 h [20 h]
15/9 : $\delta = + 18^{\circ},4864$		
14/10 : $\delta = + 12^{\circ},7411$	lever 5 h	coucher 7 h [19 h]
13/11 : $\delta = + 6^{\circ},5056$		
12/12 : $\delta = 0^{\circ}$	lever 6 h	coucher 6 h [18 h]
11/13 : $\delta = - 6^{\circ},5056$		
10/14 : $\delta = - 12^{\circ},7411$	lever 7 h	coucher 5 h [17 h]
9/15 : $\delta = - 18^{\circ},4864$		

²³ En appelant D la durée du jour exprimée en heures, on obtient la déclinaison δ du Soleil par :

$$\text{tg } \delta = - \cos H_0 / \text{tg } \phi$$

où ϕ est la latitude du lieu et H_0 l'arc semi diurne tel que $H_0 = (15 \times D)/2$. Comme toujours en gnomonique, il s'agit de la durée du jour calculée pour le centre du Soleil non réfracté avec une déclinaison constante. Notons qu'en prenant $D = 16$ h, on obtient $\delta = 23^{\circ},5974$ (de même qu'en prenant $D = 8$ h on obtient $\delta = - 23^{\circ},5974$). Ces valeurs dépassant l'obliquité de l'écliptique, on a pris $\delta = \pm 23^{\circ},4333$, produisant ainsi un écart de ± 2 minutes dans la durée du jour aux solstices.

8/16 : $\delta = -23^{\circ},4333$

lever 8 h

coucher 4 h [16 h]

Les heures de lever et coucher ne sont pas données pour tous les arcs : seules celles qui correspondent à des heures rondes sont peintes. Si l'on calcule par exemple l'heure de lever et de coucher pour 15/9, on obtient : lever 4 h 30 m et coucher 7 h 30 m [19 h 30 m].

Le haut du panneau est orné de la devise : *FALLACES DENOTAT ANNOS* (elle révèle les années trompeuses).

Entre les deux cadrans sont peintes deux inscriptions incertaines : *LONGIT DIE NOCT* et *HORAE DIE NOCT*.

Le quatrième et dernier panneau contient un seul cadran mais son style polaire terminé par un œilleton permet une double utilisation (fig. 27 & 28). La partie haute est un cadran classique qui indique l'heure solaire vraie : les lignes horaires convergent vers le pied du style polaire (soutenu par un jambage) implanté au milieu d'un cœur rouge. Sous le phylactère où est inscrit *NEC VLTIMA SI PRIOR* (ce n'est pas la dernière tant qu'elle en précède une autre), l'éventail horaire en chiffres romains s'étend de 9 h à 8 h [20 h]. C'est ici l'ombre du style qui en recouvrant les lignes indique l'heure.

La tache de lumière projetée par l'œilleton parcourt en dessous du cadran précédent un réseau original de courbes et de droites verticales limité par les deux arcs hyperboliques des solstices (hiver en haut, été en bas) en pointillés noirs. La droite des équinoxes, également en pointillés noirs, monte de la gauche vers la droite pour aboutir à l'intersection d'une droite verticale surmontée d'un cœur. Des symboles zodiacaux permettent d'identifier les arcs : symbole du Cancer pour l'arc du 21 juin, symboles du Bélier et de la Balance pour les 20 mars et 22 septembre, et enfin symbole du Capricorne pour l'arc du 21 décembre.

Entre ces repères calendaires, on a tracé des courbes ocre et noires qui indiquent la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon au cours de la journée.

Ces courbes sont coupées par des droites rouges et noires qui indiquent l'azimut du Soleil²⁴, c'est-à-dire sa direction soit depuis le point cardinal Ouest (symbolisé par un cœur à droite du cadran), soit depuis le point cardinal Est. A midi solaire, l'azimut vaut 90° : le Soleil est à mi-chemin entre les directions Est et Ouest et se trouve donc dans la direction du Sud géographique. C'est également à cet instant qu'il atteint sa plus grande hauteur au-dessus de l'horizon : à l'Hôtel des Ambassadeurs de Hollande, cette hauteur méridienne vaut $64^{\circ} 34'$ le



Fig. 27 : Panneau 4 terminé avec son tracé moderne et son style polaire installé.

²⁴ En astronomie moderne, l'azimut du Soleil est compté depuis la direction du Sud géographique, qui correspond donc ici à 90° . L'azimut du point Est vaut -90° et l'azimut du point Ouest $+90^{\circ}$.

21 juin. A un instant donné, les indications astronomiques de ce cadran permettent d'avoir des informations sur la position du Soleil par rapport à l'horizon : à quelle heure passe t-il dans la direction de l'Ouest, quelle est sa hauteur à midi le jour du solstice d'hiver, etc.

Un phylactère sous le tracé précise : *AZIMUTHS SIVE CIRCULI VERTICALES* en rouge et *ALMVCANTARATHS SIVE CIRCULI PARALLELI* en ocre, les almucantarats étant le nom donné aux cercles de hauteur.

De tels renseignements sont rarement fournis par les cadrans solaires, qui montrent ici qu'ils peuvent être aussi riches en informations que les astrolabes planisphériques. C'est une leçon de cosmographie grande nature que nous offre cet ensemble de panneaux exceptionnels. Exceptionnels par leur beauté et leurs couleurs, par leur agencement délicat où se mêlent des devises latines et des représentations cosmologiques. Exceptionnels enfin par leur très savant contenu, qui épuise presque le champ de ce qu'un cadran solaire peut indiquer.



Fig. 28 : Détail du cadran solaire du panneau 4 où l'ombre du style polaire indique 13 h solaire et où la tache de lumière projetée par l'oeilleton indique une hauteur du Soleil de 50° au-dessus de l'horizon et un azimut d'environ 67° (soit 23° de façon moderne).

L'ensemble des restaurations extérieures de l'hôtel des Ambassadeurs de Hollande s'est faite sous la houlette éclairée de Jean-François Lagneau, architecte en chef et inspecteur général des monuments historiques. Les travaux de restauration ont été effectués sous la direction de l'entreprise Degaine. La réfection des cadrans solaires a été conduite par la société Arcoa, spécialiste en restauration et conservation d'objets d'art. Les gnomons et les styles ont été forgés par la maison Esnault, en Vendée, spécialiste en ferronnerie²⁵.

Je remercie Marc Goutaudier pour son aide efficace dans la vérification des données et la détermination de la longueur des gnomons avec Pov-ray. Un grand merci également à l'équipe d'Arcoa dirigée par Jean-Sylvain Fourquet, et spécialement à Amparo Bartolome et Pascal Rouanet pour leur superbe travail.

²⁵ J'ai réalisé la pose des gnomons et des styles les 20 et 21 avril 2016, sous un Soleil radieux. Ce fut une opération difficile et très délicate : j'ai vérifié notamment que l'ombre des deux styles polaires recouvrait parfaitement les lignes horaires à la minute près, sans les cisailer. Quant aux gnomons munis d'oeilletons, leur pose fut particulièrement mal aisée en raison de leur longueur ondulée et de la difficulté de leur scellement.



Pseudo-cadran chinois portable

Denis Savoie

Etude gnomonique jamais réalisée à ce jour concernant les cadrans solaires chinois portables avec boussole. Quelle précision peut-on attendre de ces « Seasonal inclining dial » ?.

On trouve dans certains musées, comme au *National Maritime Museum de Greenwich*, ou en vente dans des boutiques pour les touristes en Chine, ce qui est présenté comme étant des « cadrans solaires portables inclinés en fonction de la saison » pour résumer l'expression *Seasonal*



Fig.1

inclining dial. Ces cadrans de dimensions modestes (fig. 1), généralement fabriqués en bois, ont fait l'objet de quelques études¹ mais aucune ne s'est attachée à les étudier d'un point de vue gnomonique, ce que l'on propose de faire ici. Qui plus est, aucune étude n'a étudié la précision que l'on pouvait attendre de ces « cadrans » portables.

L'objet se divise en deux parties : une table horaire, mobile en inclinaison, est munie d'un gnomon perpendiculaire rabattable ; au dos, une lamelle permet de régler l'inclinaison sur une échelle des dates (fig. 2). Cette dernière est solidaire d'une boussole située dans le prolongement. L'inclinaison² de la table horaire varie de $90^\circ \pm 1^\circ$ à $34^\circ \pm 1^\circ$.

¹ En français, on consultera avec profit l'article de J. Vialle, « Diptyques chinois particuliers », *Cadran Info* n° 18, octobre 2008, p. 114-116, dont de nombreuses informations sont issues de l'article le plus complet sur ces « cadrans » : K. Takada, « Sundials of the far east », publié dans H. Higton, *Sundials at Greenwich*, Oxford University Press and the National Maritime Museum, 2002, p. 7-13.

Il semble que ces « cadrans » avec boussole soient produits au moins depuis le XIX^e siècle en Chine dans le sud de la province de Anhui, dans le xian de Xiuning, dont la latitude est $29^\circ 47'$.

Le grand historien J. Needham, dans le chapitre *Portable equinoctial dial-compasses*, appelle ces cadrans « type B » mais il semble s'être mépris sur leur fonctionnement, pensant que la table horaire du cadran s'inclinait en fonction de la latitude, à la façon d'un cadran équatorial : *Science and civilisation in China*, vol. 3, Cambridge University Press, 1959, p. 310-311.

L'article de E. Proverbio et G. Bertuccioli, « On a singular chinese portable sundial », *Nuncius*, 1986, p. 47-58, traite surtout du cadran du musée de Cagliari (qui est un diptyque classique) et de l'aspect divinatoire lié à la boussole qui l'accompagne.

A première vue, on prend l'objet pour un cadran équatorial où la lamelle permet un réglage en fonction de la latitude et où seule la face supérieure Nord est utilisable (soit 6 mois par an) puisque la face inférieure n'est pas graduée (fig. 3). La boussole joue ici le rôle d'indicateur de la direction du Nord.



Fig. 2

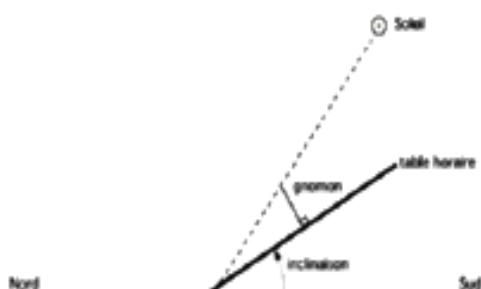


Fig. 3

En fait, et c'est tout à fait essentiel, l'échelle de 13 crans où se cale la lamelle est graduée en fonction de la date (et non de la latitude), donc de la déclinaison du Soleil : l'inclinaison minimale de 34° correspond au solstice d'hiver, l'inclinaison à 90° correspond au solstice d'été et l'inclinaison 67° correspond aux équinoxes³.

Quant à la face horaire, elle est graduée en heures équinoxiales, donc avec des angles tabulaires de 15° . Cette face peut contenir trois ou quatre cercles concentriques (fig. 4). Le premier contient les noms des douze heures doubles dont se compose le jour chinois (nuit comprise). On peut trouver dans les cercles adjacents une autre façon de nommer les heures en langue chinoise moderne ; la division des heures doubles en heures simples ; et enfin une division de ces heures en quatre parties.

Plusieurs questions se posent : quelle erreur dans la lecture de l'heure commet-on en inclinant cette table équatoriale en fonction de la date ? Cette erreur dépend-elle de la latitude du lieu ? Le « cadran » doit-il être orienté vers le Nord ou vers le Sud pour que l'erreur soit la plus faible ? Que penser des « cadrans » associés avec double orientation, voire des triptyques où quatre « cadrans » sont scellés autour d'une boussole centrale ?

2 Les valeurs de l'inclinaison données ici sont issues de mesures faites par l'auteur avec un rapporteur et par trigonométrie sur un véritable exemplaire. Par inclinaison, on entend la distance zénithale du gnomon : 0° signifie que le gnomon pointe le zénith. Cela revient à considérer l'inclinaison de la table par rapport à l'horizon.

3 Les descriptions des pseudo-cadrans données dans le catalogue publié par H. Higton, *Sundials at Greenwich*, *op. cit.*, p. 376-378, sont très sommaires sur un élément essentiel : l'échelle des dates. Sur la division de l'année chinoise qui va du solstice d'hiver au solstice d'été, et sur le calendrier chinois en général, voir l'ouvrage fondamental de J.-C. Martzloff, *Le calendrier chinois : structure et calculs (104 av. J. C. – 1644)*, Paris, Honoré Champion, 2009, notamment p. 62 sur la durée du jour.

L'aspect « équatorial » de l'objet laisse spontanément penser que l'on doit l'orienter vers le Nord. Or la question de son orientation vers le Sud est légitime après analyse de l'éclairage⁴.

