

Au Sommaire :

- **Vérification de la méridienne de l'Observatoire de Paris**
- **Une horloge "héliocaustique"**

- **Histoire**

Cadran multiple de 1662, table de Saint Julien, bloc gnomonique du XVIIe .
Le R.P Mermet et les cadrans.
Cadrans lyonnais avant 1770.
Les méridiennes du cardinal Luynes.

- **Réalisations**

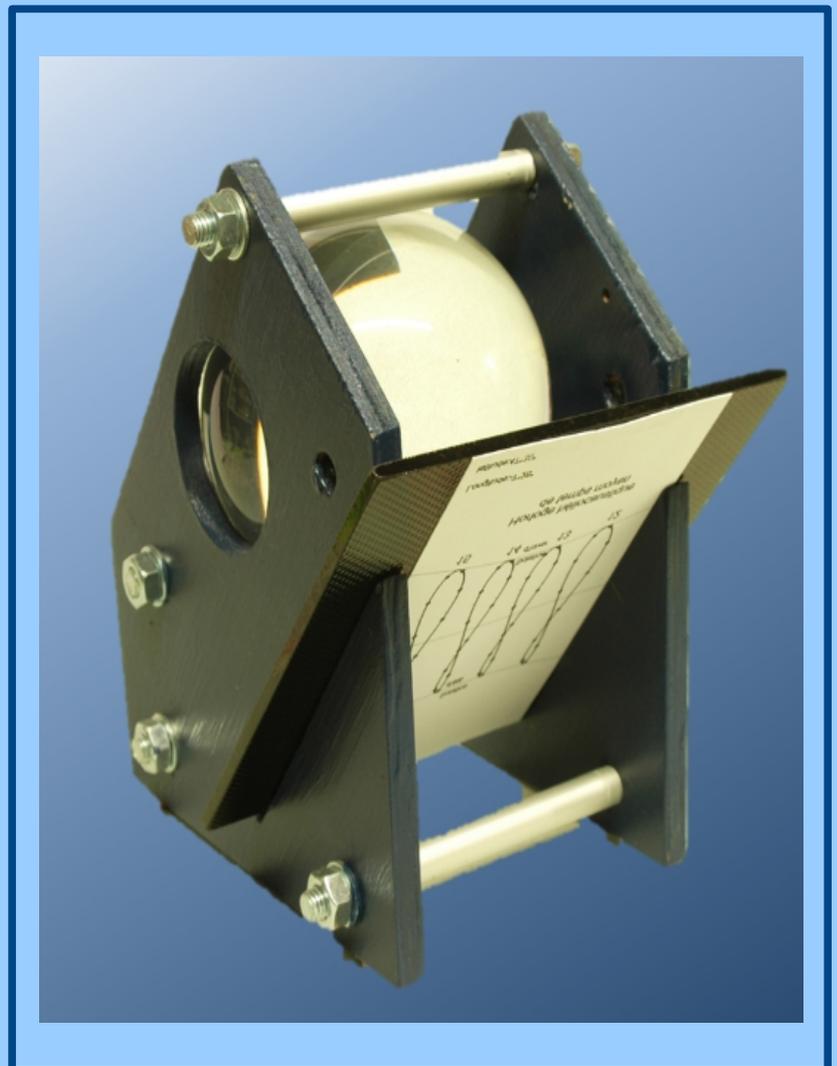
Cadrans "Gahon".
Cadran de Kratzer.
Tracé de méridiennes.

- **Etudes**

Cadran canonial de Lindos.
Heures de prières sur les quadrants astrolabiques maghrébo-andalous.
Cadrans catacaustiques à miroir de Lamé.
Ecole de gnomonique à Lorca.

- **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, astrolabes, nocturlabes du monde en octobre.
- ° Accès aux études, livres numérisés, logiciels (sur demande : liste des offres, liste des 595 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° 33, Summary in French, English, German, Spanish, Italian

Sommaire en allemand, anglais, espagnol, italien : traduction de Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		1
Les méridiennes du cardinal de Luynes : biographie et description des méridiennes du prélat.	Aubry Gérard	9
Tracé astronomique d'une méridienne : compilation de quelques méthodes « historiques » utilisées à la fin du XVIIe siècle pour déterminer et tracer les méridiennes.	Aubry Gérard	22
Ecole de gnomonique à Lorca : visite d'une école de gnomonique de la fin du XVIIIe siècle à Lorca, région de Murcie en Espagne.	Canones Antonio J. & Novella Pedro	38
Cadran catacaustique : cadran solaire équatorial à réflexion dont le miroir épouse le profil d'une courbe de Lamé.	 Collin Dominique	54
Méridienne de l'Observatoire de Paris : résultats de la vérification de la ligne méridienne réalisée de juin 2011 à janvier 2012.	Descamps Pascal	68
Cadrans du Père Ménéstrier : cadrans lyonnais antérieurs à 1770, les cadrans du Père Ménéstrier au Collège de la Trinité.	Gagnaire Paul	78
Bloc gnomonique du XVIIe siècle : Histoire et description d'un bloc gnomonique en bronze du XVIIe siècle découvert dans un grenier.	Gagnaire Paul	95
Le cadran de Kratzer : essai de reconstitution d'un cadran solaire représenté sur deux tableaux du XVIe siècle du peintre allemand Hans Holbein.	Lehebel Jacques & Peron Renée	107
Boussoles solaires : présentation de deux boussoles solaires conçues par A. Marchal.	Marchal André	118

Les heures de prières sur les cadrans astrolabiques maghrébo-andalous : principe et mode d'emploi des cadrans astrolabiques musulmans. Comparaison des courbes de prière.		Mercier Eric	122
Le R.P Mermet et les cadrans solaires : à partir d'un travail de recherche sur les cadrans de l'abbé Guyoux, des cadrans dont on ignorait l'origine ont pu être attribués au R. P. Mermet.		Rieu Jean	131
Cadran canonial de Lindos : approche sur la décoration du cadran canonial des Hospitaliers à Lindos sur l'île de Rhodes.		Schneider Denis	137
Encore Saint Julien : reprises des tableaux avec les signes astrologiques et le paragraphe d'analyse de M5 ainsi que la liste des signes du cadran M1.		Ugon Michel	139
Cadran multiple de 1662 : analyse du cadran		Ugon Michel	145
Horloge héliocaustique : utilisation d'un faisceau de lumière engendré par une boule en verre éclairée par le Soleil pour indiquer l'heure locale sur un écran plan.		Ziegeltrum Francis	164
Informations diverses : <ul style="list-style-type: none"> ◦ découvertes de cadrans au Mont Sainte Odile, ◦ cadrans originaux de Cl. Gahon, ◦ cadran équatorial de l'abbé Berthiaud, ◦ Détermination de la qibla, ◦ La gnomonique dans les écoles, ◦ cadran sphère, gnomoscope, héliographe, horizontoscope ◦ Echanges sur la table de Saint Julien, ◦ Utilisation du logiciel DesCad de Yvon Massé ◦ nouvelles publications, ◦ gnomonique du monde. 		Contributeurs D.Collin, P.L Cambefort, Cl.Gahon, P. Juillot, P. Labat, Y. Massé, E.- Mercier Jean-Marie Poncelet, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, M. Ugon, Sociétés étrangères.	182 à 204

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 : Horloge héliocaustique de Francis Ziegeltrum

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° 33

Inhaltsverzeichnis auf Deutsch, English, Spanisch, Italienisch: Übersetzung von Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		1
Die Meridiane des Kardinals von Luynes : Biographie und Deskription der Meridiane des Prälaten.	Aubry Gérard	9
Astronomische Zeichnung einer Meridiane : einiger « historischen » Methoden um die Meridiane zu berechnen und zu zeichnen im Gebrauch am Ende des 17. Jh.	Aubry Gérard	22
Gnomonische Schule in Lorca : Besuch einer gnomonischen Schule des Ende des 18. Jh. In Lorca, Region von Murcia in Spanien.	Canones Antonio J. & Novella Pedro	38
Katakaustische Sonnenuhr : Äquatoriale Reflexionssonnenuhr, wo der Spiegel den Profil einer Kurve von Lamé nimmt.	Collin Dominique	54
Méridienne de l'Observatoire de Paris : résultats de la vérification de la ligne méridienne réalisée de juin 2011 à janvier 2012.	Descamps Pascal	68
Sonnenuhren des Pater Ménéstrier : Sonnenuhren aus Lyon vor 1770, in der Kollegium der Trinität.	Gagnaire Paul	78

Gnomonischer Stück des 17. Jh. : Geschichte und Deskription eines in einem Speicher entdeckten gnomonischen Stück aus Bronze des 17. Jh.		Gagnaire Paul	95
Die Sonnenuhr von Kratzer : Versuch der Rekonstruktion einer auf zwei Gemälde des deutschen Maler Hans Holbein des 16. Jh. zeichnete Sonnenuhr.		Lehebel Jacques & Peron Renée	107
Solarkompass : Präsentation von zwei von A. Marchal konzipierten Solarkompass.		Marchal André	118
Die Gebetstunden auf die astrolabischen Quadranten des Maghreb und Andalusien : Prinzip und Einleitung des moslemische astrolabische Quadranten. Vergleich des Gebetskurven.	☞	Mercier Eric	122
Der Pater Mermet und die Sonnenuhren : ab einer Forschungsarbeit über die Sonnenuhren des Abt Guyoux, Sonnenuhren, von welchen der Autor unbekannt war konnten auf den Pater Mermet zurückgegeben werden.		Rieu Jean	131
Kanonische Sonnenuhr von Lindos : Studie über der Dekoration der Kanonischen Sonnenuhr der Hospitaliers in Lindos auf der Insel Rhodos.		Schneider Denis	137
Wieder Sankt Julian : neue Arbeit über die Tabellen mit den astrologischen Zeichen und dem Analyse Absatz von M5, sowie die Liste der Zeichen der Sonnenuhr M1.		Ugon Michel	139
Multiple Sonnenuhr von 1662 : Analyse der Sonnenuhr		Ugon Michel	145
Heliokaustische Uhr : Verwendung eines mit einer von der Sonne beleuchteten Glaskugel verursachten Lichtstrahl um die lokale Uhrzeit auf einem flachen Bildschirm zu zeigen.		Ziegeltrum Francis	164
Verschiedene Informationen : <ul style="list-style-type: none"> ◦ Entdeckungen von Sonnenuhren auf dem Mont Sainte Odile, ◦ Originale Sonnenuhren von Cl. Gahon, ◦ Äquatoriale Sonnenuhr vom Abt Berthiaud, ◦ Determination der Kibla, ◦ Die Gnomonik in den Schulen, ◦ Sphärische Sonnenuhr, Gnomoskop, Heliograph, Horizontoskop, ◦ Austausch über dem Tisch von Sankt Julian, ◦ Benutzung des Programms DesCad von Yvon Massé ◦ neue Publikationen, ◦ Gnomonik der Welt. 	☞	Kontributionen D.Collin, P.L Cambefort, Cl.Gahon, P. Juillot, P. Labat, Y. Massé, E.Mercier Jean-Marie Poncelet, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, M. Ugon, Ausländische Gesellschaften.	182 à 204