On appellera dans ce qui suit ϕ la latitude du lieu, D la déclinaison gnomonique de la face horaire, z l'inclinaison de

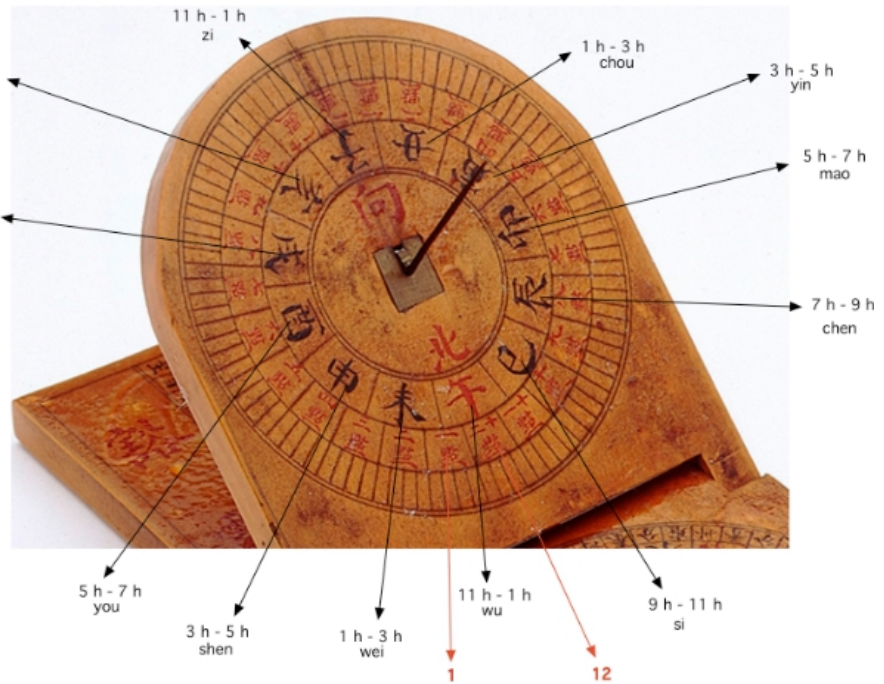


Fig. 4

cette même face, δ la déclinaison du Soleil et H son angle horaire.

a) Pseudo-cadran orienté vers le Nord ($D = 180^\circ$)

Remarquons tout d'abord qu'avec une inclinaison minimale de 34° au solstice d'hiver ($\delta = -23^\circ,44$), la face horaire ne peut être éclairée (dans l'hémisphère Nord et depuis l'équateur) à midi que jusqu'à une latitude $\phi = 90^\circ - 23^\circ,44 - 34^\circ = 32^\circ,56$. Il s'agit là de l'éclairage uniquement à midi : pour toute latitude supérieure à $32^\circ,56$, la face Nord est toujours dans l'ombre (c'est le cas à Pékin par exemple où $\phi = 39^\circ 55'$). En se rapprochant de l'équateur par contre, la durée d'éclairage augmente : par exemple à Hong Kong ($\phi = 22^\circ 17'$), la face Nord est éclairée de 9 h à 15 h (en fait de 8 h 44 m à 15 h 16 m).

Avec une inclinaison maximale de 90° au solstice d'été ($\delta = +23^\circ,44$), au nord du tropique du Cancer ($\phi = +23^\circ,44$), la face Nord est éclairée partiellement et n'indique jamais midi. Par exemple à Pékin où $\phi = 39^\circ 55'$, l'éclairage du matin commence au lever du Soleil à 4 h 35 m et finit à 8 h 5 m pour reprendre de 15 h 55 m à 19 h 25 m au coucher du Soleil. Donc sur une durée du jour de 14 h 50 m, la face Nord n'est éclairée que quasiment 7 h dans la journée.

Par contre à Hong Kong, ville située sous le tropique, la situation est meilleure puisque la face Nord verticale est éclairée de 5 h 19 m à 18 h 41 m. Mais dès que la déclinaison du Soleil est inférieure à la latitude du lieu, le cadran cesse d'indiquer midi solaire.

Aux équinoxes ($\delta = 0^\circ$), l'inclinaison de la face Nord est de 67° , ce qui est énorme. A Pékin, le cadran n'est pas du tout éclairé. L'éclairage commence timidement le lendemain de

⁴ D'autant plus que l'on trouve des modèles où il y a deux cadrans accolés, un regardant vers le Nord, un autre vers le Sud.

l'équinoxe aux heures extrêmes. D'un point de vue général, il faut être placé légèrement sous le tropique du Cancer pour que la face soit éclairée aux équinoxes.

A la latitude de 29° 47', lieu « historique » de production de ces objets, la face Nord n'est jamais éclairée aux équinoxes (il faudrait une inclinaison de 60° au lieu de 67°). Au solstice d'hiver, la face est éclairée de 10 h à 14 h (alors qu'elle pourrait l'être de 7 h à 17 h). Au solstice d'été, la face Nord est éclairée le matin du lever du Soleil à 5 h jusqu'à 9 h 17 m puis l'éclairement reprend à 14 h 43 m jusqu'au coucher du Soleil à 19 h quasiment.

On vérifie donc, par une simple analyse des conditions d'éclairement de la face Nord, qu'elle est très loin d'être optimale pour un fonctionnement annuel et quotidien, à moins de se trouver dans l'extrême Sud de la Chine. Il est totalement aberrant qu'en été le pseudo-cadran soit inopérant plusieurs heures aux alentours de midi puisque toujours dans l'ombre !

A un instant donné, en considérant que le cadran est correctement orienté vers le Nord géographique⁵ et qu'il est éclairé, le gnomon projette une ombre sur la table horaire divisée en angles de 15°. Ne pointant pas vers le pôle céleste Nord puisque incliné en fonction de la date au lieu de la latitude, on cherche à déterminer ce que vaut l'angle fautif F par rapport à l'angle horaire H que le cadran devrait théoriquement indiquer.

On obtient F directement en trigonométrie sphérique en considérant que le pseudo-cadran est déplacé en latitude⁶ (fig. 5) : au lieu que le gnomon pointe sur le méridien local le pôle céleste Nord P pour lequel il est tracé ($\phi = 90^\circ$), il pointe un autre point de la sphère céleste P' tel que $PP' = 90^\circ - \phi - z = \Delta\phi$.

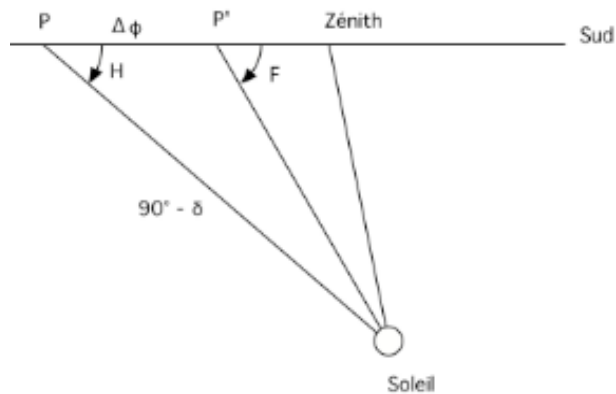


Fig. 5

On a :

$$\operatorname{tg}|F| = \frac{\sin H}{\cos H \cos \Delta\phi - \sin \Delta\phi \operatorname{tg} \delta} \quad F \text{ étant du même signe que } H$$

d'où $\Delta H = H - F$

⁵ Il est peu probable que l'orientation soit correcte puisque la boussole est sensible aux masses métalliques voisines ; il faudrait aussi corriger la direction indiquée de la déclinaison magnétique qui varie lentement au fil des années .

⁶ Voir D. Savoie, *La Gnomonique*, Les Belles Lettres, Paris, 2007, chap. XXIV.

L'examen de cette formule permet de prévoir quel va être le comportement de l'erreur. Le numérateur étant nul à midi solaire, il en sera toujours de même pour l'erreur, quelle que soit la date. Donc au voisinage du méridien, l'erreur de lecture sur le cadran est faible.

L'erreur est également faible si $\Delta\phi$ est petit, car dans ce cas le terme $(\cos H \cos \Delta\phi) \approx \cos H$. Si en plus la déclinaison du Soleil est petite (voisinage des équinoxes), le terme $(\sin \Delta\phi \operatorname{tg} \delta) \approx 0$, de sorte que $F = \operatorname{tg} H$.

Il est facile de voir que plus $\Delta\phi$ sera grand, plus l'écart entre l'angle fautif lu et l'angle horaire réel du Soleil sera important.

A 20° de latitude, c'est au voisinage des équinoxes que l'erreur est la plus petite et c'est au solstice d'été qu'elle est la plus importante (fig. 6), notamment aux heures extrêmes (non loin de 40 minutes)⁷. L'erreur de lecture au solstice d'hiver est sensiblement la même qu'en été, mais le Soleil se couchant plus tôt, l'erreur extrême n'est que de 20 minutes. Les erreurs augmentent alors avec la latitude.

Face à ces problèmes d'éclaircissement, l'utilisateur non averti est tenté d'incliner la table de façon qu'on puisse y voir l'ombre du gnomon. Si l'utilisateur se trompe aux équinoxes par exemple (fig. 7), en inclinant la table comme en hiver (34° au lieu de 67°), l'erreur devient immédiatement importante, nettement moins cependant qu'en laissant le cran hiver alors qu'on est en été, puisque l'erreur atteint alors presque 1,5 heures !

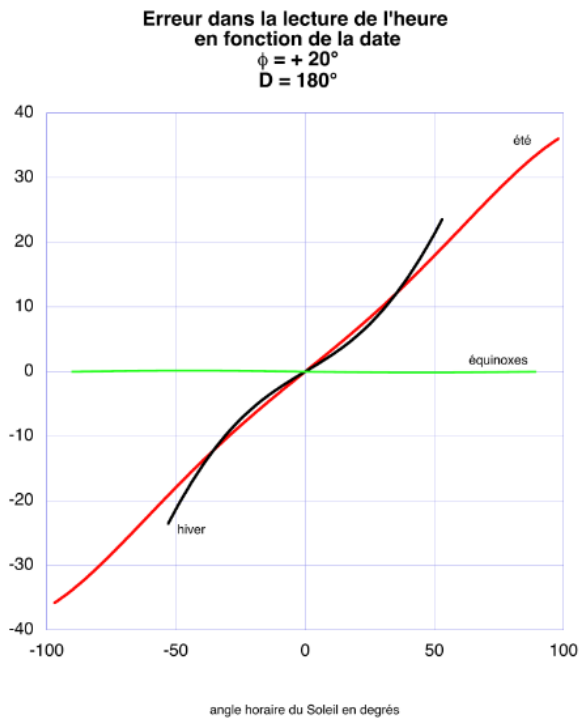


Fig. 6

On peut aussi imaginer que l'utilisateur situé à Pékin en été, constatant que la face n'est pas éclairée, décide d'incliner en position « hiver » ou en position équinoxiale (fig. 8). A chaque fois, l'erreur dans la lecture de l'heure augmente dès que l'on s'écarte de midi.

⁷ K. Takada, « Sundials of the far east », *op. cit.*, p. 10 : « First, in summer, in spite of the seasonal changes, inclination of the sundial is usually kept close to the angle appropriate for the latitude of the place. So it will give fairly accurate time ». On ne comprend pas très bien cette phrase d'autant que contrairement à ce qu'écrit l'auteur, c'est en été que les erreurs sont les plus considérables. K. Takada poursuit : « Second, in winter, the inclination varies steadily, in order to keep below the Sun's declinaison, so that the shadow is always on the upper face to the dial. Thus, it will only show an approximate time (hours and quarters) in the daytime ». Là encore, l'affirmation n'est pas correcte quant à l'éclaircissement, et l'heure est aussi erronée en hiver qu'en été.

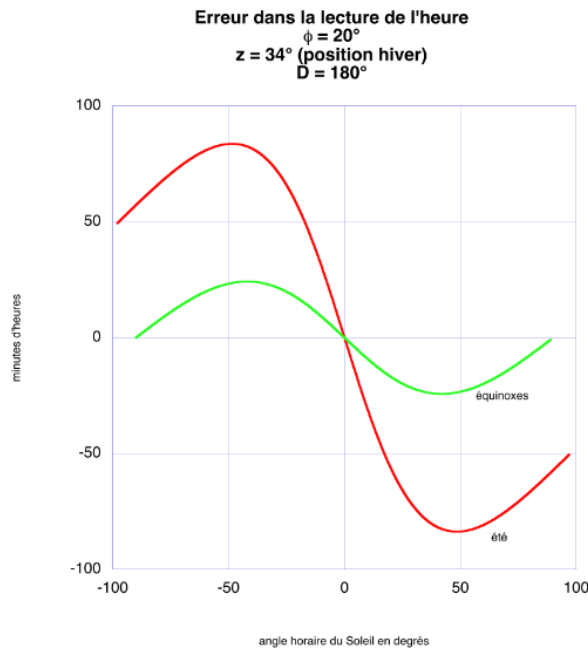


Fig.7

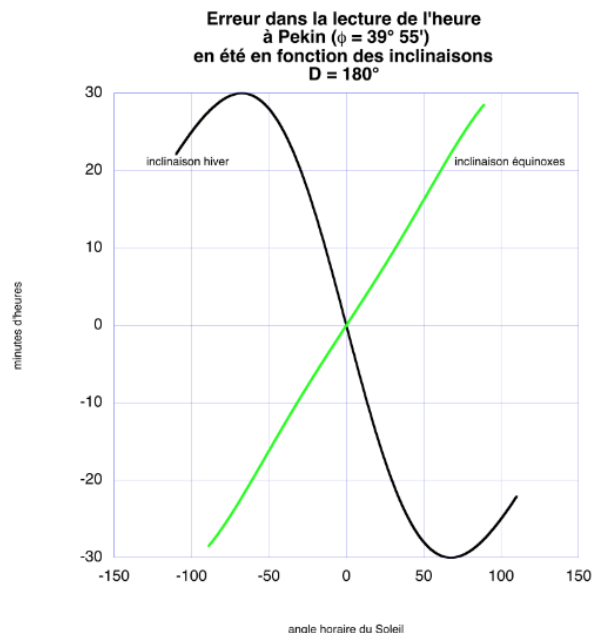


Fig. 8

b) pseudo cadran orienté vers le Sud ($D = 0^\circ$)

Si on oriente la face graduée vers le Sud, les problèmes d'éclaircissement disparaissent : en hiver et aux équinoxes, la face est toujours éclairée dans toute la Chine continentale. En été où la face est verticale comme un cadran classique, les problèmes se posent seulement dans la zone tropicale ; par exemple à Hong Kong, la face Sud est dans l'ombre 18 jours environ de part et d'autre du solstice du 21 juin.

Par contre, il faut noter que le sens de rotation de l'ombre subit un changement ; alors que pour la face Nord le sens de rotation de l'ombre est toujours celui du sens horaire et qu'elle est graduée à cet effet, il se produit pour la face Sud une inversion de sens : en position « hiver », l'ombre tourne dans le sens horaire ; mais aux équinoxes et en été, elle tourne dans le sens trigonométrique. On montre que le sens de rotation dépend de la latitude équivalente⁸ et de la déclinaison du Soleil. A cela s'ajoute le fait que l'ombre peut indiquer midi sur ce qui est considéré comme minuit pour la face Nord.

Orienter le pseudo-cadran vers le Sud permet donc de bénéficier d'un éclaircissement annuel quotidien très favorable mais la chiffraison n'est pas adaptée.

Qu'en est-il de l'erreur dans la lecture de l'heure ? La formule donnée plus haut est toujours valable à la condition de faire $\Delta\phi = 90^\circ - \phi + z$:

⁸ La latitude équivalente est en quelque sorte la déclinaison de la sphère céleste pointée par le gnomon, autrement dit la latitude géographique où le gnomon pointe au zénith du lieu. Elle dépend de la latitude du lieu, de l'inclinaison du gnomon et de son orientation. Voir D. Savoie, *La Gnomonique*, op. cit., p. 37-39.

$$\operatorname{tg}|F| = \frac{\sin H}{\cos H \cos \Delta\phi - \sin \Delta\phi \operatorname{tg} \delta}$$

F étant du même signe que H

Comme on le voit sur le graphique 9 tracé pour Pékin, l'erreur est énorme aux équinoxes dès que l'on s'écarte de midi, avec une croissance très rapide puisque 2 heures avant ou après midi, l'erreur atteint $\pm 1,5$ heures. La situation en hiver n'est guère meilleure ; c'est en été que l'erreur de lecture est la plus petite. Rappelons qu'un cadran solaire orienté vers le Sud et incliné de la latitude du lieu est appelé « polaire » : ses lignes horaires sont parallèles, tandis que sur le pseudo-cadran elles sont convergentes. Au voisinage d'une inclinaison proche de la latitude, les erreurs sont donc les plus grandes et ceci est accentué par le voisinage des équinoxes. Dans la formule ci-dessus, si $z = \phi$, on a alors $\operatorname{tg}|F| = \sin H / \operatorname{tg} \delta$, ce qui provoque un écart très important entre F et H.

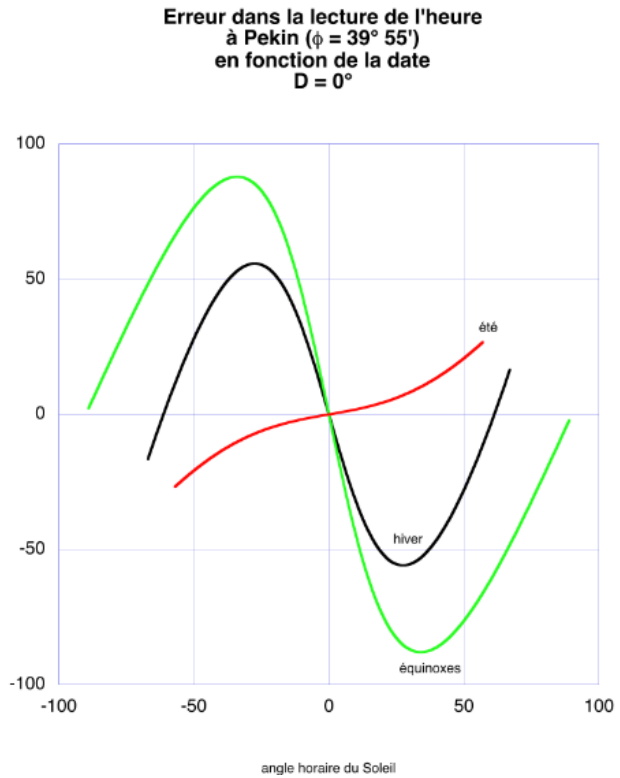


Fig. 9

Aux équinoxes même, la formule devient inopérante.

On peut corriger en partie ces erreurs considérables de la face Sud en ne respectant pas l'inclinaison prévue ; par exemple aux équinoxes, on a intérêt à rendre la table horaire verticale (fig. 10) puisque le gain est proche de 1 h en précision ! Idem en hiver où il faut carrément rendre la table horizontale pour limiter l'écart entre l'heure vraie et l'heure fautive (fig. 11).

Il ressort de cette étude du fonctionnement que le qualificatif de « pseudo-cadran solaire » est tout à fait approprié à cet objet : ce n'est pas un cadran solaire. D'une part il est inutilisable une partie de l'année et sur une grande échelle de latitude parce qu'il n'est pas éclairé. Et d'autre part sa graduation équinoxiale, modulable en fonction de la date et non du lieu, engendre des erreurs de lecture considérables. Ce pseudo-cadran est aussi faux que les cadrans de série en vente en Europe : c'est juste un objet de décors. La meilleure preuve en sont les associations où l'on trouve quatre « cadrans » accolés.

Il ne faudrait pas se méprendre sur la précision qu'on attend d'un tel pseudo-cadran : d'abord les graduations sont grossières, voire fausses, et très petites. D'autre part l'étude théorique précédente suppose une orientation idéale, ce qui ne peut être le cas dans la pratique.

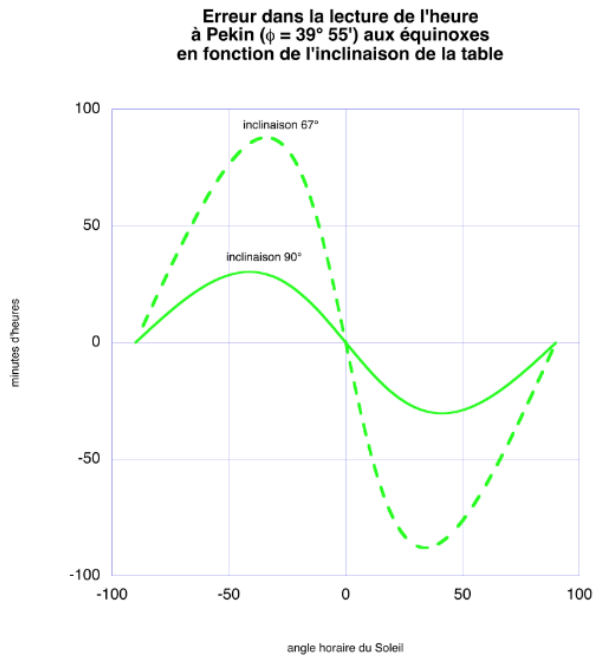


Fig. 10

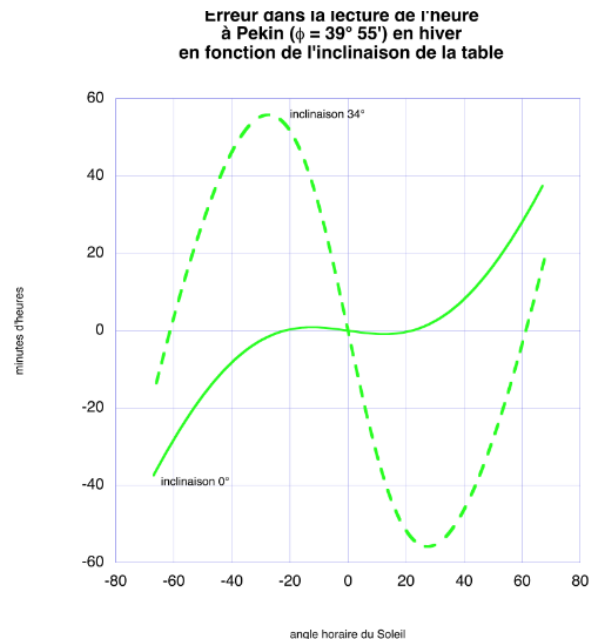


Fig. 11

On est amené à s'interroger sur le rôle très secondaire que joue le ou les pseudo-cadran dans ces objets où c'est la boussole géomantique centrale⁹, utilisée pour déterminer les orientations propices des bâtiments en fonction de critères déterminés par divers procédés divinatoires (fig. 12), qui tient une place centrale.

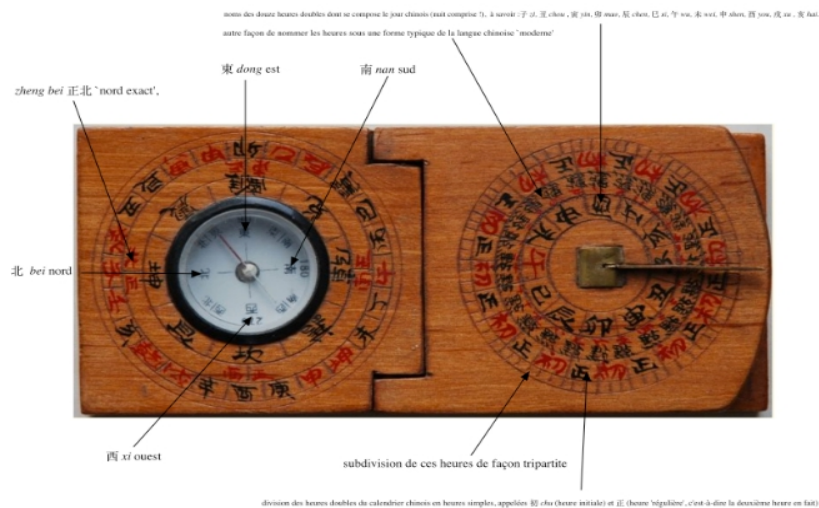


Fig. 12

Je remercie vivement Jean-Claude Martzloff et Marc Goutaudier pour leur aide dans la compréhension de ce pseudo-cadran.

⁹ Voir F. Martel, « Les boussoles divinatoires chinoises », *Communications*, 1972, vol. 19, n° 1, p. 115-137.



Un cadran canonial à Chypre

Denis Schneider

Propos sur le cadran canonial de l'ex-cathédrale Sainte-Sophie à Nicosie en Chypre. Le plus oriental des canoniaux relevant du rite latin.

Je suis reconnaissant envers Karlheinz Schaldach d'avoir mentionné, dans son article « A medieval sundial at Lindos (Rhodes) » paru dans le BSS Bulletin Vol.27 (i) march 2015, le cadran canonial de l'ex-cathédrale Sainte-Sophie à Nicosie en Chypre. Il présente la particularité d'être l'exemplaire le plus oriental des canoniaux relevant du rite latin puisque les autres canoniaux un peu plus orientaux encore relèvent, eux, du rite arménien, soit en Arménie, soit sur l'église arménienne de Jérusalem et qu'on n'a pas trouvé de canoniaux dans les Etats latins d'Orient (kraks).

K.Schaldach a écrit par erreur que la cathédrale avait été construite à l'époque de l'archevêque Eustorge de Montaigu vers 1230. On ne peut le lui reprocher car ce cadran n'était pas l'objet de son étude et qu'il a dû être abusé par la lecture de la « Chronique de l'île de Chypre » de Florio Bustron publiée en 1884, chronique relatant que la cathédrale, commencée en 1209, fut bâtie en moins de dix-neuf ans, ce qu'écrit aussi Louis de Mas Latrie dans son « Histoire de l'île de Chypre » en 1885.

La lecture d'autres auteurs, l'observation de changements de style dans la construction de cet édifice convainquent que sa construction s'est échelonnée sur cent dix-neuf ans et en trois phases au moins, ce qui repousse de près d'un siècle la datation du cadran, comme on le verra.

Tout d'abord, pourquoi une cathédrale gothique en méditerranée orientale ? Chypre était la dernière escale maritime avant d'atteindre la Terre sainte d'où les croisés préparaient leur reconquête de Jérusalem en collectant leurs provisions après que les derniers Etats latins d'Orient aient disparu (Ph.1). Une famille d'origine poitevine, les Lusignan, avait acquis en 1192

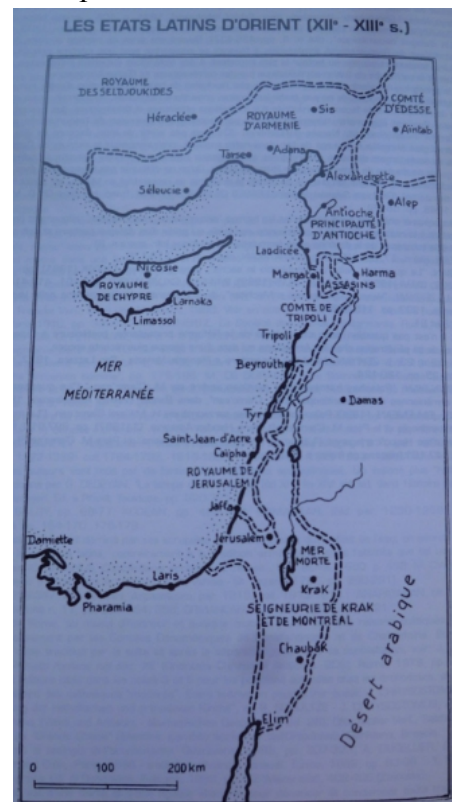


Photo 1

auprès des Templiers l'île qu'ils n'avaient pu payer à Richard Cœur de Lion lors de son invasion en 1191 pendant la troisième croisade. Les Lusignan firent venir des chevaliers francs aussi bien des anciens Etats latins d'Orient que de leur Poitou d'origine et y régnèrent jusqu'en 1489, date à laquelle les Vénitiens gouvernèrent l'île avant que les Ottomans reconquirent Chypre et transforment la cathédrale en mosquée en lui ajoutant deux minarets.