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° 33

Sumario en alemán, inglés, español, italiano : traducción de Y. Opizzo, M. Lambalieu, D. Collin, R. Anselmi		1
Los meridianos del cardenal de Luynes : biografía y descripción de los meridianos del prelado.	Aubry Gérard	9
Trazado astronómico de un meridiano : compilación de algunos métodos "históricos" utilizados al final del XVII siglo para determinar y trazar los meridianos.	Aubry Gérard	22
Escuela de gnomónica en Lorca : visita de una escuela de gnomónica del final XVIII del siglo en Lorca (Murcia, España).	Canones Antonio J. & Novella Pedro	38
Cuadrante catacústico : reloj de sol ecuatorial a reflexión cuyo espejo se amolda a la forma de una curva de Lamé.	 Collin Dominique	54
Méridienne de l'Observatoire de Paris : résultats de la vérification de la ligne méridienne réalisée de juin 2011 à janvier 2012.	Descamps Pascal	68
Cuadrantes del padre Ménestrier : Cuadrantes lioneses previos a 1770, los cuadrantes del Padre Ménestrier al colegio de Trinidad.	Gagnaire Paul	78
Bloque gnomónico del XVII siglo : Historia y descripción de un bloque gnomónico en bronce XVII del siglo descubierto en un desván.	Gagnaire Paul	95
El cuadrante de Kratzer : prueba de reconstitución de un reloj de sol representado sobre dos cuadros del XVI siglo del pintor alemán Hans Holbein.	Lehebel Jacques & Peron Renée	107
Brújulas solares : presentación de dos brújulas solares concebidas por A. Marchal.	Marchal André	118
Las horas de oración sobre los cuadrantes astrolabicos andaluces maghrébo : principio y método de empleo de los cuadrantes astrolabicos musulmanes. Comparación de las curvas de oración.	 Mercier Eric	122
El R.P Mermet y los relojes de sol : a partir de una labor de investigación sobre los cuadrantes del abate Guyoux, de los cuadrantes cuyos se desconoce el origen pudo asignarse al P.R. Mermet.	Rieu Jean	131
Cuadrante canónico de Lindos : estudio sobre la decoración del cuadrante canónico del Hospitalarios a Lindos sobre la Rodas.	Schneider Denis	137
De nuevo Santo Julien : reanudaciones de los cuadros con las señales astrológicas y el apartado de análisis de M5 así como la lista de las señales del cuadrante M1.	Ugon Michel	139

Cuadrante múltiple de 1662 : análisis del cuadrante.		Ugon Michel	145
Reloj héliocaustique : utilización de un haz luminoso generado por una bola en vidrio encendida por el Sol para indicar la hora local sobre una pantalla plana.		Ziegeltrum Francis	164
Distinta información : <ul style="list-style-type: none"> ° Descubrimientos de cuadrantes al Monte Santa Odile, ° Cuadrantes originales de Cl. Gahon, ° Cuadrante ecuatorial del abate Berthiaud, ° Determinación del qibla, ° Gnomónica en las escuelas, ° Cuadrante esfera, gnomoscope, heliógrafo, horizontoscope ° Intercambios sobre la mesa de Santo Julien, ° Utilización del programa informático DesCad de Yvon Massé ° Nuevas publicaciones, ° Gnomónica del mundo. 		Contribuidores D. Collin, P.L Cambefort, Cl. Gahon, P. Juillot, P. Labat, Y. Massé, E. Mercier Jean-Marie Pon- celet, J. Rieu, Ph. Sauvageot, D. Savoie, J. Scordia, M. Ugon, sociedades extranjeras.	182 à 204

 Indicado que el estudio detallado o el programa informático se incluyen en el archivo "Anexo" de la versión numérica.



GB : Contents Cadran-Info n° 33

Sommaire en allemand, anglais, espagnol, italien : traduction de Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi			1
Cardinal de Luynes's meridian sundials : biography and description of prelates's meridians		Aubry Gérard	9
Astronomic outline of a meridian sundial : compilation of some "historical" methods in use during last XVII th century to determine and draw meridian sundials.		Aubry Gérard	22
Gnomonic school in Lorca : visit to a late XVIIIth century gnomonic school in Lorca, Murcie place in Spain.		Canones Antonio J. & Novella Pedro	38
Catacaustic sundial : reflective equatorial sundial with Lame curve shape mirror.		Collin Dominique	54
Méridienne de l'Observatoire de Paris : résultats de la vérification de la ligne méridienne réalisée de juin 2011 à janvier 2012.		Descamps Pascal	68
Father Menestrier's sundials : Lyon sundials before 1770.Trinity college Father Menestrier's sundials.		Gagnaire Paul	78
XVIIth century gnomonic stone : history and description of a bronze block discovered in an attic.		Gagnaire Paul	95
Kratzer's sundial : attempt to recreate a sundial displayed on two XVIth century paintings made by the german painter Hans Halbein.		Lehebel Jacques & Peron Renée	107

Solar compass : two solar compasses built by A. Marchal presentation.		Marchal André	118
Prayer hours on astrolabic maghrebo-andalous quadrants : principle and user instructions to use muslim astrolabic quadrants. Comparison between prayer curves.	☞	Mercier Eric	122
Reverend Mermet and sundials : starting from research studies about Guyoux priest's sundials, unknown source sundials have been assigned to reverend Mermert.		Rieu Jean	131
Lindos canonical sundial : approach about ornament of the Hospitaliers canonical sundial at Lindos (Rhodes island).		Schneider Denis	137
St Julien again : recovery of tables with astrological signs and M5 analysis part together with the signs list of M1 sundial.		Ugon Michel	139
Multiple 1662 sundial : analysis of the sundial.		Ugon Michel	145
Heliocausic clock : use of a light path created by a glass ball enlightened by the sun to indicate local hour on a flat plan.		Ziegeltrum Francis	164
Miscellaneous information : Sundials discovery at Mont St Odile Cl. Gahon' odd sundials Berthiaud abbot's equatorial sundial Qibbla determining Gnomonic at school Spherical sundial, gnomoscope, heliograph, horizontoscope Exchanges about St Julien's table Use of Yvon Massé's Descad software New publications World gnomonic	☞	Contributeurs D.Collin, P.L Cambefort, Cl.Gahon, P. Juillot, P. Labat, Y. Massé, E.- Mercier Jean-Marie Poncelet, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, M. Ugon, Sociétés étrangères.	182 à 204

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



I: Indice Cadran-Info n° 33

Sommario in tedesco, inglese, spagnolo : traduzioni di Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi			1
Le meridiane del cardinal de Luynes : biografia e descrizione delle meridiane del prelado.		Aubry Gérard	9
Tracciato astronomico di una meridiana : compilazione di alcuni metodi «storici» utilizzati alla fine del XVII secolo per determinare e tracciare le meridiane.		Aubry Gérard	22
Scuola di gnomonica a Lorca : visita di una scuola di gnomonica della fine del XVIII secolo a Lorca, regione della Mursia in Spagna.		Canones Antonio J. e Novella Pedro	38
Quadrante catottrico : quadrante solare equatoriale a	☞	Collin Dominique	54

riflessione il cui specchio sposa il profilo di una curva di Lamé.		
Méridienne de l'Observatoire de Paris : résultats de la vérification de la ligne méridienne réalisée de juin 2011 à janvier 2012.	Descamps Pascal	68
Quadranti di Padre Ménestrier : quadranti lionesi anteriori al 1770, i quadranti di Padre Ménestrier al Collegio della Trinità.	Gagnaire Paul	78
Blocco gnomonico del XVII secolo : Storia e descrizione di un blocco gnomonico in bronzo del XVII secolo scoperto dentro un granaio.	Gagnaire Paul	95
Il quadrante di Kratzer : prova di ricostituzione di un quadrante solare rappresentato su due tavole del XVI secolo del pittore tedesco Hans Holbein.	Lehebel Jacques & Peron Renée	107
Bussole solari : presentazione di due bussole solari concepite da A. Marchal.	Marchal André	118
Le ore di preghiera sui quadranti astrolabici magrebo-andalusi : principio e modo d'impiego dei quadranti astrolabici musulmani. Comparazione delle curve di preghiera.	 Mercier Eric	122
Il R.P Mermet ed i quadranti solari : a partire da un lavoro di ricerca sui quadranti dell'abate Guyoux, alcuni quadranti di cui si ignorava l'origine possono essere attribuiti a R. P. Mermet.	Rieu Jean	131
Quadrante canonico di Lindos : approccio sulla decorazione del quadrante canonico degli Ospedalieri a Lindos sull'isola di Rodi.	Schneider Denis	137
Ancora Saint Julien : riprese delle tavole con i segni astrologici e il paragrafo d'analisi di M5 tanto quanto la lista dei segni del quadrante M1.	Ugon Michel	139
Quadrante multiplo del 1662 : analisi del quadrante	Ugon Michel	145
Orologio eliografico : utilizzazione di un fascio di luce ottenuto con una sfera di vetro illuminata dal Sole per indicare l'ora locale su di uno schermo piano.	Ziegeltrum Francis	164
Informazioni diverse : <ul style="list-style-type: none"> ° scoperte di quadranti al Mont Sant' Odile, ° quadranti originali di Cl. Gahon, ° quadrante equatoriale dell'abate Berthiaud, ° Determinazione della qibla, ° La gnomonica nelle scuole, ° il quadrante sferico, lo gnomoscopio, l'eliografo e l'orizzontoscopio ° Cambiamenti sulla tavola d San Julien, ° Utilizzazione del programma DesCad di Yvon Massé ° nuove pubblicazioni, ° gnomonica del mondo. 	 Contributori : D.Collin, P.L Cambefort, Cl.Gahon, P. Juillot, P. Labat, Y. Massé, E.- Mercier Jean-Marie Poncelet, J. Rieu, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, M. Ugon, Società straniera.	182 à 204

 Indica che lo studio dettagliato o il logiciel è incluso nel dossier "annesso" della versione numerica.



Les méridiennes du cardinal de Luynes

Gérard Aubry

Ce prélat du XVIII^e siècle est bien connu des gnomonistes : il possédait un anneau astronomique décrit dans un ouvrage de Bedos de Celles. Notre Cardinal, amateur éclairé d'astronomie, utilisa un grand nombre d'instruments dont au moins cinq méridiennes horizontales malheureusement toutes disparues.

BIOGRAPHIE SUCCINCTE

La famille

Paul d'Albert de Luynes (1703 – 1788) est issu d'une très riche famille noble et ducale qui gravite dans l'environnement des rois de France depuis Louis XIII¹.

En effet, son grand-père, le 3^e duc de Luynes, était conseiller de Louis XIV ; il épousa la fille de Colbert. Le grand-père de son grand-père n'était autre que le célèbre Charles d'Albert, premier duc de Luynes, favori et connétable de Louis XIII.

Paul, notre cardinal, orphelin de bonne heure, a un frère et une sœur. Son aîné deviendra le 4^e duc de Luynes et sera le mémorialiste de la cour de Louis XV.



Fig. 1. Le jeune évêque de Bayeux

L'homme d'église et de Cour

Paul épouse la carrière ecclésiastique par obligation. En 1729, à l'âge de 26 ans, il est nommé, par le Roi Louis XV, évêque de Bayeux. Il le restera jusqu'en 1753. Partageant son temps entre Bayeux et la Cour, il fait partie, avec son frère, du cercle de la reine Marie Leszczyńska et du Dauphin - père de Louis XVI, Louis XVIII et Charles X. En 1743, il devient membre de l'Académie Française, évinçant un autre candidat, Voltaire, qui n'était pas apprécié par le Roi, à cette époque. En 1747, notre évêque sera nommé premier aumônier de la Dauphine.

En 1753, il se rapproche de la Cour ; il devient archevêque de Sens, fonction qu'il exercera jusqu'à sa mort en 1788. Il sera cardinal en 1756 mais n'aspira pas à changer de diocèse à cette création.

¹ Il existe encore, de nos jours, des descendants de la famille de Luynes qui ont conservé le titre de duc.

L'homme de science

Grand amateur d'astronomie, de géographie et de physique, il devient membre honoraire de l'Académie des Sciences en 1755. Il réalise plusieurs observations astronomiques intéressantes, à Bayeux, avec Outhier, son secrétaire, qui fait le « Voyage au Nord » avec Pierre Louis Moreau de Maupertuis. Il poursuivra ses observations à Sens, Fontainebleau et dans son hôtel de Versailles. Elles sont transcrites dans les recueils de l'Académie des sciences entre 1743 et 1777².

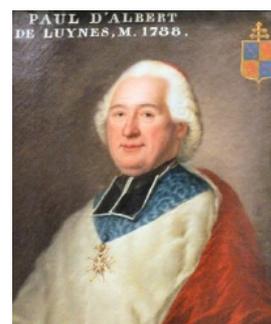


Fig.2. L'archevêque et cardinal. Musées de Sens

LES MERIDIENNES DU CARDINAL

Fort intéressé donc, par tout ce qui touche aux sciences, il s'attache, à Bayeux, un curé, l'abbé Outhier qui partage sa passion. Il en fait son secrétaire scientifique « spécialisé » probablement en 1733. Cette coopération durera jusqu'en 1753, date à laquelle Luynes rejoindra Sens.

1 - La méridienne de Caen

En 1733, l'abbé Outhier, correspondant de Jacques Cassini à l'Académie des Sciences, va participer à la détermination géodésique de la perpendiculaire à la Méridienne de Paris (Paris – St Malo). On le retrouve à Caen, sur les terres de l'évêque qui y possède un « palais ». Ce dernier accueille toute l'équipe d'astronomes-géodésiens et, à l'abbaye aux

Dames (abbaye bénédictine) où une de ses parentes est abbesse, l'équipe de Cassini trace une méridienne – par besoin géodésique et aussi peut-être suivant les désirs de leur hôte – qu'Outhier affinera plus tard, étant au service de Monsieur de Luynes et en tant que membre de l'Académie des sciences, arts et belles-lettres de Caen³.

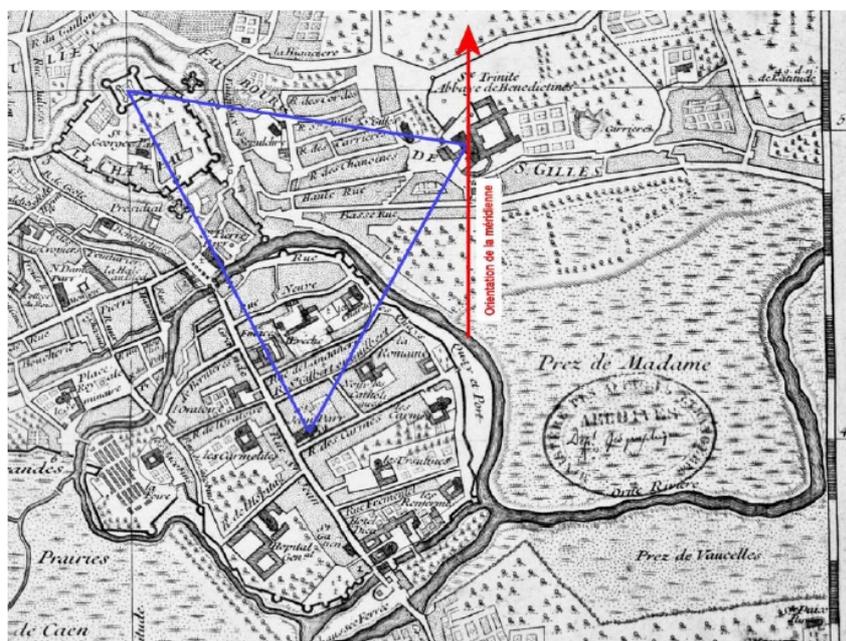


Fig. 3. Localisation des lieux d'observation (en bleu) et de la méridienne (en rouge) sur une carte de Caen de l'abbé Outhier.

2 Pour une biographie un peu plus détaillée, voir dans Wikipédia les pages correspondant aux personnages cités.

3 Charma & Mancel, *Le père André*, t. II, Paris, Hachette, 1856, p. 22, [lire en ligne](#).

« Messieurs Cassini et Maraldi à Caen marquent les principaux points d’une méridienne à l’abbaye aux Dames : M. Outhier l’acheva. – [Ils] Observèrent encore sur la tour St Jean, et sur le donjon du château... »

Cette méridienne probablement horizontale, a pu correspondre, initialement, à un besoin géodésique : vérification de l’orientation de la chaîne de triangles de la Perpendiculaire en arrivant à Caen ; orientation, encore, des instruments d’observation sur le donjon du château, par une triangulation auxiliaire entre les trois lieux cités. De cette méridienne, il ne reste rien, aujourd’hui, ni au sol, ni dans les archives.



Fig.4 . L’abbaye aux Dames.

2 – La méridienne de Bayeux

Au retour de St Malo, Cassini et son équipe passent par Bayeux, résidence principale de l’évêque qui les a probablement invités. Ils y restent quelques jours, effectuant des relevés géodésiques localisant la ville et déterminant la latitude astronomique du lieu. Pendant leur séjour, ils tracent une autre méridienne dans la bibliothèque de l’évêché, événement relaté dans les Mémoires de l’Académie des Sciences par Jacques Cassini⁴ :

« Nous fîmes diverses observations de hauteur du Soleil, d’étoiles fixes, & principalement de l’Etoile polaire, dans le Palais épiscopal qui joint à la Cathédrale, & où M. l’Evêque de Bayeux a fait tracer dans sa bibliothèque une grande Méridienne, avec des lignes qui marquent les heures avant & après midi, de cinq en cinq minutes, par M. l’Abbé Outhier qui a travaillé avec nous à la description de la Perpendiculaire depuis Caen jusqu’à St Malo. »

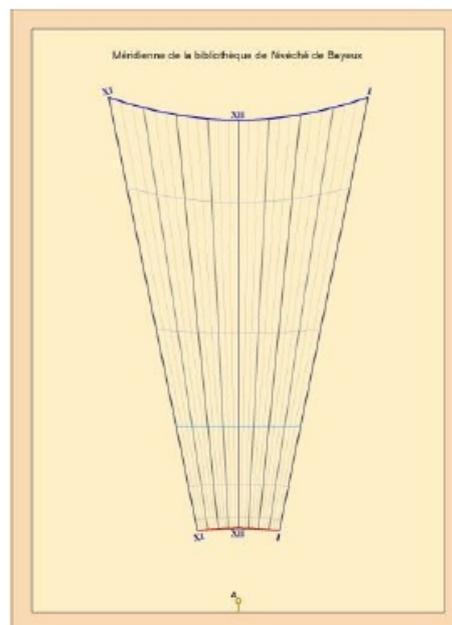


Fig. 5 . La méridienne supposée d’Outhier.

⁴ Cassini II, *De la carte de France et de la perpendiculaire à la méridienne de Paris*, dans *Histoire de l’Académie royale des Sciences, Mémoires*, 1733, p.404-405, [lire en ligne](#). Cette méridienne est notée dans l’ouvrage d’Andrée Gotteland, *Les méridiennes du monde et leur histoire*, p. 220, avec une référence à Rivard.

Comme pour la méridienne de Caen, cette dernière, horizontale, a été mise en place pour besoins géodésiques ; Bayeux deviendra d'ailleurs le sommet d'un grand triangle de la description géométrique de la France dont la carte sera publiée en 1744.

Cette méridienne a vraisemblablement servi par la suite à l'évêque et à Outhier pour leurs observations personnelles. Certaines observations d'éclipses de Lune et de Soleil ont été rapportées dans les Mémoires de l'Académie des Sciences⁵. Les instants de ces observations y sont consignés arrondis à cinq ou dix secondes près. Cette large transcription est surtout liée à la difficulté de bien voir les instants des événements, mais aussi, je pense, à l'incertitude de saisie de l'heure de la pendule par rapport à la méridienne. Pour l'anecdote, dans leur observation de l'éclipse de Lune de 1749, l'exploitation des informations saisies a donné une différence de longitude entre Paris et Bayeux de 1675 m par rapport aux longitudes d'aujourd'hui ; soit, avec une incertitude sur l'heure évaluée à $\pm 2,5$ s, un résultat de 1675 ± 750 m - ce qui est une bonne performance pour une éclipse de Lune, à l'époque.