Les Lusignan élirent Nicosie capitale parce qu'éloignée des côtes pour éviter les attaques des musulmans et protégée qu'elle était par des montagnes au nord comme au sud. La richesse de l'île leur permit de construire des monuments, des palais et des édifices religieux. L'île était auparavant sous occupation byzantine ; elle relevait désormais pour trois siècles de l'occupation latine par cette famille. C'est la raison pour laquelle à Nicosie s'édifia une cathédrale gothique tout en conservant le vocable « Sainte-Sophie » de l'ancienne église byzantine. Elle accueillera le sacre des rois comme leurs tombeaux.

Sa construction commença bien du temps de l'archevêque Eustorge de Montaigu même si elle fut commanditée sous l'archevêché de Thierry (frère du chantre de Notre-Dame de Paris) sous l'impulsion d'Alix de Champagne, épouse du roi Hugues 1er. A Nicosie, l'un des successeurs de Thierry était un ancien archidiacre de Troyes et sans aucun doute des architectes parisiens ou champenois ont collaboré à l'édification. Comme pour toutes les cathédrales, on commença par bâtir le chœur et la cinquième travée attenante (les architectes les énumèrent d'Ouest en Est) dans le style gothique de l'Ile-de-France, celui du gothique cistercien, comme les fenêtres élancées orientales le montrent.

Une deuxième campagne de travaux, attribuable à l'archevêque Hugues de Fagiano (1251-1269), agrandit la cathédrale jusqu'à la troisième travée laissée inachevée.

Suit une période plus troublée (1270-1312), qui ne fait pas consensus chez les historiens modernes, au cours de laquelle, pour Olympios Michalis (meilleur spécialiste de l'édifice), les trois travées occidentales de la nef furent bâties. La rupture de style est notable comme les fenêtres de style gothique flamboyant l'attestent (Ph.2, dessin exécuté au XIXe siècle). Les arcs-boutants, dans leur conception, confirment ces



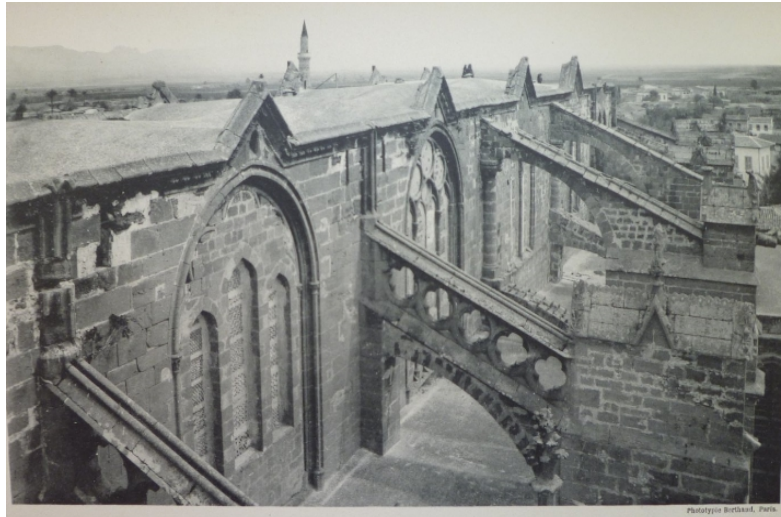
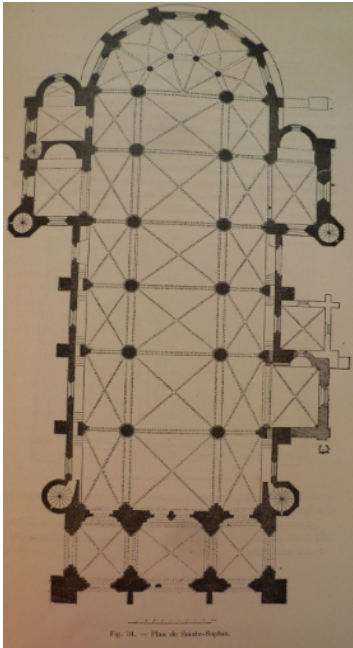
Photo 2

différentes campagnes :au début, les murs sont épaulés sur une grande hauteur alors que vers la fin du XIIIe - début XIVe siècle « on applique l'arc au point de la poussée et en le surmontant d'une claire-voie portant un aqueduc ».

Une dernière campagne de travaux ((1319-1326) doit le porche occidental à l'archevêque Jean Conti qui consacra la cathédrale en 1326.

Notre cadran se situe sur la tête de culée du contrefort séparant la deuxième travée de la troisième (Ph.3, 4 qui montre la fenêtre re-maçonnerie plus tard par les Ottomans, 5 et 6). La photo 2 (on y devine le cadran en haut à gauche) révèle que la deuxième campagne de travaux n'avait pas imaginé de cadran puisqu'il aurait été logiquement placé sur l'un des contreforts bornant le porche et que l'arc-boutant de celui de gauche est dans l'ancien style, sans claire-voie. Ce cadran circulaire en saillie est tenu « à bras le corps » par un personnage dont seule la tête est aussi sculptée, l'ensemble étant abrité sous le gable méridional. Il manquait une

photo précise pour identifier le statut du personnage mais déjà on pouvait dater le cadran du début du XIVe siècle de par l'analyse du contexte architectural (Olympios Michalis de l'Université de Chypre). Même si l'Eglise latine de Chypre dépendait du Saint-Siège, elle observait la liturgie de l'église du Saint-Sépulcre car la plupart du clergé de l'île était constitué de réfugiés chassés de Terre sainte. Curieusement, le cadran paraît bien contemporain de l'ordonnance du légat du pape en 1313 envers les chanoines pour qu'ils adoptent l'usage romain, ce qu'ils ne firent pas.

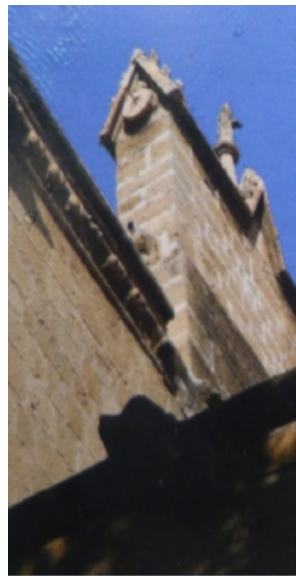


◀ Photo 3

Photo 4 ▲

▼ Photo 5 Photo 6 ▼

Photo 6 bis ▼



Pour l'américaine Justine Andrews, auteur d'une thèse sur le porche, les culées des contreforts occidentaux, et donc aussi le cadran, pourraient être des ajouts faits sous l'autorité de J. Conti et donc un peu plus tardifs, ce qu'avaient déjà pensé C. Enlart puis Ph. Plagnieux et Th. Soulart avant les études des archéologues chypriotes.

On connaît en occident quelques cadrans canoniaux tenus par des personnages entiers (adolescent, ange, diacre) et M. Arnaldi, dans un article de « Gnomonica Italiana », juin 2003, en dénombre 15 (Ph.7) dont on peut retirer celui de Chartres et qui semblent s'étirer entre Rome et Canterbury. Les mains débordent en principe sur la table du cadran pour le tenir ; à Nicosie, le dessin d'Enlart montre que la main droite, encore existante, ne saisit pas le disque mais le supporte. Comme il est au plus haut perché, une représentation entière du personnage, dont rien n'indique qu'il soit religieux, nuirait à la mise en valeur du cadran. Peut-on reconnaître, comme le fait Umit Inatci (professeur d'art à l'EMU), l'analogie entre le cadran solaire et le disque centré de la Terre ainsi qu'entre celui-ci et l'ombilic du personnage qui le soutient ? L'idée d'omphalos, de nombril du monde, née dans l'Antiquité avec Kronos dévorant ses enfants, sera reprise au Moyen Age sous la forme du Christ qui enserre le monde, le macrocosme qui circonscrit l'homme, le microcosme. Ici, ce pourrait être l'homme qui attrape le monde, préfigurant l'humanisme et la Renaissance, l'artiste étant donc en avance sur son époque si notre interprétation est juste...

Ce cadran circulaire, avec style horizontal peut-être d'origine, comporte dans sa moitié inférieure six secteurs égaux et chaque ligne horaire est terminée par un trou. Diviser le jour en six parts détermine des heures doubles à propos desquelles l'évêque chypriote Epiphanius parlait déjà au IVe siècle ! Peut-on même encore parler d'Heures canoniales alors que la première heure

de l'après-midi serait « la remontée » encore appelée « la relevée » (lever de sieste) si l'on en croit Ph.de Thaon (XIIe siècle) qui parle de « demeures » pour ces heures doubles (M.Arnaldi BSS oct.2000) D'autres trous perforent de façon aléatoire le disque comme la face méridionale de la pierre immédiatement inférieure et pourraient correspondre à des impacts de tirs comme le pense K.Schaldach.

Curieusement deux autres cadrans canoniaux, très séparés dans le temps, sont aussi, comme à Nicosie, surmontés par la tête d'un personnage : le canonial de l'époque normande ou un peu avant (Xe-XIe siècle) à North Stoke, Oxfordshire (Ph.8), dont on dit que c'est la représentation de Dieu lui-même et le canonial demi-circulaire de Dinkelsbühl en Allemagne (fin XVe siècle comme le suggère l'inscription gothique sous-jacente) surmonté du buste, bien



- 1) Piacenza: XII s. - a. 1122-55
- 2) Rouffach: XII/XIII s.
- 3) Strasbourg 1: XIII s. - a. 1225/40
- 4) Chartres: XIII s. - XVI s.
- 5) Amiens: XIII s.
- 6) Laon: XIII s. - XVI/XVII s.
- 7) Freiburg: XIII s. - a. 1270
- 8) Verden: XIII s.
- 9) Genova: XIII/XIV s. - a. 1307-1312
- 10) Colmar: XIV s. - a. 1315
- 11) Gourdon: XIV s.
- 12) Metz: XV s. (?)
- 13) Strasbourg 2: XIV/XV s.
- 14) Dinkensbül: XV s.
- 15) Strasbourg 3: XV s.

Photo 7

cadré, de l'architecte Niclas Eseler l'Ancien formant avec le cadran un cercle complet, buste qui supporte la statue de saint Barthélémy (Ph.9). Entre les deux, il y a nettement un déficit de spiritualité, et l'on devine la naissance de l'humanisme de la Renaissance.

Il n'est déjà pas si fréquent qu'on s'attarde à essayer de dater un cadran canonial grâce aux meilleurs spécialistes du monument ; que ce cadran soit le plus oriental des canoniaux de rite latin et qu'il annonce peut-être l'esprit de la Renaissance méritait qu'on s'y penche et je tiens à remercier vivement les historiens-archéologues chypriotes pour leur participation essentielle.



Photo 8

Photo 9
cliché de
Willy Bachmann, Richrath,
(Allemagne)





INFORMATIONS DIVERSES



° Dernières réalisations ou découvertes

- **Guy Ventouillac : Cadran à Louviers**

« Il y a quelque temps je vous avais parlé d'un cadran en cours d'installation à Louviers (27400). Après bien des complications, de contretemps et de retards le cadran a été finalement installé le 9 juin dernier sur "immeuble Glycine", rue de Belgique, 13 rue des Belles Saisons. Les coordonnées du mur sont 49° 12' 20" N 1° 09' 08" E.

Aujourd'hui, j'ai le plaisir de vous envoyer quelques images de son installation.

Le cadran mesure 3.06 x 3.06 m. Il a été réalisé en atelier avec beaucoup de soin et de précision. Il est tout en acier et pèse près de 300 kg.

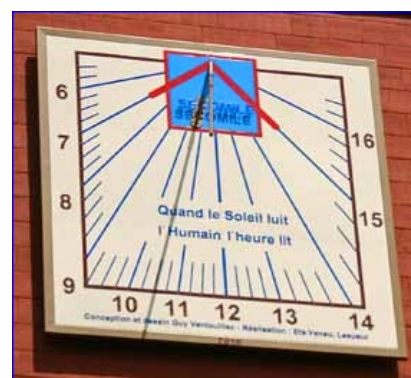
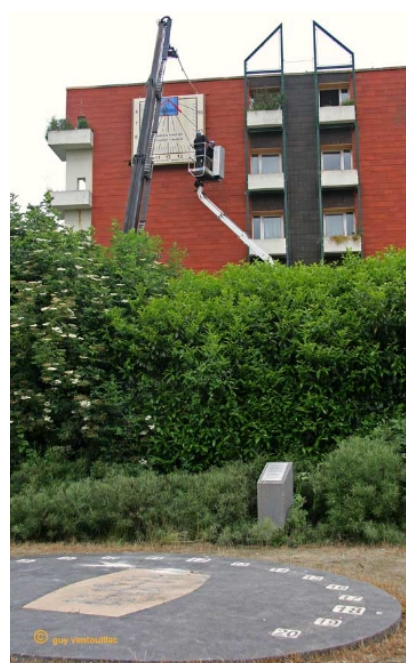
J'ai cherché à faire un cadran très simple à lire pour le grand public. Je l'ai voulu très dépouillé, sans lignes complémentaires. J'ai voulu qu'il soit très lisible de loin, comme une horloge.