Fig.6 . Localisation de la méridienne dans la bibliothèque du palais épiscopal.

La localisation de la bibliothèque de l'évêché est connue. Elle se trouvait orientée au sud-sud-est, à l'étage d'un bâtiment, au-dessus des écuries du palais épiscopal. Ce bâtiment a été malheureusement démoli au XIX^e siècle et reconstruit depuis, pour d'autres fonctions, au même emplacement.

⁵ *Mémoires de l'Académie*, années 1745, 1748, 1749, 1750.



Fig. 7. Le bâtiment actuel

3 - La méridienne de Sommervieu

Sommervieu est la maison de campagne de l'évêque à 3 km au N-E de Bayeux.



Fig. 8. La maison de campagne de l'évêque.

Cassini II rapporte, dans les Mémoires de l'Académie, des observations effectuées par l'évêque et Outhier d'une éclipse (occultation) de Jupiter par la Lune⁶ :

« Le 17 juin 1744, M. l'évêque avait réglé depuis longtemps sa pendule par le passage de plusieurs étoiles fixes dans la lunette d'un arc de cercle scellé très solidement dans le mur depuis trois ans, & vérifié souvent ; ainsi il en connaissait exactement la marche, & il a pris avant et après l'observation, le passage du Soleil par le méridien à une méridienne fort juste & fort solide qu'il avait vérifiée depuis quinze jours par des hauteurs correspondantes prises avec tout le soin possible. »

Le type de cette méridienne n'est pas connu. M. de Luynes et l'abbé Outhier ont observé simultanément le phénomène : Luynes avec « une lunette excellente de Divini de 18

⁶ Cassini II, *Observations de l'éclipse de Jupiter... par M. l'évêque de Bayeux*, dans *Histoire de l'Académie royale des Sciences, Mémoires*, 1744, p. 415-416, [lire en ligne](#).

palmes romaines [4 m]... M. Outhier, avec une fort bonne lunette de huit pieds. » Les instants des observations sont relevés à la seconde.

La localisation de la méridienne et de l'arc de cercle à lunette utilisé pour régler la pendule ne sont pas précisés. L'évêque entretient un laboratoire jouxtant sa chambre. L'emplacement ne semble pas judicieux pour installer une méridienne, l'aile occidentale du bâtiment bouchant la vue du sud vers l'ouest. Le local serait plutôt à l'étage où l'horizon est plus dégagé.

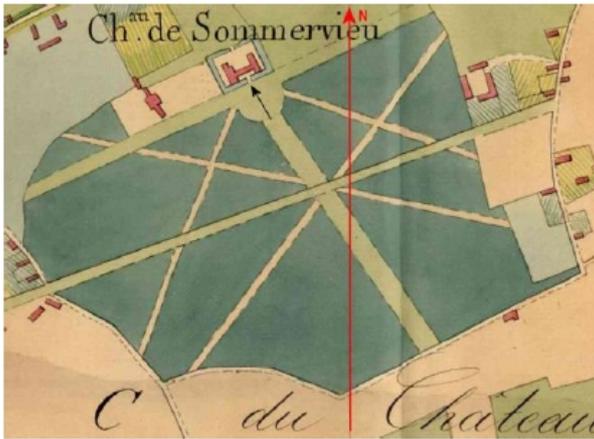


Fig. 9. Localisation et orientation du château.

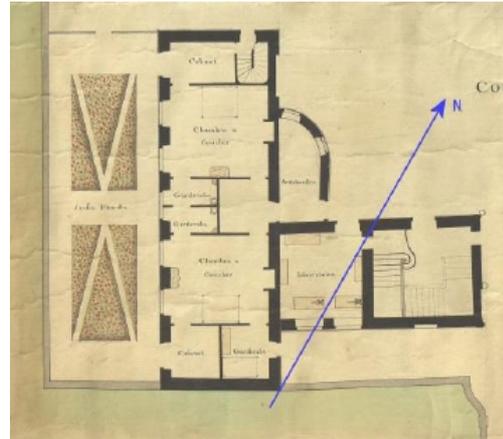


Fig. 10. Le laboratoire de l'évêque.

4 – La méridienne de Sens

A partir de 1753, Luynes est nommé archevêque de Sens ; il rentre à l'Académie des Sciences en 1755 où il rencontre Nicolas-Louis de Lacaille auprès duquel il approfondit ses connaissances en astronomie⁷. En 1756, il est nommé cardinal et « fait plusieurs fois le voyage à Rome » d'où il rapporte un verre de Campani qu'il donnera à l'abbé Chappe pour des observations des satellites de Jupiter ; il confiera aussi, à Pingré - lui-même prêtre - une lunette de cinq pieds munie



Fig. 11. Le palais de l'archevêché avec au premier étage, à gauche, la chambre du Roi ; au même niveau, en retrait, l'observatoire.

⁷Voir C. Fournérat, *Recherches sur les personnes qui dans le département de l'Yonne se sont occupées d'astronomie : Paul d'Albert de Luynes*, dans le *Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne*, tome XVI, 1862, p. 47 – 55.

d'un micromètre qu'il utilisera pour observer une éclipse de Lune⁸.

Dans son palais sénonais, il se réserve une pièce communément appelée l'« observatoire » où il entrepose ses instruments. Ce local est situé dans une construction à pans de bois attenante au palais. Il est situé au premier étage, au-dessus de la chambre que notre Cardinal semble occuper, d'après les textes, et attenante à sa bibliothèque ; ces locaux existent toujours mais ils ont été transformés et rénovés. Cet

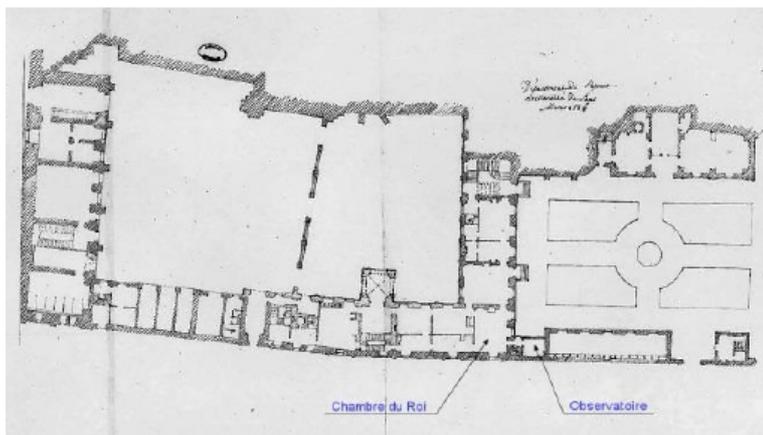


Fig. 12. Localisation sur plan.

observatoire, d'environ 4 x 4 m comportait un balcon - disparu - au sud et deux grandes fenêtres au nord ; il communiquait, par le palier, avec la chambre du Roi située au même niveau dans le palais.

C'est dans ce cadre qu'il observera, en 1759, la comète de Halley, puis en 1760, une éclipse de Soleil dont la fin sera déterminée à la seconde près « très exactement »⁹, et surtout, le 6 juin 1761, le passage de Vénus devant le Soleil¹⁰.

« On avait réglé une très bonne pendule sur une méridienne à fil, très exacte & très solide, sur laquelle l'image du Soleil parcourt vingt pieds d'un solstice à l'autre, & par le passage d'Arcturus au méridien, observé avec une lunette de deux pieds de foyer, fixée très solidement dans le plan du méridien, & qui n'a pas changé de place pendant les observations qu'on a faites des passages de cette étoile pour régler la pendule. Les observations du Soleil ont été faites les 19, 24, 27 mai et 6 juin, & celles du passage d'Arcturus à la barre du losange servant de réticule à la lunette fixe, les 24, 31 mai et 8 juin : on a conclu de ces observations, que la pendule avançait de 10 à 11 secondes sur le temps moyen en vingt-quatre heures. On avait réglé une autre pendule sur celle-là ; c'est celle qui a servi pour avoir l'heure vraie dans le lieu où se faisait l'observation. »

Cette méridienne est horizontale et à fil. De la latitude du lieu d'observation : $\varphi = 48^{\circ} 11' 56''$ ¹¹, de l'inclinaison de l'écliptique de l'époque : $\varepsilon = 23,4697^{\circ}$, on en déduit la hauteur théorique du Soleil à midi aux solstices : $h_m = 90^{\circ} - \varphi \pm \varepsilon$; la distance entre solstices : 20 pieds soit environ 6,5 m, permet alors de déterminer les caractéristiques géométriques de la méridienne.

8 *Mémoires de l'Académie*, années 1757, 1758.

9 *Mémoires de l'Académie*, années 1759, 1760.

10 Le cardinal est signalé, par Lalande, parmi les Académiciens qui ont observé « avec soin » le passage de Vénus, dans *La connaissance des temps*, 1763 p. 213, [lire en ligne](#) ; pour l'observation par elle-même, voir : M. le Cardinal de Luynes, *Observation du passage de Vénus sur le disque du Soleil*, dans *Histoire de l'Académie royale des Sciences, Mémoires*, 1761, p. 65-71, [lire en ligne](#).

11 *Histoire de l'Académie royale des Sciences, Mémoires*, 1761, p. 100.