Mon grand souci a été la détermination de la déclinaison du mur. Impossible de la mesurer directement. Le mur était inaccessible et recouvert d'un bardage isolant au demeurant très irrégulier. Je me suis donc basé sur la déclinaison d'une partie basse du mur en espérant qu'elle serait la bonne. J'estime l'erreur possible à 0.5 degré maximum. En visuel le cadran me paraît exact dans la mesure où la largeur de l'ombre du style correspond à 2 - 3 minutes de temps. Sur les photographies l'appréciation est plus fine ; mesurée sur huit photographies le cadran

présente un retard moyen de 15 secondes, écarts mesurés entre 9 h 20 m et 13 h 52m (temps vrai local).

Le cadran mural tient compagnie à un cadran analemmatique situé presque à ses pieds.

La personne lisant l'heure sur le cadran analemmatique devrait pouvoir lire simultanément la même heure sur le cadran mural. »



- Claude Gahon : "Jour et Nuit"

« Lorsque j'avais présenté "Héliosphère"¹ j'avais émis quelques idées d'amélioration, en particulier de faire 3 sphères pour une meilleure lecture des heures. Voilà qui est fait, donc pas de nouveautés sur le principe d'affichage et de repérage des heures, mais un nouveau décor en forme de bouquet.

Un peu trop simple direz-vous, erreur, attendez la nuit et alors les sphères vont jouer leur ballet de couleurs, transformant mon cadran en joyeux luminaire d'ambiance, c'est la fiesta !

Pour que cela fonctionne, il faut quand même pousser l'interrupteur qu'il y a à chaque globe pour allumer la LED alimentée par 3 petites piles.

Socle en bois peint, tiges en tube de cuivre diamètre : 8mm, sépales en tôle d'aluminium. E = 1mm, boules en plastique transparent diamètre : 8 cm, globes en plastique translucide diamètre : 18cm. Dimensions hors tout 60x60x60 (un géant de plus).



Le jour

Un peu compliqué à trouver les boules et les globes, et le travail d'exécution n'a pas été de tout repos, mais le résultat me dit que ça valait la peine de cavalier un peu ».



La nuit

- Claude Gahon : "Fontaine solaire"

« L'été arrive et il va bientôt falloir songer à se rafraîchir, alors je vous propose de vous arroser avec ma fontaine solaire.

Lors de mon voyage en Sicile j'avais été attiré par une fontaine, dont je vous joins la photo, située dans la ville de Raguse (au Sud-Est de l'île). Cela m'a évidemment inspiré et j'en ai fait un cadran solaire.

Comment ça fonctionne ? C'est simple : on tourne la partie haute de la fontaine pour l'aligner avec le soleil et on regarde sur quel galet horaire tombe le jet d'eau du tube supérieur.

Vous savez ainsi à quelle heure vous prenez votre douche.

L'alignement avec le soleil est obtenu quand l'intérieur du "trou" central est complètement ombré ou quand les ombres au sol des tubes sont confondues.

La partie haute avec les tubes en cuivre pivote sur le tube incliné selon la latitude, celui-ci porte une échelle des heures (marques vert et blanc), ce qui permet d'avoir aussi une

¹ Les cadrans Gahon : Cadran Info N° 29.

lecture sur cette échelle. Ceci est bien utile quand il y a du vent qui détourne les jets d'eau ! ou quand il n'y a pas d'eau !!!

On peut évidemment choisir un autre jet en changeant la position des galets.

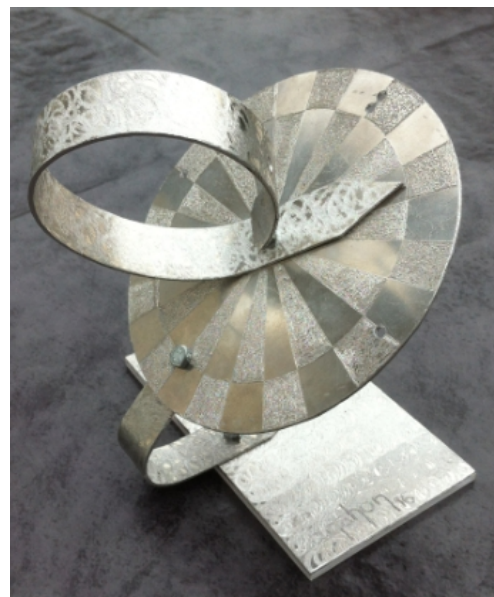
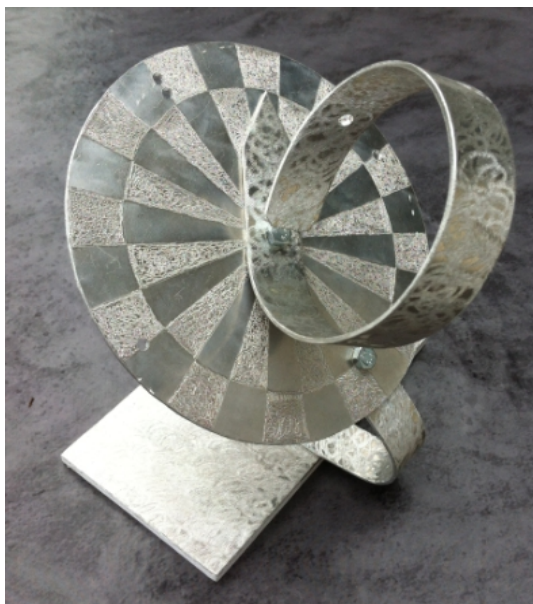
Pour le moment, il est au stade préliminaire, branché provisoirement sur un tuyau d'arrosage, mais le but est de créer un bassin de réception de l'eau, et de le faire fonctionner avec une petite pompe solaire autonome. La pompe est commandée, je l'attends pour pouvoir dimensionner le bassin en fonction de la puissance des jets que j'obtiendrai. J'espère pouvoir finaliser ce projet.

En espérant vous avoir rafraîchi ».



- Claude Gahon : "Equator"

« Un peu en manque d'inspiration mais pour ne pas perdre la main, voici "Equator" une petite réalisation récréative.



Un anneau en forme de "e" qui pivote sur un disque équatorial (d'où le nom du cadran). L'anneau est percé d'un petit trou, le disque est gravé selon les tranches horaires. J'ai bien sûr repris des idées puisées dans mes précédents cadrans, ici il faut tourner l'anneau vers

le soleil jusqu'à ce que sa face interne soit totalement à l'ombre. Ou bien même manœuvre jusqu'à ce que la petite tache de lumière, produite au travers du petit trou, soit centrée sur la largeur de l'anneau.

L'heure solaire est lue dans les tranches horaires gravées sur le disque, au bout de la pointe de la flèche.

Le tout est en aluminium.

Le soleil n'est malheureusement pas de la partie en ce moment pour tester correctement.

Denis Savoie : inauguration du cadran de l'institut

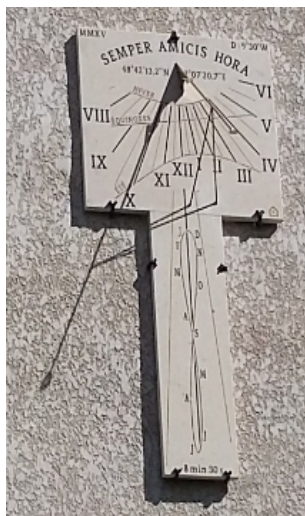


Denis Savoie a mené la « récréation » du cadran solaire de l'après-midi de la cour d'honneur du Palais de l'Institut à Paris. Ce dernier a été inauguré le mardi 21 juin à l'occasion du 350^e anniversaire de l'Académie des sciences.

Le soleil a permis de lire l'heure vers 12 h UT ! Voilà deux photos : le cadran et une vue partielle des invités avec en premier plan, D. Savoie et le Secrétaire perpétuelle de l'Académie des Inscriptions, académie qui a composé la belle devise.

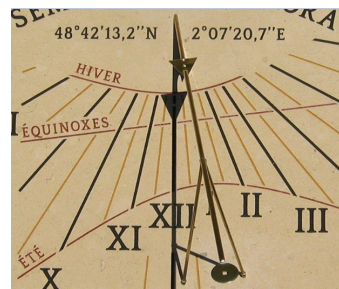


Pierre de Rosette : cadran avec arcs diurnes et courbe en 8



Chez M. & Mme Lalanne à Gif-sur-Yvette, voici une photo du cadran solaire prise le 3 septembre 2015 à 13 h 51 min 00 s (heure légale).

Une étude statistique de plusieurs dizaines d'enregistrements réalisée par les propriétaires démontre une précision de lecture de l'heure à 10 secondes.



- Claude Gahon : "Le Papillon"

j'ai trouvé une adaptation rustique et campagnarde, donc bucolique, du papillon.

On fait tourner le papillon autour de sa branche jusqu'à ce que l'ombre de son corps soit centrée sur cette branche. L'ombre de la pointe de l'abdomen indique l'heure sur les graduations gravées sur l'écorce.

Vous aurez compris que la précision de cet instrument est un peu "légère", chaque espace entre 2 graduations ne mesure que 2mm et représente un intervalle de 2 heures !



Mais qu'à cela ne tienne mon papillon continue à voler sans avoir besoin d'être à la seconde près, j'ai surtout voulu tester un nouveau système de lecture, dans une représentation originale.

Aluminium et vraie branche de pêcher ont fait le reste.



- Remise en état de fonctionnement d'un cadran

Jacques Garcia, communique la synthèse des travaux réalisés. Il remercie ses collègues du groupe « conseils à la sauvegarde du patrimoine gnomonique », Didier Benoit rencontré à Carmaux.

Le propriétaire du cadran, Monsieur Darves-Bornoz remercie également l'ensemble des participants pour les conseils et la qualité des travaux de sauvegarde de son patrimoine.



Synthèse de l'Amicale Gnomonique Aquitaine Pyrénées agap33560@gmail.com
Membre de la commission des cadrans solaires de la Société Astronomique de France
Membre du groupe : conseils à la sauvegarde du patrimoine gnomonique

Sauvegarde et remise en état de fonctionnement du cadran solaire à 24440 Saint Avit Senieur, travaux réalisés en Mai 2016.

Cadran solaire avant rénovation



Nettoyage de la table, consolidation, réparation
(Bernard PEINEAU)



Fissure principale verticale, solin sur le pourtour du cadran, parties basses droite.
Pose de l'enduit de finition à base de chaux naturelle aérienne, sable de rivière tamisé, adjuvant acrylique, poudre de marbre.

Consolidation de l'enduit de la table
(Jacques GARCIA)



Forage des zones décollées du corps d'enduit
Injection d'une solution d'eau déminéralisé et alcool absolu .
Injection d'un mélange de chaux hydraulique naturelle, & poudre de marbre

Mise en peinture de la table
(Patricia GARCIA)



Peinture Silicate de Potassium et pigments naturels.
Première couche : Sous couche structurante.
Deuxième couche : Finition Blanc.
Troisième couche : Patine vieillissante (glacis).

Mise en peinture du tracé des lignes horaires, des chiffres, du liseré sur le pourtour du cadran



Peinture Silicate de Potassium et pigments naturels

Remise en forme du style métallique
(Patrick MONDAIN)



Fourniture et mise en place d'un panneau (Jacques GARCIA)



Cadran après rénovation

LUCEM DEMONSTRAT UMBRA
L'OMBRE DONNE LA LUMIERE

CADRAN SOLAIRE VERTICAL datant du XVIII Siècle
Déclinant 22,5° Ouest Indique l'heure solaire locale
Rénovation réalisée en 2016

Les erreurs d'origines sont conservées (IIIV pour VIII Heures)

$$HL = HS + / - \Delta - \text{Dif.Long.} + H$$

HL = Heure légale (montre) **HS** = Heure solaire (au cadran)
 Δ = Équation du temps en minutes en fonction de la date (voir courbe)
Dif. Long. = Différence de Longitude du Lieux par rapport au Méridien Greenwich (3 min 12 secondes) H = 1 (Hiver) 2 (Été)



° Informations diverses

- Etude sur les chiffres arabes des cadrans anciens et abréviations religieuses par Jean Scordia.

Après la lecture de Cadran Info n° 33 de mai 2016 et la visite de cadrans solaires lors de la réunion de la C.C.S. dans la ville du Mans, j'ai souhaité apporter des précisions sur le tracé des chiffres arabes de cadrans anciens non datés et sur le sens de certaines abréviations religieuses présentes sur nombre de ces cadrans, surtout dans l'ouest de la France. J'avais déjà traité ces deux sujets dans le n° 28 (octobre 2013) de notre revue. A propos des cadrans canoniques de l'Occident ou du Moyen Orient, D. Schneider a plusieurs fois évoqué la numérotation ou le sens des sigles grecs et latins habituels. Leur signification a souvent été oubliée ou faussée par nos contemporains.

I – Les chiffres arabes

En l'absence de date inscrite et de documents archéologiques précisant l'époque de la réalisation du cadran, en laissant de côté l'aspect purement matériel du support témoignant de l'usure du temps, la graphie des chiffres permet-elle « de visu » d'approcher les années du tracé d'un cadran ancien ? Comme pour beaucoup de choses sous le soleil, la réponse est « parfois, oui ! » et « parfois, non ». De même que pour les lettres, le tracé des chiffres varie avec les siècles, mais moins et pas à la même vitesse sur l'ensemble du pays ; avec l'éloignement de la capitale du royaume ou des centres de production de l'écrit, l'évolution ralentit ; généralement, les provinces ou les zones rurales retardent. Mais en Europe de l'Ouest, du XVI^e siècle au XXI^e siècle, la ressemblance des chiffres est étonnante, les changements semblent se faire parallèlement. C'est le sujet d'étude des paléographes.