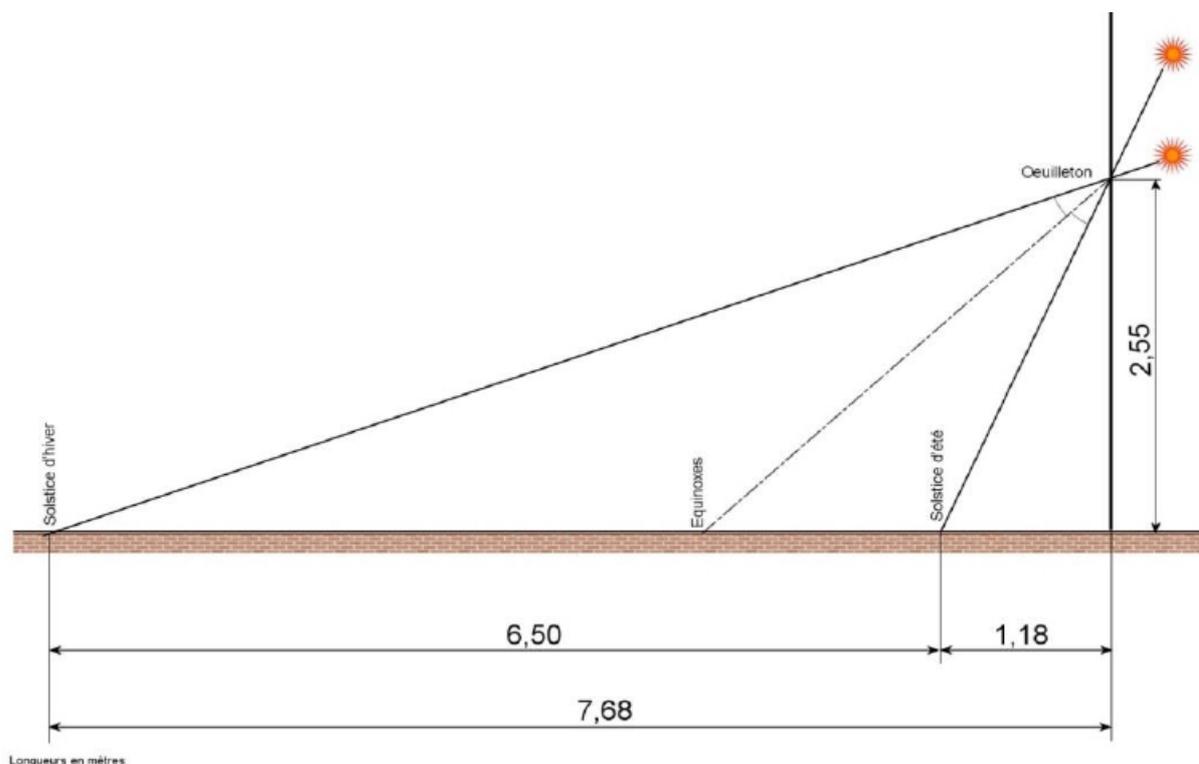


Fig. 13. Caractéristiques de la méridienne.

Cette méridienne est à fil. Il n'existe guère de documentation sur le sujet. Joseph-Nicolas Delisle, dit Delisle le Cadet à l'Académie des Sciences, semble être le seul à avoir écrit sur la construction de ce type de méridienne¹².

Sa différence essentielle, par rapport à une méridienne horizontale classique, est le remplacement de la trace de la ligne du midi vrai par un fil BD tendu et légèrement surélevé par rapport au sol. Ce fil très fin, « plusieurs cheveux ($\varnothing < 0,1$ mm) noués les uns au bout des autres », sert à définir très précisément les instants d'entrée et de sortie du fil dans le cône de lumière du Soleil ; à ces instants, la projection du fil apparaît ou disparaît de l'image solaire éclairant un papier blanc placé sous le fil, dans une pièce obscure, naturellement. Des « tops » de ces instants, on en déduit par leur moyenne le moment où le centre du Soleil passe par le méridien.

Il est à remarquer que, si la pièce où doit se trouver la méridienne est trop petite pour la recevoir en entier, un fil vertical HC , du même type, peut remplir la même fonction que la portion CK impossible à mettre en place – l'image du Soleil doit bien sûr être reçue derrière ce dernier fil de la même façon que précédemment.

¹² Delisle le Cadet, *Construction facile et exacte du gnomon...*, dans *Mémoires de l'Académie*, 1719, p. 54-58, [lire en ligne](#).

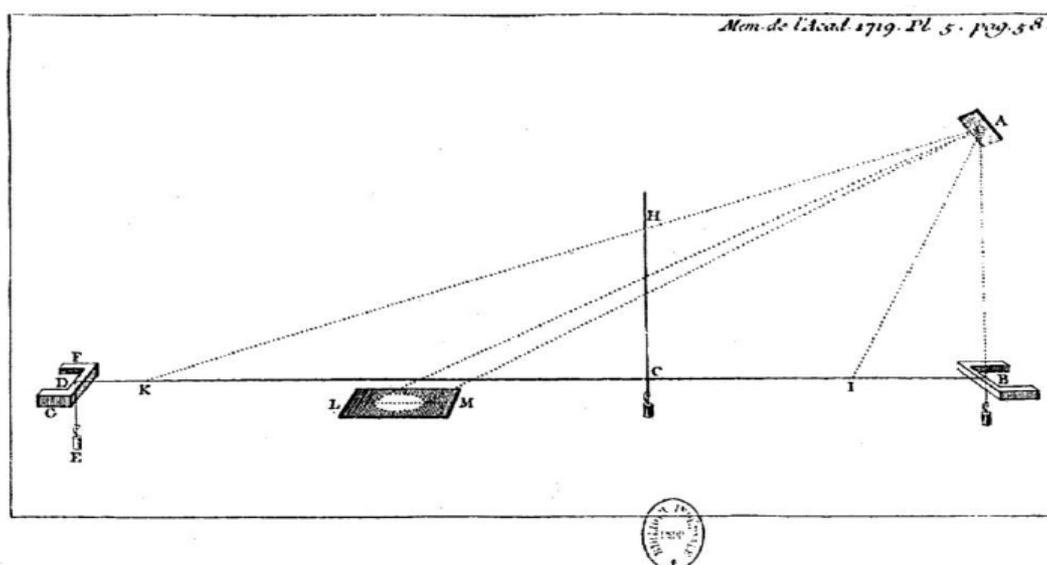


Fig. 14. La méridienne à fil de Delisle.

Ces deux solutions peuvent être retenues pour localiser la méridienne du palais de l'archevêque :

- si la méridienne se trouve dans l'observatoire de 4 x 4 m, elle se doit d'être tronquée dans sa longueur et continuée verticalement entre les deux fenêtres citées ;
- si, comme semble le suggérer le texte de notre Cardinal, la méridienne fait effectivement 6,5 m de long, elle ne peut que se situer dans la chambre du Roi dont les dimensions sont aptes à recevoir cette dernière. Cette solution semble la plus probable, l'endroit étant réservé au Roi, donc pratiquement jamais utilisé ; le lieu est tranquille pour cet instrument fragile et, de plus, située dans une construction en dur, cette pièce est idéale pour recevoir une pendule de précision à situer dans un endroit isotherme¹³.

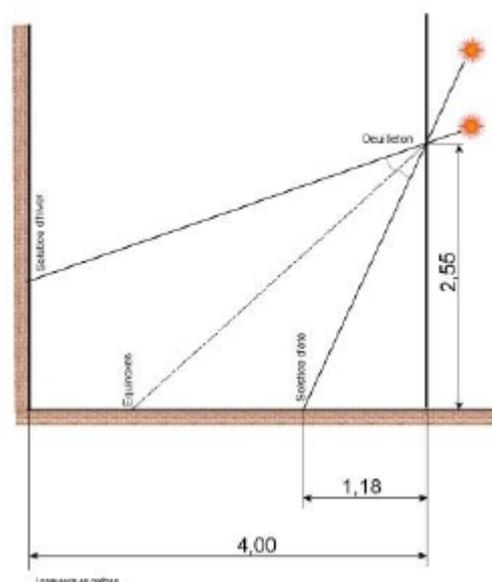


Fig. 15. Hypothèse où la méridienne est située dans l'observatoire

5 – La méridienne de Noslon

Noslon est la maison de plaisance des archevêques de Sens. Cette résidence est située approximativement au nord de Sens, à un peu plus de 5,5 km. Le Cardinal avait envisagé la construction d'un observatoire sur le toit du bâtiment en cours d'achèvement, mais ce projet n'a pas abouti.

¹³ L'analyse détaillée des locaux et du lieu d'implantation de la méridienne sont développés dans une publication à venir de la Société Archéologique de Sens.



Fig. 16. Photomontage du château avec son observatoire.

Fig. 17. Localisation et orientation.

C'est dans cette « maison de campagne » que se feront plusieurs observations réalisées et consignées par le cardinal et/ou d'éminents astronomes qui étaient ses invités :

- le 17 mars 1764, observation d'une éclipse de Lune, avec Jean Sylvain Bailly qui sera maire de Paris ;
- le 1^{er} avril 1764, observation d'une éclipse annulaire de Soleil (la première en France, dans l'astronomie moderne), avec Bailly¹⁴ ;
- le 30 septembre 1773, observation d'une éclipse de Lune¹⁵ ;
- en septembre 1777, observations de taches solaires par son invité, l'abbé Boscovich, l'homologue de Cassini de Thury en Italie, qui avait pris la nationalité française en 1773 ; Luynes n'est alors que témoin¹⁶.

Dans les observations de Boscovich, on peut lire :

« ... dans le château de Noslon près de Sens, ou son Eminence Mons.^{gr} le Cardinal de Luynes grand amateur, et protecteur de l'Astronomie a une méridienne très exacte... Les observations [ont été effectuées avec une lunette] & par une excellente pendule à correction placée à côté de cet instrument dans le même cabinet, où il y a une ligne méridienne tirée par Son Eminence avec la dernière exactitude, & vérifiée encore dans ce temps-là [plusieurs fois par les hauteurs correspondantes (extrait p. 170)] sans y trouver une seconde d'erreur. »

Dans les observations de Bailly, il est noté que c'est une très bonne méridienne et, p. 283, on peut relever aussi :

« M. le Cardinal a mesuré l'angle que fait sa méridienne de Noslon avec un point pris dans la méridienne de Sens... il en a conclu la différence des méridiens... »

Ainsi donc, cette méridienne, tracée dans une pièce du château, et à partir de laquelle

14 Sur les éclipses de 1764, voir *Histoire de l'Académie royale des Sciences, Mémoires*, 1764, p. 116-121 de l'*Histoire* et p. 273-283 des *Mémoires*, [accès en ligne](#).

15 *Histoire de l'Académie royale des Sciences, Mémoires*, 1773, p. 183-185, [lire en ligne](#).

16 Abbé Boscovich, *nouveaux ouvrages appartenant principalement à l'optique et à l'astronomie*, tome V, 1785, p. 170 et 457, [lire en ligne p. 457](#).

Luynes effectue des mesures géodésiques ne peut être qu'horizontale ; vu son exactitude - pas une seconde de temps d'erreur - et le type des méridiennes employées à Sens et à Versailles, elle était vraisemblablement à fil.

Le château a été rasé à la Révolution, il n'en reste que les fossés et la ferme construite sous le Cardinal ; sur les murs de cette dernière, au-dessus des écuries, passablement érodés, un grand cadran solaire et une méridienne verticale de mêmes dimensions (2 x 1,2 m), tracés dans les règles de l'art par un professionnel.

Ces instruments gnomoniques datent-ils de Luynes ou lui sont-ils postérieurs ? Rien, aujourd'hui, ne permet de trancher véritablement. La seule question que l'on peut se poser est la suivante : « Que viendraient faire sur une ferme de campagne ces instruments de grande précision ; quel propriétaire terrien était suffisamment passionné pour les édifier là ? ».



Fig. 18. Emplacement des deux cadrans de dimensions identiques.



Fig. 19. La méridienne verticale.

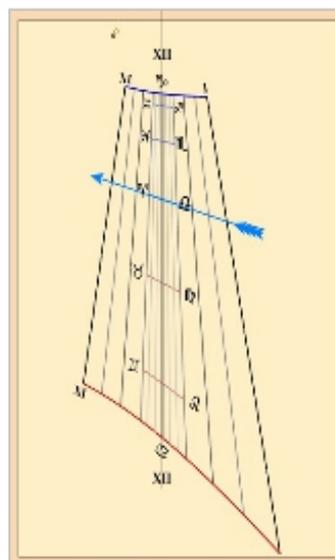


Fig. 20. Sa représentation.

6 – La méridienne de Versailles

Les Luynes, famille de Cour, possèdent, près du château de Versailles, l'hôtel de Luynes. Il est situé à une centaine de mètres de l'Orangerie. Cette résidence existe toujours ; elle vient d'être transformée en hôtel de luxe.

C'est là que notre cardinal observa, le 5 août 1766, une éclipse de Soleil. Le compte-rendu, dans les Mémoires de l'Académie est succinct¹⁷, mais on peut néanmoins y lire :



Fig. 21. L'hôtel de Luynes, dit du grand Contrôle, vers l'Orangerie.

« J'ai pris le temps vrai à une méridienne filaire, que j'ai faite avec grand soin à l'hôtel de Luynes, & qui est très exacte & très solidement construite. »

Ainsi donc, à Versailles, comme à Sens et probablement à Noslon, Luynes a mis en place une méridienne filaire. À ce stade, le nombre de méridiennes « gномо-astronomiques » se trouvant dans l'environnement de notre Cardinal est donc de cinq ou six. Ce résultat permet donc de souligner que cet instrument, « l'auxiliaire des astronomes », de première importance dans les observations du ciel, devait fourmiller auprès des érudits passionnés de l'époque¹⁸. Il nous reste à voir comment ces méridiennes étaient déterminées et quel était leur degré d'exactitude dans l'indication du temps.

Ceci fera l'objet d'un article séparé à suivre : *Tracé astronomique d'une méridienne*.

* Pour l'anecdote, notre Cardinal a participé, en 1785, comme membre bienfaiteur à la souscription de la grande méridienne de l'hôpital de Tonnerre¹⁹. Il se pourrait même qu'il ait prêté un certain instrument (un quart de cercle) pour définir la trace de la ligne du midi vrai...

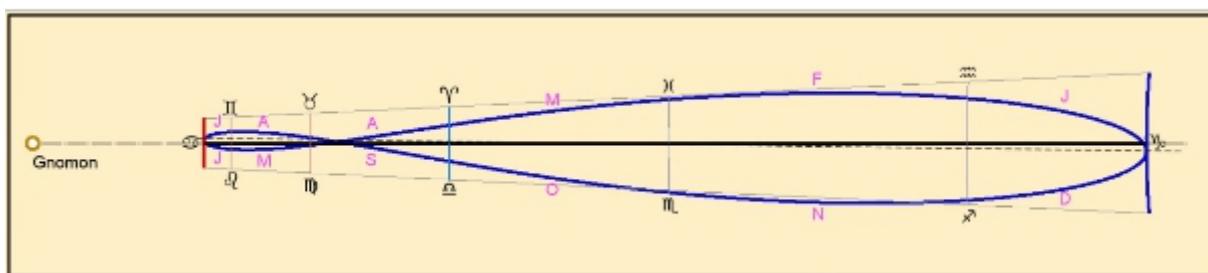


Fig. 22. Image de la méridienne de Tonnerre

17 *Histoire de l'Académie royale des Sciences, Mémoires*, 1767, p. 343, [lire en ligne](#).

18 Il est à remarquer que sous Louis XV, chaque résidence royale avait été pourvue d'une méridienne, sur ordre du Roi, pour donner l'heure à la Cour ; voir Jacques Cassini, *De la méridienne de l'Observatoire* dans les *Mémoires de l'Académie*, 1732, p. 453, [lire en ligne](#).

19 Il était le deuxième sur la liste des souscripteurs, après M^{me} la marquise de Louvois. Pour une esquisse sur l'histoire de la méridienne de Tonnerre, voir : C. Fournérat, *Op. cit.* p. 60-72 ; pour une approche détaillée, voir : Andrée Gotteland, Bernard Tailleux, Georges Camus, Paul de Divonne, *La méridienne de l'hôpital de Tonnerre*, à Dannemoine, chez A. Matton « à l'Image de l'Abeille », 1994.

ILLUSTRATIONS

Les illustrations non précisées sont de l'auteur.

Fig.	Source
1	Tableau de Joachim Rupalley, Musée Baron Gérard, Bayeux.
2	Photo de l'auteur, artiste inconnu, cathédrale de Sens.
3	D'après un détail d'une carte du diocèse de Bayeux par Outhier, 1736, BnF, Gallica.
4	Wikipédia.
5	Exploitation du logiciel Shadows de François Blateyron, SAF-CCS.
6	Plan de Bayeux, 1812, Archives du Calvados, Caen.
7	Street-view, Google.
8	Dessin du château attribué à l'architecte local Jacques Moussard (1670-1750), crédit dessin : Bayeux intercom.
9	Détail de cadastre, 1805, Archives du Calvados, Caen.
10	Détail d'un plan du château, crédit, Archives départementales du Calvados, Caen.
12	D'après un plan inconnu des archives de Lexilogos.
14	Illustration de l'ouvrage de Joseph-Nicolas Delisle, <i>Op. cit.</i>
16	Photomontage du château, document de la Société Archéologique de Sens avec un dessin d'architecte de l'observatoire, collection privée.
17	D'après Google maps.
20, 22	Exploitation du logiciel Shadows de François Blateyron, SAF-CCS.
21	Site web du Figaro, crédit photo : Jacques Demarthon, AFP.





Tracé astronomique d'une méridienne

Gérard Aubry

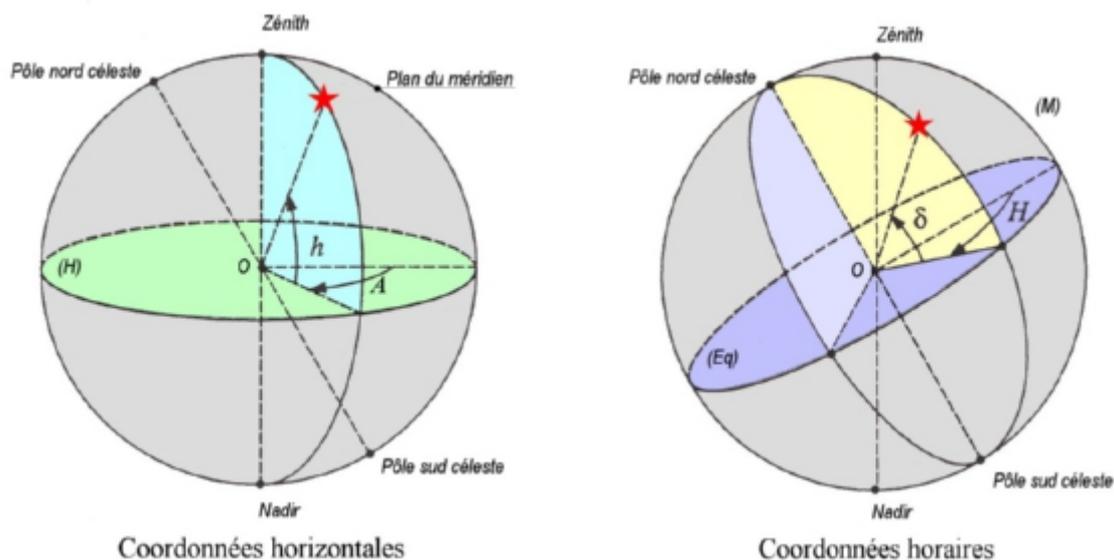
Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, les méridiennes sont des instruments auxiliaires de première importance pour les astronomes professionnels, mais aussi pour les amateurs éclairés. L'article compile quelques méthodes « historiques » utilisées à cette époque pour les déterminer et les tracer.

❖ A Madame Andrée Gotteland, ancien membre de la CCS de la SAF, auteure des *Méridiennes du monde et leur histoire*.

De la fin du XVII^e siècle à la Révolution, au siècle des Lumières, l'astronomie est une science en pleine évolution. Des inventions majeures vont transformer son approche. A cette époque, de nombreux érudits, passionnés, ont leur propre observatoire. On y trouve toujours une méridienne qui se doit d'être de plus en plus exacte, pour donner le temps du midi local. Comment déterminer et tracer ces méridiennes ? C'est l'objet de cet article qui s'appuie sur les écrits des auteurs spécialisés de l'époque.

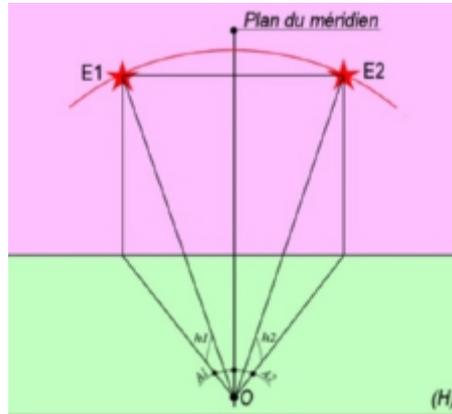
PRINCIPE

Dans son mouvement apparent autour de la Terre, chaque étoile, y compris le Soleil (en première approximation), décrit sur la sphère céleste la circonférence d'un cercle centré sur l'axe de la Terre. Localisons-la dans les systèmes de coordonnées horizontales et horaires.



Dans un système de coordonnées horizontales, pour un observateur, situé en un lieu quelconque, cette course apparente est une portion d'ellipse dont l'un des axes est le méridien du lieu.

- Soit une étoile E définie par ses coordonnées horizontales : sa hauteur h et son azimut A ;
- Soit E1 une de ses positions avant son passage au méridien ;
- Soit E2 sa position après à son passage au méridien, telle que $h_2 = h_1$; on a alors $A_2 = A_1$ et la trace de la méridienne dans le plan horizontal est telle que $A = 0$.