La comparaison du tracé des nombres arabes d'un cadran non daté avec celui d'un cadran daté de la même région permet de le situer dans un siècle, dans une période approximative. Ce n'est pas le cas avec les chiffres romains, qui n'ont pratiquement subi aucune modification depuis leur apparition ; leur emploi comme lettres a, par contre, connu des variations au cours du Moyen Age : c'est le cas de la numérotation gothique. Dans une comptabilité ancienne officielle, il était difficile de falsifier les chiffres romains (ce sont des lettres) ; avec des chiffres arabes (d'origine indienne) il



Date de 1523, gravée en bas à droite du cadran de l'église Saint-Martin de Gresswiller (64)

était aisé d'ajouter un zéro pour truquer une somme ! Le choix de l'emploi des chiffres arabes dans les comptes publics s'imposera en France en 1772 seulement. Le choix entre des chiffres romains plutôt qu'arabes sur un cadran solaire est libre, il n'a pas d'explication évidente. Est-ce par respect de la tradition antique, par modernisme, par esthétique (préférence pour les lignes courbes ou droites) ? Mais l'art calligraphique consiste à choisir une « belle écriture » : elle concerne aussi bien les lettres que les chiffres. Le choix souligne également un statut

social, l'appartenance à une culture littéraire, religieuse ou scientifique. N'oublions pas non plus qu'autrefois peu de gens savaient lire. L'écrit marque une frontière entre les « savants » et les « ignorants », le « noble » et le « vulgaire ». La numérotation romaine existe depuis l'Antiquité, la numérotation arabe n'apparaît en Europe qu'au XIII^e siècle (mais antérieurement en Espagne). La graphie de certains chiffres arabes change peu comme le 5 ancien.

Un petit aperçu des chiffres qui ont varié :

XV ^e s.	1 1	2 2 2	3	4 4	5 5 5 5		6 7 8 9	10
XVI ^e s.	1	2 2	3	4 4	5 5	6	7 8 9	10
XVII ^e	1	2	3	4 4	5 5 5		8 8 8	
XVIII ^e	1 1 1 1	2 2	3	4 4 4	5 5 5 5	6	7	8 8 9 10 10
XIX ^e	1 1	2 2	3 3	4 4	5	6	7	9 10 10

II - Au sujet du latin et de la sacralisation du temps.

Lors de la lecture de l'article « Bloc gnomonique du XVII^e », dans Cadran Info n° 33 de mai dernier, j'ai été intrigué par deux passages. A la page 105, il est écrit à propos d'un signe d'abréviation, transcrit par 1' « exposant 2 » : « *le signe en forme de point d'interrogation, sans le point...* ». C'est un signe bien connu des scribes et des latinistes, en forme de 9 non fermé : il s'agit du « neuf tironien » (du nom Tiro, le « nègre » de Cicéron). En début de mot, il remplace « *con-* », en fin de mot il remplace la terminaison « *-us* ». Pour le mot « *sicc⁹* », il n'y a donc pas d'ambiguïté, il faut bien lire l'adjectif « *siccus* ». Très employées au Moyen Age (par exemple, « *Deus/Dieu* » sera abrégé « *δ⁹* ») reprises au XVI^e siècle, les notes tironiennes tombent en désuétude le siècle suivant avec l'abandon du latin.

Depuis l'Antiquité, le sens des mots et des abréviations a changé ; les mots ont plusieurs racines, de même les signes religieux ont plusieurs significations antérieures. Le sens donné actuellement à certaines abréviations est une « dérive ». Un dictionnaire d'« usage » enregistre le sens contemporain d'un mot (sans signaler habituellement s'il est fautif par rapport au passé) ; un dictionnaire « normatif » fixe le bon sens d'un vocable, la norme à suivre. Le sens originel de l'abréviation IHS (avec un trait au-dessus) est *Jésus* et de MA/MAR (avec un trait au dessus) *Maria* ou *Marie*. Lors de la réunion du Mans, il m'a été également demandé la signification du sigle MIHSA, présent sur un cadran de Sarthe ou Mayenne (illustration dans l'ouvrage inventoriant les cadrans du département). Il s'agit des abréviations enlacées de Maria et Iesus, en latin.

Les autres sens sont des interprétations, suite à des oublis ou à la méconnaissance des langues anciennes. Pour comprendre les glissements de sens de ces deux signes sacrés, il faut retourner aux origines et s'intéresser aux traductions : ce qui est aussi à l'origine de l'aphorisme italien « *Traduttore, traditore* » (« Traducteur, traître » !).

On a souvent oublié le sens religieux d'autres motifs décoratifs, comme le cerf, le lion ou le serpent ; de fleurs, tels le lys et la tulipe ; de l'arbre et de la palme ; des astres : le Soleil central de nos cadrans, la Lune. Les cadrans solaires bretons sont très riches en décors religieux, comme on peut le vérifier dans l'ouvrage de J.-P. Comec et P. Labat-Ségalen, « *Cadrans solaires de Bretagne* ».

Suite à sa publication, Y.-P. Castel a réalisé une étude sur « *L'iconographie religieuse sur les cadrans solaires du Finistère* », dans laquelle il relève les motifs principaux : le Soleil et la Lune, le calice, les anges, la croix latine, les cœurs, les instruments de la Passion, les

chrysmes et monogrammes, les saints personnages, l'ostensoir, la tête de mort. A ceux qui jadis ne savaient point lire les devises ou prières inscrites sur la table, une image était là pour évoquer leur destin inexorable, et rappeler à tous la Vanité des choses. Tout est *éphémère* (du grec « *ephēmeros* » : « qui dure *un jour* ») !

CALICE 1 - Sicle d'argent (Bibliothèque Nationale) :
 inscription (qui se lit de droite à gauche) « *An III, sicle d'Israël* » ;



2 - Cadran en schiste ardoisier, 1647
 (Braspart, Finistère).



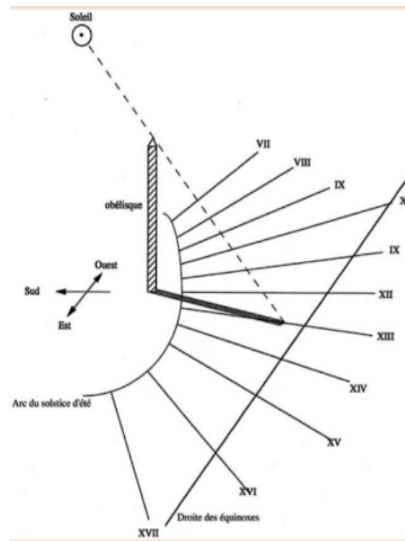
L'étude complète de J. Scordia reçue sur papier a été scannée. Elle fait au global 11 pages. Vous la trouverez en annexe de cadran Info numérique.

⇒ [Dans la version numérique, en annexe :](#)

° Le fichier : "annexe_Jean Scordia.pdf" de 11 pages présente l'article complet.

- Ce qui reste du cadran de la place de la Concorde

« Voici ce qu'il en reste aujourd'hui. Il est piétiné par des centaines de touristes et de parisiens qui en ignorent la valeur. Ne pourrait-on pas le conserver d'une façon plus pérenne ? »



Voici le cadran solaire installé en 1999. Du lever au coucher du soleil, l'extrémité de l'ombre de l'obélisque parcourt la place de la Concorde d'est en ouest. Très longue le matin, elle devient la plus courte à midi puis s'allonge progressivement jusqu'au crépuscule. L'heure se lit sur le sol. Une courbe indique la trajectoire de l'ombre le jour du solstice d'été (21 juin), tandis que la droite des équinoxes montre la trajectoire de l'ombre le 20 mars et le 23 septembre. Compte tenu de la hauteur de l'obélisque, l'ombre est extrêmement longue à certains moments ; pour des raisons de commodité, le tracé a donc été limité de 7 heures à 17 heures.

Remarque et photographies d'André Marchal

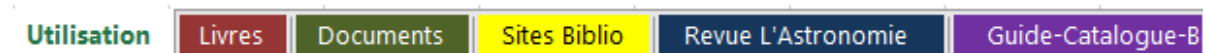
- Les livres gnomoniques de la CCS

La commission des cadrans solaires a réalisé un outil de recherche de livres et d'articles gnomoniques ou associés. Ce document sous Excel se nomme *LivresGnomo*.

Cette base de données représente :

- la connaissance actuelle de livres et de documents (physiques ou numériques) existant principalement en langue française et concernant la gnomonique,
- en partie les ouvrages (physiques ou numériques) conservés à la bibliothèque de la SAF, aux archives de notre commission et dans la bibliothèque de Monsieur Paul Gagnaire qu'il met à la disposition de tous les membres.

LivresGnomo. est composé de 6 feuilles :



- Utilisation : mode d'emploi
- Livres : environ **1000 titres de livres** à fin juillet dont 600 numérisés.
- Documents : environ **830 titres d'articles** à fin juillet.
- Sites Biblio : 35 adresses de sites WEB proposant des livres gnomoniques à télécharger ou à consulter.
- Revue L'Astronomie : liste de **135 articles** gnomoniques, publiés dans la revue *L'Astronomie*.
- Guide-Catalogue-Bulletin-Annuaire : 50 documents se rapportant à des lieux, informations ou autres pour des recherches de cadrans.

Les livres/livrets/articles... sont soit :

- à télécharger,
- à demander à la CCS (Philippe Sauvageot),
- mentionnés pour information (une numérisation n'étant pas possible).

Comment ça marche?

Dans la partie "recherches lecteurs" (bandeau vert - en haut-), on recherche un livre, un article, un feuillet... par thème, par titre, par auteur, par éditeur, par année...

- Si le document est disponible sur le Web, on clique sur le lien pour le télécharger.
- Si le document n'est pas disponible sur le Web on fait une demande à Philippe Sauvageot. Celui-ci utilisera la partie "recherches responsables tableurs CCS" (bandeau gris -en haut-) pour vérifier la disponibilité de l'œuvre et répondre à la demande.

Le tableur est actuellement réservé aux membres de la commission et aux sociétaires de la SAF. Sa mise à disposition de tous (sur notre site) sera examinée ultérieurement.

Remerciements

- Yvon Massé : (<http://gnomonique.fr/biblio-gno/wiki/Accueil>) et Francis Ziegeltrum (<http://francis.ziegeltrum.perso.sfr.fr/methodes.html>) pour le partage de leurs sites,
- Paul Gagnaire pour la mise à disposition de sa bibliothèque personnelle,
- Pierre-Louis Cambefort pour la réalisation et documentation de ce tableur,
- aux utilisateurs pour vos remarques et son enrichissement.

COMMISSION CADRANS SOLAIRES : LIVRES											
AV, le 03 juin 2016				1003 documents				592 numérisés et téléchargés			
Partie recherche Lecteurs											
Nouveautés	Thème	TITRE	Type	AUTEUR		EDITEUR	EDITIONS		ENS INTERNET	SIGNATURE	documents
				Nom	Prénom		Autres	Edition			
Les nouveaux documents par rapport à la précédente édition sont indiqués. Nou	Domaine de recherche : cadran solaire, astrolabe, nocturlabe, le temps ...[à compléter]	Titre du document (peut être partiel, dans ce cas complété dans colonne AB)	Type documents "L" =livre	Nom de l'auteur : ZZinconnu ; ZZanonyme ; ZZencyclopédies	Prénom de l'auteur	Lieu Nom	Années de l'édition du document et autres références (2050= date)	Année de l'édition du document	Lien Internet donnant accès au document ou informations sur document, si pas de fichier .pdf	X si document numérisé	X si document physique (non numérisé)
	Thème										
	GNOMONIQUE	Pratique de la gnomonique,	L	abbé CHAIX	*	Avignon C	*	1859		X	
	GNOMONIQUE	Deux problèmes de gnomonique à résoudre, avec la solution du problème de diop	L	abbé de HAUTE	*	*	*	1704		X	
	GNOMONIQUE	La gnomonique théori-pratique,	L	abbé DULAC	*	*	*	1782			X
	CS-EMATION	Notice sur le cadran solaire à équation	L	abbé GUYOUX	*	*	*	1842		X	
	CULTURE	Encyclopédie Theologique, tome 42, Paris,	L	Abbé MIGNE	*	*	*	1850		X	

Vue de la partie réservée aux lecteurs



° Courriers gnomoniques

- Jean Scordia : Ecole de gnomonique de Lorca

Suite à l'article paru dans Cadran Info n° 33 : *Ecole de gnomonique de Lorca* de A.J. Canones et P. Novella, traduit par D. Collin, je voudrais signaler trois passages fautifs dans la traduction de l'espagnol qui ont rendu le texte français en partie hermétique. Il s'agit :

- A la page 43 en haut (2^e paragraphe), de « huitième réel » : il faudrait rendre par « octave royale » ou « huitain » {strophe de 8 vers de 11 syllabes}.
- A la page 48 en haut, ces vers de huit pieds :

<p>Por parecer laberinto La variedad de sus rayas Quando mirándolas vayas Explicadas te las pinto : Las que son de negro tinto Relox español señalan; Color pagizo de Italia; Las verdes que van cruzadas De Babilonia, encarnadas Todos los signos propalan</p>	<p>Pour paraître labyrinthe La variété de ses pistes Quand se verront les moquerie Expliquées celles je te peins ; Celles qui sont en rouge foncé Heures espagnoles indiqueront; Couleur jaune paille italique; Les vertes qui se croisent De babyloniques, rouge Tous les signes se répandent.</p>
---	---

devraient se rendre par :

« Parce que paraîtra labyrinthe / la variété de ses lignes / quand tu les regarderas / je te les explique en les peignant avec des couleurs : / celles qui sont en rouge foncé / heures

espagnoles indiquent ; / couleur jaune paille (heures) d'Italie ; / les vertes qui se croisent / (heures) de Babylone, les rouges / révèlent tous les signes (du Zodiaques) ».