1. Schéma de visualisation.

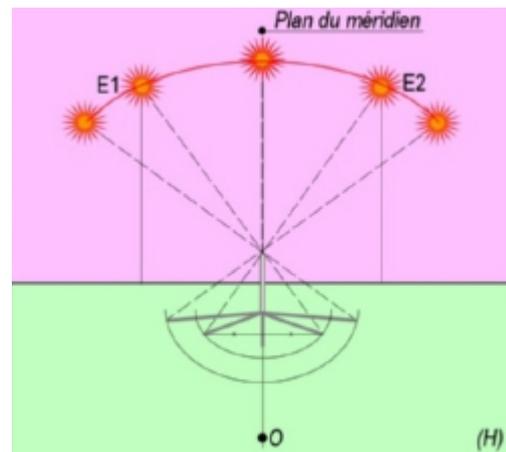
Dans un système de coordonnées horaires, aux azimuts correspondent des angles horaires.

On peut donc déterminer une méridienne par les azimuts ou les angles horaires.

METHODES PRE-MODERNES¹

Méthode originelle : le gnomon

C'est la méthode des cercles indiens ou méthode des ombres solaires égales mettant en œuvre un gnomon : à partir de plusieurs couples de hauteurs égales du Soleil, le matin et l'après-midi, on va pouvoir tracer au mieux, sur un plan horizontal le méridien local ou méridienne².



2. Méthode des ombres solaires égales.

¹ Avant 1667.

² Voir éventuels détails sur la méthode dans : Denis Savoie, *Les cadrans solaires*, Belin-pour la science, Paris, 2003, p. 36-42.

Cette méthode n'est rigoureusement exacte, qu'aux solstices, où la déclinaison du Soleil est pratiquement constante tout au long du jour.

La difficulté du tracé est dans la précision de saisie de l'extrémité de l'ombre du gnomon sur le sol, à cause de la pénombre due au diamètre du Soleil. Pour améliorer l'exactitude du tracé on peut :

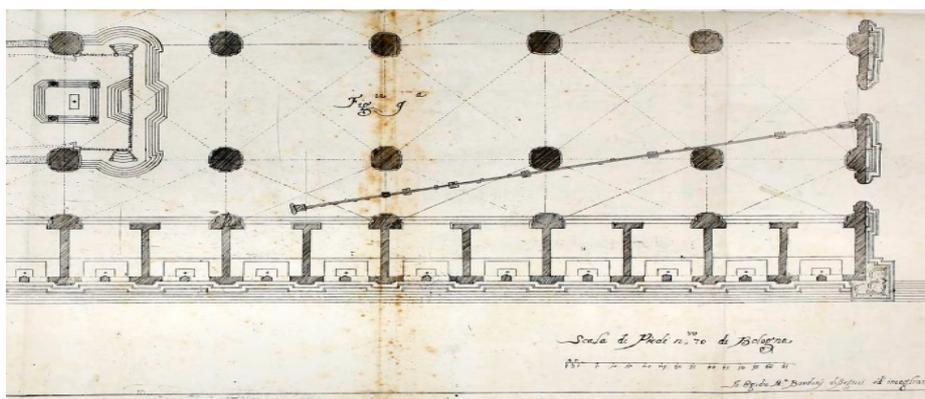
- donner à l'extrémité du gnomon la forme d'une boule dont on recherchera le centre ;
- ou mieux, on peut y placer un œilleton, qui projettera sur le sol une ellipse dont on recherchera le centre.

Cette méthode et ses améliorations potentielles sont bien connues des gnomonistes et des cadraniers.

➤ Un exemple parmi les grandes méridiennes italiennes :

En 1655, le jour du solstice d'été, dans l'église San Petronio de Bologne, Jean Dominique Cassini finit l'installation de la règle matérialisant sa grande méridienne :

« Cassini dessina quelques cercles ayant pour centre le vertex [pied du gnomon théorique] de la méridienne. Il marqua les points où le centre de l'image solaire croisait les cercles. Le soleil rencontre chaque cercle deux fois, à intervalles de temps égaux avant et après midi. Cassini traça les cordes reliant les points marqués et en détermina les milieux. Puis il traça la droite la meilleure qu'il pût, passant par le vertex et les milieux des cordes... Il s'en fallut d'un cheveu qu'elle aille se perdre dans les piliers³... »



3. Le tracé de la méridienne entre les piliers de San Petronio.

L'exactitude angulaire du tracé n'est pas de première importance, la finalité de ces grandes méridiennes étant de déterminer la longueur de l'année tropique, l'obliquité de l'écliptique, etc. On remarquera néanmoins que :

- La méridienne dite de Toscanelli, tracée sur le sol de S. M. del Fiore, à Florence, dans les années 1510, déviait de 1° par rapport au méridien - écart constaté par Ximenes, en 1754.
- La méridienne de Danti, mise en place dans la tour des Vents, à Rome, dans les années 1580-83 déviait, elle, de 1° 10'⁴.

Nota : d'autres méthodes gnomoniques, bien développées dans *Cadran Info*, ne sont pas abordées ici.

3 John L. Heilbron, *Astronomie et églises*, Belin-pour la science, Paris, 2003, p. 97-98. ; d'après J. D. Cassini, *Meridiana*, 1695.

4 Ibid, p. 84 et 241.

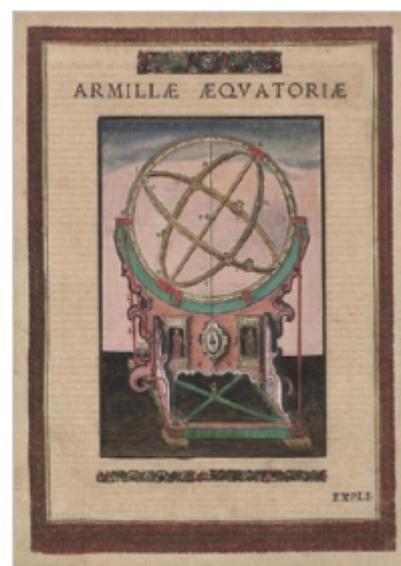
Autres méthodes, les quadrants azimutaux et armilles équatoriales

Ces quadrants donnent simultanément la hauteur et l'azimut d'un astre ; ils peuvent être employés pour affiner l'orientation d'éventuelles méridiennes. Mais, de par leur construction, et leur réglage, ils sont eux-mêmes des références du plan horizontal et du méridien. Le réglage fin ou la vérification de la direction du méridien se fait à partir de la mesure d'azimuts d'une étoile, comme sur le schéma de visualisation. Ces instruments fixes, à alidade et pinnules, étaient employés jusqu'à la seconde moitié du XVII^e siècle. On peut citer comme utilisateurs :

- Les observatoires arabes du Moyen-Age qui étaient parfois équipés de ce type de quadrant, tel le quadrant de Samarcande du XV^e siècle⁵.
- Tycho Brahe (1546-1601), le grand astronome danois, possédait des quadrants azimutaux ; il en décrit cinq dans son ouvrage *Astromiae instauratae mechanica*⁶, publié en 1598. Il employait aussi toutes sortes d'armilles, dont des armilles équatoriales qui lui donnaient les déclinaisons et angles horaires des astres.



4. Quadrant moyen azimutal.



5. Armille équatoriale.

- Johannes Hevelius (1611-1687), se servira lui aussi d'un grand nombre d'instruments du même type que Tycho. Ils illustrent son ouvrage *Machinae coelestis*⁷ de 1673. En le feuilletant, on y trouve deux quadrants azimutaux.

5 L. Am. Sédillot, *Mémoires de l'académie royale : Mémoire sur les instruments astronomiques des Arabes*, t. 1, Paris, 1844 ; Philippe Dutarte, *Les instruments de l'astronomie ancienne, de l'Antiquité à la Renaissance*, Paris, Vuibert, 2006.

6 Jean Peyroux, *Mécanique de l'astronomie rénovée*, Bordeaux, Bergeret, 1980.

7 (1a) Hevelius, *Machinae coelestis*, 1673, [accès en ligne](#).



6. Quadrant pivotant azimutal.



7. Autre quadrant pivotant azimutal.

L'exactitude de ces quadrants, en exploitation était au mieux de l'ordre de la minute de degré pour Tycho et au mieux, de l'ordre de 20 secondes de degré pour Hevelius.

Méthode anecdotique : à la boussole !

En 1636, à Marseille, Gassendi et Peiresc vont tracer une méridienne pour mesurer la hauteur de culmination du Soleil le jour du solstice d'été. L'objet était de comparer leur mesure à celle de Pythéas (vers -300) géographe explorateur.

Ils la tracent à la boussole, avec une correction de déclinaison magnétique donnée pour Marseille. Ne sachant pas que cette déclinaison variait au cours du temps : « Leur ligne avait 3° de moins par rapport à la bonne direction⁸. »

METHODES MODERNES

Des inventions majeures vont permettre une évolution importante de l'astronomie. Ce sont :

- la lunette dont le premier exploitant est Galilée (1609) ;
- l'horloge à pendule de Huygens (1658) ;
- l'adjonction d'un réticule et d'un micromètre à la lunette de Galilée par Picard et Auzout (1668-69).

En 1666, en France, est créée l'Académie des Sciences. A partir de cette date, la documentation française est importante ; la majorité des informations de cet article sont tirées des archives de l'Académie.

METHODES AZIMUTALES

En 1666, en marge du registre des premiers procès-verbaux de l'Académie, on trouve une « note de M. Auzout sur la manière de trouver la méridienne et la hauteur du Pôle. » Plus loin, dès la première ligne du premier folio du registre, la note précise :

⁸ John L. Heilbron, *Astronomie et églises*, Belin-pour la science, Paris, 2003, p. 78-79 ; voir aussi Andrée Gotteland, *Les méridiennes du monde et leur histoire*, t. 1, p. 184.

« Les deux premières observations astronomiques sont la ligne méridienne et la hauteur du Pôle, et quoiqu' il y ait diverses manières de prendre l'une et l'autre, il faut mettre au premier rang celles qui ne supposent point d'observations précédentes où l'on puisse avoir erré...

La manière de tracer la méridienne est par le moyen d'une étoile telle qu'on voudra, pourvu qu'elle soit hors des réfractions, on prend de cette étoile deux hauteurs égales devant et après qu'elle soit arrivée au méridien du lieu, marquant en même temps les azimuts de l'étoile, car ayant divisé ces deux azimuts par la moitié, nous aurons la ligne méridienne.⁹ »

On retrouve ici les principes de la méthode générale précisée en introduction. La règle d'Auzout sera suivie en 1667 pour implanter l'Observatoire.