- A la page 53 en haut :

<p><i>Efpaña eſta cercada con el Mae fino en los Perineos fiolamente Conieneça al medio dia en Gibraltar y al Septentrion a Afturias tiene en frète A Oriente Cataluña viene a eftar Portogal y Galizia al Occidente I eneftas nueve tablas fe veran las tierras que los grados tomaran.</i></p>	<p>L'Espagne est ceinturée par la mer <u>Mais</u> dans les Pyrénées seulement Commence à Gibraltar le midi Et au Nord se tient les Asturies A l'Est vient la Catalogne A l'Ouest viennent le Portugal et la Galice Et en ces neuf tables se verront / Les terres que les degrés prendront.</p>
--	--

ces vers devraient se traduire par :

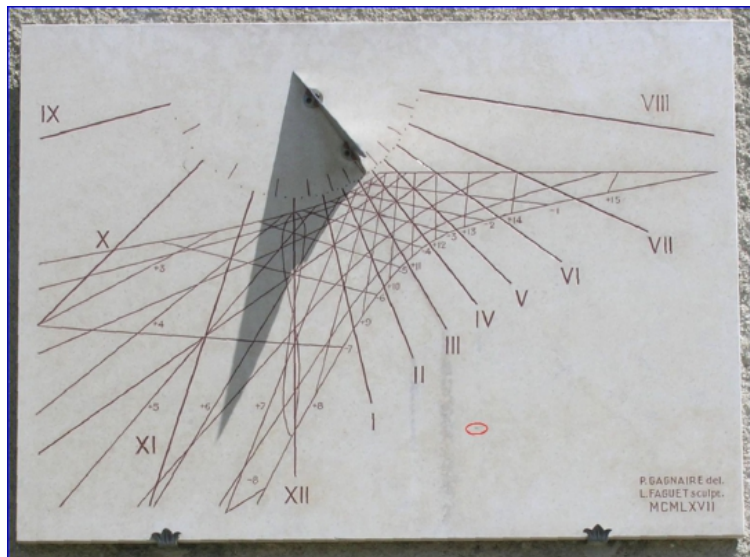
« L'Espagne est ceinturée par la Mer / sauf seulement dans les Pyrénées / Elle commence à Gibraltar au midi (Sud) / et au Nord se tient (tiennent) les Asturies / à l'Est est située la Catalogne / à l'Ouest se trouvent le Portugal et la Galice : et sur ces neuf tables se verront (on verra) / les terres que les degrés prendront. »

- Paul Gagnaire : une « faute » dans mon cadran ou l'honneur du Compagnon

Sur le seuil de l'atelier, j'avais eu l'impression de me trouver en face d'Henri Vincenot, mais avec beaucoup de cheveux blancs en plus. Nous nous étions, tout de suite, bien entendus. Il n'avait jamais encore gravé de cadran solaire, mais l'expérience l'intéressait. Ses exigences étaient simples : que je lui donne une épure avec les lignes à leur exacte largeur ; qu'il n'entreprenne le travail qu'en morte saison, c'est-à-dire après la Toussaint, car le funéraire constituait l'essentiel de son activité. J'avais dit oui et même accordé bien plus de temps qu'il n'en demandait et la livraison se ferait lors des vacances de Pâques.

Et, maintenant, il venait de descendre de sa camionnette, au palan, la dalle de 140 cm par 110 cm (*) qui pesait bien ses 123 kg de bon calcaire de Bourgogne et il l'avait appuyée contre le mur de la maison, soigneusement calée, en attendant de la hisser sur les happes en bronze dont le profond scellement avait durci, depuis une semaine, dans l'épaisseur du mur Ouest.

Il me demanda si cela me convenait ; je répondis oui et ajoutai quelques mots de remerciements et de félicita-



Cadran de Paul Gagnaire à Saint-Franc 73

tions. Tout me paraissait parfait, bien conforme à mon plan, taillé, gravé et peint de main de maître. Déjà, je m'imaginai, montrant aux visiteurs, du bout d'une badine, ces intersections si justes, ces chiffres si bien placés et cette ombre qui dévalerait au fond des lignes d'heures et en remonterait en une minute, à un « poiilième » près. La lumière de ce nouveau printemps

frappait la pierre et ses ocres subtils chantaient, en leur langue, le Cantique de frère Soleil. Mais le marbrier ne se décidait pas.

Revenant à la charge, il insista : « Vous êtes satisfait ? Vraiment ? Vous ne voyez rien qui n'irait pas ? C'est bien comme vous vouliez ? » A chaque demande, je ne pouvais que répondre oui, oui-oui, car c'était vrai. Alors il se décida : « Eh bien ! Non. J'ai fait une faute ». L'expression me déconcerta. On « commet » une faute, s'il s'agit d'une faute morale, mais « faire une faute » s'emploie à propos de techniques diverses : on fait une faute de frappe, une faute d'accord, une faute au jeu ... Qu'est-ce, donc, qui n'allait pas sur mon cadran ? Et comment ne le voyais-je pas d'un simple coup d'œil ?

Il expliqua et je dus approcher mon visage de la pierre, pour voir ce qu'il me montrait : « J'ai échappé, une fois, mon ciseau sur le cadran ; ici. C'est une faute. Alors, j'ai mastiqué l'écaille avec un ciment légèrement plus foncé. Ainsi, j'ai corrigé la faute, mais je ne l'ai pas dissimulée. Cela aurait été mensonge. Mensonge aussi, de ne pas vous le signaler ».

Certes, oui, on pouvait deviner la minuscule écaille mastiquée, mais il était bien invraisemblable qu'elle attirât, un jour, le regard de quelqu'un et j'ai fait et refait l'expérience des dizaines de fois. Jamais un visiteur n'a remarqué la « faute ». Heureuse faute ! Elle me donne l'occasion de célébrer chaque été, depuis plus de quarante cinq ans, l'honneur du Compagnon qui taillait si bien les pierres, pour les vivants et pour les morts.

(*) Une des jolies proportions liées au nombre d'or : $140/110 = 1,272 = \text{SQR}(\Phi)$

- Devise

De Brigitte Lafeuille : « je vous transmets la photo d'un cadran que j'ai vu dans le pas de calais, à Bouret-sur-Canche, (Pas de calais) non sur l'église mais sur la chapelle. J'aurais aimé connaître la traduction de la devise.

Réponse de Olivier Escuder :

« La devise de ce cadran est "ASPICE VT MORIAR" (que l'on peut écrire également "ASPICE UT MORIAR").

Sa traduction est assez étonnante : littéralement, elle est : "Regarde-moi pour que je meure" ("MORIAR" est au mode subjonctif).



C'est assez obscur et sans sens évident. Aussi, je penche plutôt pour une erreur du graveur. Celui-ci aurait dû écrire "ASPICE VT MORIOR" (ou "ASPICE UT MORIOR").

Ici, la traduction est plus sensée : "Regarde-moi pendant que je meure" ("MORIOR" est au mode indicatif). Le cadran est probablement orienté Sud-Ouest et indique les heures en soirée, lorsque la journée s'achève. Ce sera à confirmer, car je n'ai pas d'indication sur l'orientation de cet édifice.

Un grand merci à M. Gagnaire pour ses judicieux conseils en langue latine ».

- Vente de cadrans

De très nombreuses ventes de cadrans solaires, livres ou autres objets gnomoniques sont réalisés. Voici deux ventes prises au hasard :

- Information de David Valls Gabaud : vente par Chayette et Cheval à Drouot Richelieu en juin 2016. Ce jour là une quinzaine d'instruments.

(<http://www.chayettecheval.com/html/index.jsp?id=26573&np=2&lng=fr&npp=100&ordre=1&aff=5&r=>)



Nocturlabe et cadran vertical en laiton avec indicateur de l'âge et phase de la Lune.
Estimation 3000/4000€



Cadran portatif octogonal à fil-axe, en ivoire daté 1628.
Estimation 1800/2200€



Cadran solaire en plomb portant la devise de Louis XIV.
Estimation 300/350€

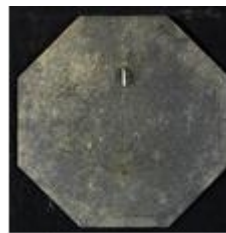
- Information de Jean Rieu : J. Rieu nous fait part régulièrement des ventes qui ont lieu sur « **Interencheres** » (domaine Meubles et Objets d'Art). Le 23 juillet, 4 cadrans en vente.



Cadran solaire de poche, début XIXe.
7 x 6 cm.
Estimation : ?



Cadran solaire en ardoise du XVIIIe.
35 x 35cm.
Estimation : ?



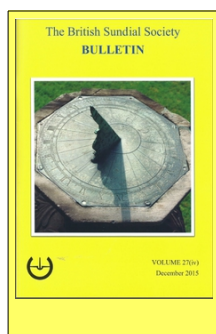
Cadran en ardoise gravée de constellations, annotée CERNIS
QUA VIVIS QUAM ISRE LATET. II
59 x 59cm. Estimation : 400/500€



Cadran solaire en bois, boussole, XIXe.
Estimation : 100/120€



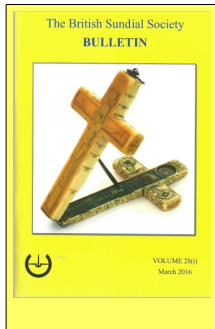
° Gnomonique du monde



VOLUME 27 (iiV) - décembre 2015 (sur papier) de la BRITISH SUNDIAL SOCIETY

1. *Editorial* ; 2. The Tetrahedron Cairn - Mark Lennox-Boyd ; 5. Andrew Somerville and his Snow Obelisk Dial - James Holland ; 6. Bratwursts, Vineyards and Sundials - Dennis Cowan ; 9. Postcard Potpourri 33. Old Market Cross, Mansfield, Nottinghamshire Peter Ransom 10. What Happened to the Raunsliffe Hall Dial? Martin Jenkins 12. Readers' Letters - Halama, Morrison-Low, Cowan ; 14. A Visit to British Columbia, Canada, for the 2015 NASS Conference - Jackie Jones 18. A Transylvanian Analemmatic Sundial Revisited - Dan Uza ; 20. Tempus Fugit! - Ian Batson ; 21. Who Made these English Dials? - Mike Cowham 23 Most Enjoyed Article 2014 ; 24. Sundials in Seattle - Douglas Bateman ; 27. 'Langlois Slot' Time Frog and Time Toad - Malcolm Bishop ; 28. Horizontal Azimuth Dials - Mike Cowham ; 32. In the Footsteps of Thomas Ross: Part 13. The One That Got Away - Nearly - Dennis Cowan 35. A Disregarded Seventeenth-Century Horizontal Dial from Scotland - John Davis 37. Newbury One-Day Meeting 26 September 2015 - Ian Batson and Douglas Bateman ; 40. Book Review – Food ; 41. Double Restoration at Barnes - Keith Scobie-

Youngs ; 42. Designing Sundials Using 3D Drawing Software: Implementing the BSS Horizontal Sundial - Phil Walker ; 44. A Medieval Sundial from the Benedictine Monastery of Kaposszentjakab (Somogy County, Hungary) - Maté Varga and Sándor Keszthelyi 48. Holiday Pictures - Douglas Bateman.



VOLUME 28 (i) - mars 2016 (sur papier) de la BRITISH SUNDIAL SOCIETY

I. Editorial ; Using a Sledgehammer to Crack a Nut? - *Frank King* ; 2 Three Sundials in a Country House Garden - *Nicholas M. Duke-Cox* 6. Dial Dealings 2015 - *Mike Cowham* ; 9 Reader's Letter – *Hogbin* ; 10 A Sundial from a Dublin Maker - *Adrian Le Harivel* 11 Dig for Victory' Sundial - *Martin Jenkins* ; 12 Could Anyone Mistake this for a Scratch Dial? - *Derek Humphries* ; 13 Kitchener's Sundial in Palestine - *Tommcr Grossberger*; *A mir Freund! ich and John Davis* ; 17 Sunrays Change Edges on Sharp-Edged Gnomons - *Tony Moss* ; 18 The Decorative Dials of Coaraze, Cote d'Azur, France - *Mike Cowham* ; 20 New Dials (1): Doha, Qatar, Analematic Dial - *Howard Peel* ; 21 An Unrecorded Transitional Mass Dial at Bixley, Norfolk - *John Davis* ; 25 Postcard Potpourri 34: Decne Park. Corby, Northamptonshire - *Peter Ransom* ; 26 In the Footsteps of Thomas Ross. Part 14: Aberdour Castle - *Dennis Cowan* ; 29 A Local Garden Centre Sundial - *Mike Cowham* ; "à What Happened to the Calverley Sundial? - *Derek Humphries* ; 31 Equatorial Sundial in India - *Frank King* ; 32 New Dials (2): Armillary Sphere in South Wales - *Brad Dillon* ; Holiday Sundial Sightings - *David Payne* 33. Trustees' Annual Report 201 5-16 ; "– BSS Accounts for the Year Ended 31st December 2015.



VOLUME 28 (ii) - juin 2016 (sur papier) de la BRITISH SUNDIAL SOCIETY

Editorial ; 2 A Mystery Welsh Horizontal Dial - *John Davis* ; 6 Postcard Potpourri 35: The High Hall, Steeton, Keighley, West Yorkshire - *Peter Ransom* ; 7 A Scottish Sundial Holding Secrets - *A las fair Hunter* ; 13 New Dial: A Direct East Moon Dial – *Da' idBrown* ; 14 A French Three-in-One Dial - *Mike Cowham* ; 15 Reader's Letter – *Turner* ; 15 Kitchener's Sundial in Palestine: Further Information - *John Davis* ; 16 BSS Sundial Awards 2010-15 ; 19 Beware Elephants! - *John Food* ; 20 In the Footsteps of Thomas Ross. Part 15: Sundials on Scottish Churches - *Dennis Cowan* ; 26. An Early English Horizontal Dial - *John Davis* ; 29. Grand Garden Dials in 1908 - *Marlin Jenkins* ; 34. Newly Reported Dials, 2015 - *John Food* ; 39 Crossword Puzzle - *John Lester* ; 40 BSS Photographic Competition 2015-16 - *Jan Butson* ; 44. BSS Annual Conference: Liverpool, 15-17 April 2016 - *John Lester and A lastair Hunter* ; 48. Minutes of the 27th BSS Annual General Meeting



La BUSCA de PAPER N° 82 hiverns 2015 (sur papier et CD) de la Societat Catalana de Gnomonica SCG

Editorial 1 ; Nadala. B. Pelejero 3 ; El rellotge de l'ermica de Sant Dimes de Montserrat, per E Farre 4 ; El rellotgede sol romà d'Ador, per J. Olivares 7 ; Fenòmens de la llum solar en rosasses o finestralsr per R Soler 8 ; El primer rellotge de sol a la Vilavella i Nou rellotge de sol a la Valí d'Uixó, per V. Aragonés 12 ; Meridiana de reflexió, per F. Clara 13 ; Rellotged e sol de reflexió. per D. Mira 13 ; Rellotge de sol del CEIP Castellciutat. per J. Vázquez 14 ; Taller de bricolatge (4). Rellóles projectius (iii). per F. Clara 15 ; Els rellotges de sol medievals de Santa Maria de Rubio, per M. Riu i P. Novella 16 ; Museu dispers del rellotge (i)r, per E Farré 20 ; Nou rellotge a Pereslav-Zalessky, per R. Raluy 23 ; Correus de socis i amics 23 ; Quadrants amb hores de pregarles islàmiques, per R. Soler 24 ; Escola de Gnomónicaa Lorca. per Cañones y Novella 26.



La BUSCA de PAPER N° 83 printemps 2016 (sur papier et CD) de la **Societat Catalana de Gnomonica SCG**

Editorial 3 ; Per navegants 3 ; La col·lecció dels rellotges del museu F. Marès de Barcelona (i) per J. Vazquez, S. Rodriguez i E. Farre 4 ; Gestions Gnomòniques 7 ; Els rellotges del campanar de Llagostera, per C. Gonzalez, M. Alba, O. Llobet i B. Ciurana 8 ; Racó literari 12 ; El rellotge de sol canònic de Mora de Rubielos, per P. Novella 15 ; Els dos rellotges de sol de l'ermita de la Mare de Déu dels Torrents, per P. Novella 16 ; Correus de socis i amics 17 ; Taller de bricolatge (5). Rellotges projectius (iv), per F. Clara 18 ; Publicacions rebudes 19 ; La col·lecció de rellotges personals del MDB (v), per E.

Farre 20 ; Museu dispers del rellotge (ii), per E. Farre 24 ; Publicacions rebudes (continuació) 26 ; Un bell quadrant del Palffy Palac (1752), per A.E. Bouchard 27.



Gnomonicae Societas Austriaca

Brochure de mai 2014 concernant les cadrans solaires du Tyrol par Gruss von Heinrich Stocker .



Gnomonicae Societas Austriaca (DvD)

Pour les 25 ans de la Gnomonicae Societas Austriaca, celle-ci publie un DVD regroupant les comptes-rendus et présentations de toutes les réunions de cette période.



Gnomonicae Societas Austriaca (sur papier)

4 Neues aus der Glashütte Annenwalde, Wieder Iwei tetondera tchöne Uhren aus der Glashütte ; **5 Eine Sonnenuhr auf einer Pyramide**, MiloS MoseK errichtete mit Freunder, eine beeindruckende Sonnenuhr, die beim WeHbewtiili.LBombre deltempo" n Italien den ersten Preis gewann ; **14 Eine Gnomonikschule in einem spanischen Kloster**, Das aus dem 16 Jahrtturriert siammaide Kloster San hransisco de Lorca in Murcia. Spanien, beherbergt eine erstaunliche Vielfalt von Lehr-Sorinenilhiran ; **19 Zum Nachdenken**, Zu einer von einem unbekanntem St3r*dort stammendenSonnenuhr ist die Montagefldche einzurid-iten ; **Sonjas Pfad**, De Auflösung der Aufgabe aus Rundschre Öen Nr. 49: Die Schnecke Sonjg öefeldil ihre Augen im Schallen ; **21 Die Jahr&stagung der GSA in Schlägen**, Ein Berich! über die gut gelungene und interessante Jahrcs- tagung unserer Arbeitsgruppe.



Revue de la Japan Sundial Society

Réunion annuelle de 2015 de la JSS ; Présentation pour comprendre le fonctionnement d'un gnomon et réaliser différents cadrans solaires avec une règle et un compas ; Une maison "cadrans solaire" ; Un cadrans digital ; Une pierre solaire ; Un retour de la conférence de 2015 de la NASS ; Des cadrans solaires au Canada Un "voyage cadrans solaires" à Prague ; La fonction du cadrans de Senba-Tohsyougu Shrine à Kawagoe ; Présentation du site de la JSS : <http://www.ne.jp/asahi/sundial/hidokei/>



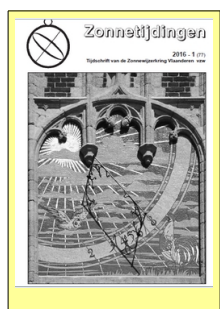
OROLOGI SOLARI N° 10 AVRIL 2016 CGI - Coordinamento Gnomonico Italiano à télécharger sur le site : WWW.ROLOGISOLARI.EU

6 Una Linea Meridiana in casa: Giovanni Battista, Amici (1850) Firenze, Alberi Auber Paolo - Felli Marcello ; 13 La meridiana monumentale di Castletown nell'isola di Man e la App 44, Anselmi Riccardo ; 17 La meridiana di casa "Le Querce": uno sguardo anche dietro le quinte, Brechet Giorgio ; 21 Sun Ephemeris, Casalegno Gianpiero ; 25 Laboratorio di Orologi "Proiettivi" (parte 3), Clara Francesc ; 28 Raffronto di un rilievo topografico con quello con stilo e tavoletta per la determinazione dell'azimut parete, Coco Nicola ; 35 Un banale errore, Ferrari Gianni ; 44 L' HELIOMETRO FISIOCRITICO ovvero la meridiana sanese (parte 2), Goretti Massimo ; 53 Nova fabricandi horaria mobilia et permanentia ... Gunella Alessandro ; 55 Itinerari gnomonici: Bosca Giovanni ; 64 Rassegna riviste di gnomonica: Gunella Alessandro ; 71 Notizie gnomoniche: Ghia Luigi Massimo ; 74 Quiz: Nicelli Alberto.



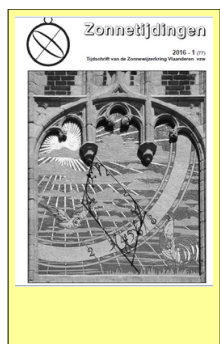
SONNE + ZEIT n°51 juin 2016 (sur papier) du Groupe de travail pour les cadrans solaires de l'Osterreichische Astronomical Society

Der babylonische kalender 4 ; Ein neues buch über sonnenuhren 7 ; Lösung der nachdenk-aufgabe aus RS 50 8 ; Zun nachdenken 12 ; neues aus der bucckligen weit 12 ; Drei neue sonnenuhren 14 ; Astrologie und sonnenuhren 16 ; Planetenstunden 21 ; Eine kleine bildergalerie 24.



Zonnetijdingen 2016-1 (sur papier) de la Zonnewijzerkring Vlaanderen VZW

N° 77 : Préface ; Les cadrans solaires de Lierre, Porte de la Campine ; Le point culminant du soleil ne se trouve pas toujours dans le plan méridien du lieu d'observation ; Le cadran solaire de Giovanni Caddèi (Taddeï ?) ; Entre Bernkastel et Traben-Trarbach ; Le vol du cadran solaire d'Oteppe ; La « Sundial Mailing List » ; En souvenir des Cathares ; Un authentique cadran solaire suisse ; Méditations d'un gnomoniste ; Nouvelles des associations.

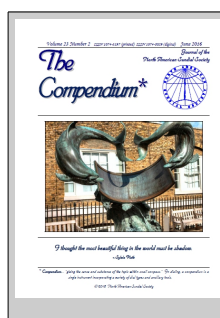


Zonnetijdingen 2016-2 (sur papier) de la Zonnewijzerkring Vlaanderen VZW

N° 78 : Avant-propos ; Les heures de Nuremberg : un compromis remarquable ; Les cadrans solaires de la ville de Renaix ; Méditations d'un gnomoniste ; Maquette de cadran solaire n° 82 d'Aimé Pauwels ; Projet d'un anneau solaire massif avec analemme ; Nouvelles des associations.

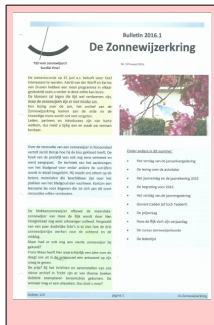
La liste complète des articles parus jusqu'à présent peut être consultée sur notre site :

<http://www.zonnewijzerkringvlaanderen.be/data/index/FR/16>



The COMPENDIUM vol 23-2 juin 2016 (sur CD) de la NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY

Editor's Note 1, The Tove's Nest, Digital Bonus ; The Properties Of Shadows In Dialing Gianni Ferrari 2 ; The Shadow Sharpener Gianni Ferrari 36



Bulletin 2016.1 mars 2016 (sur papier) **De Zonnewijzerkring**

Colofon, Secretariaat ; Bijeenkomsten 2016, Secretariaat ; Zomerexcursie 25 juni 2016, A. v.d. Werff & K. v. Drunen ; De Philips Lighting zonnewijzer in Roosendaal, J. Borsje ; De blokkenzonnewijzer, H. Hoogenraad ; Nogmaals de zonnewijzer van Giovanni Caddei (of toch Taddei?), F. Maes ; Prijsvraag, F. Maes ; Personalia, Secretariaat ; De cursus zonnewijzerkunde, Secretariaat ; Verslag bijeenkomst 16 januari 2016, Secretariaat



Toutes les sociétés gnomoniques étrangères peuvent faire paraître des informations dans cette rubrique.

This heading is open at every gnomonic society.

Pour utilisation personnelle, des articles peuvent être numérisés et envoyés à nos membres par mails, téléchargement ou par courrier (Prix de la page au tarif de la SAF + frais d'envoi suivant poids.)

Merci à Dominique Collin pour sa relecture attentive.

Articles en réserve

- Riccardo Anselmi : réalisation d'un cadran à réflexion.
- J-P. Cornec : description d'une maquette de cadran sidéral.
- Jean-Rieu : restauration du cadran fait à Montagnieu (Isère), en 1936, par le Père Bernard Kart .
- Michel Ugon : les cadrans de Meyriès.

Informations arrêtées le 19 août 2016

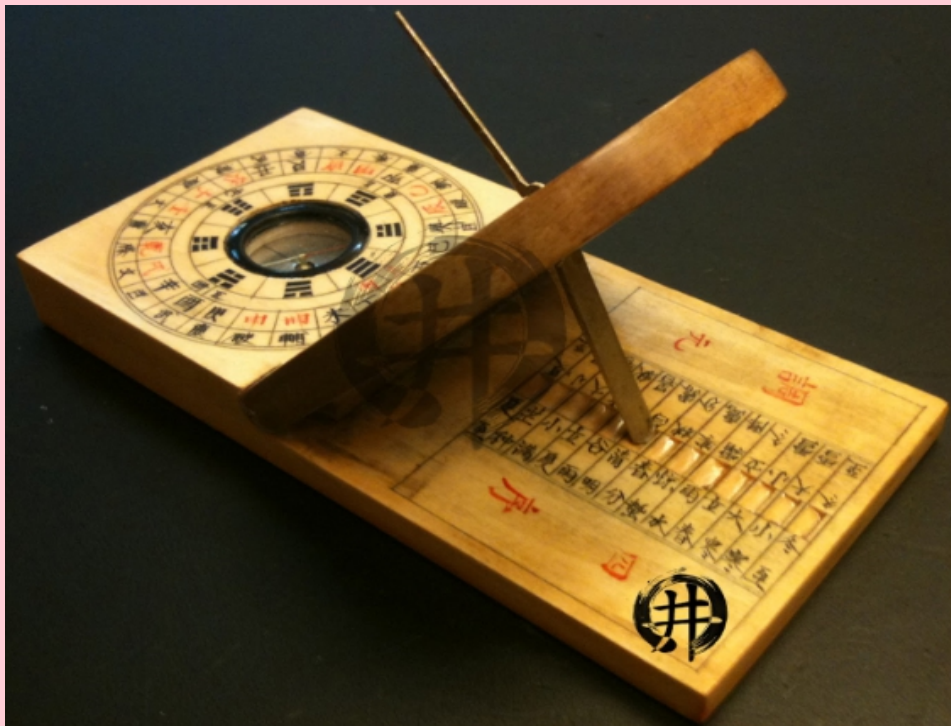


Photo D. Savoie

Pseudo-cadran solaire chinois portable