Premières méthode azimutales

A propos du tracé de la première méridienne du futur Observatoire de Paris, n peut lire dans les Registres de l'Académie :

« Le mardi 21 juin 1667, jour du solstice d'été, M^{rs} Frénicle [de Bessy], Picard, Buot, Richer et Auzout furent dès le matin à l'Uranoscope ou à l'Observatoire pour tracer une ligne méridienne sur une pierre que M. Couplet avait fait poser et pour prendre sa hauteur méridienne [du Soleil]. L'on fit porter le sextant ; M. Picard avait aussi le sien, et avec les deux on prit huit hauteurs devant midi avec huit azimuts, desquels on prit l'après-midi les correspondants aux mêmes hauteurs. Et par leur moyen on traça huit lignes méridiennes... et on en marqua trois lignes un peu fort pour servir de repère... pour la situation de la maison et de la grande terrasse... »¹⁰

La méthode n'est pas entièrement explicite ; « on prit huit azimuts... » On peut penser qu'ils ont opéré suivant une façon préconisée par Auzout :

« Il faut pour cela avoir un azimutal joint ? au quart de cercle pour prendre en même temps la hauteur et l'azimut, ou avoir un azimutal à part... et qu'il y ait deux observateurs qui prennent en même temps l'un la hauteur, l'autre l'azimut.¹¹ »

Cette dernière solution pourrait être la bonne :

- un des deux sextants, dans un plan vertical, sert à prendre les hauteurs et à les matérialiser – par des mires – sur une ligne horizontale prédéfinie, perpendiculaire à une pseudo-méridienne déterminée au gnomon ou à la boussole¹² par exemple ;

- l'autre sextant, dans ce plan horizontal, prend de pseudo-azimuts ou distances horizontales par rapport à la méridienne prédéfinie. Des couples d'azimuts ainsi déterminés on en déduit les différentes moyennes, qui permettront de tracer huit lignes méridiennes¹³.

Les instruments employés sont à pinnules¹⁴. D'ailleurs, sur la même page des Registres de l'Académie, la hauteur méridienne du Soleil est donnée à la minute. On peut donc supposer que sa résolution angulaire est de l'ordre de la minute d'angle.



8. Un sextant astronomique du même type.

8. Un sextant astronomique du même type

9 (ms) Auzout, *Procès-verbaux de l'Académie des Sciences*, vol. 1, t. 3, 1668-1669, p. 1-2, [lire en ligne](#).

10 (ms) Collectif, *Procès-verbaux de l'Académie des sciences*, Op. cit., p. 73, [lire en ligne](#),

11 Auzout, *Op. cit.*, p. 1-2.

12 Ibid. p. 74.

13 Il se peut aussi que ce soit tout simplement la méthode employée par Richer décrite dans le paragraphe suivant.

14 Collectif, *Op. cit.* p. 74 ; l'adaptation de lunettes aux instruments n'interviendra que courant 1669.

Cette première méridienne, tracée sur une pierre, va servir à positionner et à construire l'Observatoire. Elle sera reprise ou redéterminée en 1673 par Picard pour mettre en place la mire Nord dans le plan du méridien « Paris – Amiens » passant par le centre de l'Observatoire...

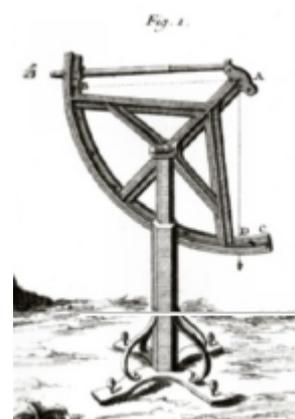
Autre méthode azimutale « astro-gnomonique »

En 1672-73, Richer va à Cayenne effectuer un grand nombre d'observations, notamment dans le plan du méridien. Il va se servir d'un octant de six pieds de rayon (≈ 2 m) et d'un quart de cercle de 2,5 pieds (≈ 80 cm) dont les limbes sont divisés en degrés, chaque degré étant divisé en minutes par transversales. Il a emporté aussi deux « bonnes » horloges à pendule marquant, l'une les secondes, l'autre les demi-secondes¹⁵.

Le 21 juin 1672, au solstice d'été, il va tracer une méridienne sur une pierre plate bien scellée de 65 x 49 cm pour aligner l'octant dans le méridien et il décrit clairement sa méthode :

« J'observai avec le quart de cercle, vers 9 h 30 m du matin, cinq hauteurs des bords supérieur et inférieur du Soleil, marquant en même temps l'ombre que faisait sur la pierre un fil d'une moyenne grosseur, qui pendait à plomb au bout d'icelle. Je fis la même chose par trois fois seulement après midi, le centre du Soleil étant en même hauteur qu'il avait été avant midi, et je traçai par le moyen de ces observations trois lignes méridiennes que je trouvai fort parallèles entre elles¹⁶. »

Cette méthode simple s'appuyant sur la gnomonique mais employant un quart de cercle annonce la méthode dite des « hauteurs correspondantes » qui sera vue un peu plus loin. Il se peut que ce soit aussi la méthode employée par Picard et ses collègues de l'Académie - dont Richer - pour tracer, en 1667, la méridienne pour situer l'Observatoire¹⁷.



9 Quart de cercle de l'époque de Picard

Méthodes par rapport au Soleil vers son lever et/ou son coucher

Différentes formules de trigonométrie sphérique donnent l'azimut d'un astre¹⁸. Ces formules sont fonction de plusieurs variables qui peuvent se combiner : la hauteur h , l'angle horaire H , la latitude φ du lieu et la déclinaison δ . Bien souvent ces formules sont employées pour vérifier une méridienne déjà en place ; le quart de cercle est l'instrument privilégié. Voyons celles qui étaient le plus couramment utilisées.

➤ L'azimut du Soleil à son lever et son coucher où $h = 0$, est donné par la formule :

$$\cos A_0 = - \sin \delta / \cos \varphi$$

avec δ la déclinaison du Soleil calculée par extrapolation à partir des tables du Soleil et φ la latitude du lieu.

On peut déterminer A_0 au lever du Soleil, à son coucher, ou mieux encore au lever et au coucher.

15 *Mémoires de l'Académie royale des Sciences*, t. VII-1, 1729, [lire en ligne](#), p. 236.

16 Ibid., [lire en ligne](#), p. 280.

17 Auzout, *Op. cit.*, p. 2.

18 Voir : Denis Savoie, *Cosmographie*, Belin-pour la science, Paris, 2006, p. 119.

Attention :

- la déclinaison du matin est différente de celle du soir, surtout vers les équinoxes ;
- la réfraction R étant connue, il faut calculer la hauteur apparente h_{ap} du bord supérieur du Soleil où se fera la mesure de A_0 . Soit $h_{ap} = \frac{1}{2} \text{Ø Soleil} + R$.

➤ L'azimut du Soleil vers son lever ou son coucher, fonction essentiellement de sa hauteur, est donné par :

$$\cos A = (\sin h \sin \varphi - \sin \delta) / \cos \varphi \cos h$$

- Jacques Cassini, en 1718, décrit cette méthode, dans son ouvrage sur la Méridienne de Paris. Il l'emploie en différentes stations pour vérifier l'orientation de la Méridienne¹⁹.

➤ L'azimut du Soleil vers son lever ou son coucher, fonction de l'heure d'observation, est donné par :

$$\tan A = \sin H / (\sin \varphi \cos H - \cos \varphi \tan \delta)$$

- Jean Picard emploie cette méthode en 1671, à Uranibourg, à partir d'une méridienne déjà tracée, pour rechercher la position angulaire de la tour astronomique de Copenhague : le 7 octobre, il prend deux distances horizontales de cette tour, par rapport au Soleil ; la première, le matin à 7 h 21 m 57 s, avec une déclinaison du Soleil de $-12^\circ 51'$, et la seconde, le soir à 16 h 35 m 46 s, avec une déclinaison du Soleil de $-12^\circ 58' 35''$. La latitude est de $55^\circ 54' 15''$. Il calcule d'après la formule précédente les azimuts de ses deux observations d'où il tirera la déclinaison de la tour astronomique par rapport à sa méridienne²⁰.

METHODES DE LA DIGRESSION MAXIMALE DE LA POLAIRE

En 1668-70, l'abbé Picard va réaliser la triangulation « Paris – Amiens ». Au mois de septembre 1669, il se trouve à Mareil où il doit déterminer une méridienne pour orienter la suite de ses triangles. Il utilise, pour ce faire, son nouveau quart de cercle à deux lunettes munies de réticules et va se servir de la digression maximale de la Polaire pour déterminer l'azimut d'un côté de ses triangles.

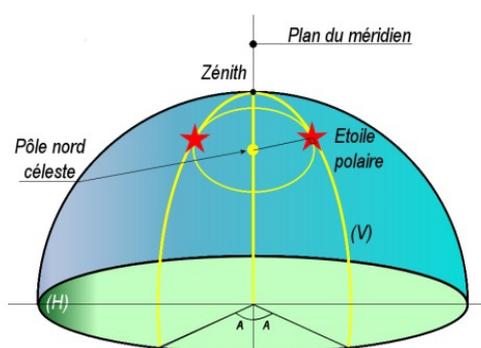
La digression de la Polaire, est la distance angulaire de l'étoile par rapport au plan méridien où se trouve le pôle nord céleste. Cette digression est maximale lorsque le plan vertical passant par l'étoile est tangent à la trajectoire de celle-ci sur la sphère céleste et est perpendiculaire à son cercle horaire.

¹⁹ Jacques Cassini, *De la grandeur et de la figure de la Terre* dans *Suite des Mémoires de l'académie royale des Sciences*, Paris 1718, p. 25-26 et p. 104 et suivantes, [lire en ligne](#).

²⁰ Jean Picard, *Voyage d'Uranibourg*, dans *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, t. VII-1, 1729, p.193 ; 204-205, [accès en ligne](#).

Pour déterminer la direction du méridien, on peut :

- **repérer les deux digressions maximales (orientale et occidentale) et en rechercher le milieu.** Cette méthode simple implique deux relevés à 12 heures d'intervalle, ce qui n'est pas toujours possible, surtout en été où les nuits sont courtes sous nos latitudes. Cette méthode était connue et employée par Tycho. Dans son voyage à Uranibourg en 1671, Picard constate un écart d'orientation de 18' entre sa méridienne et celle



de Tycho déterminée de cette façon avec ses instruments à pinnules. Picard, à l'analyse, trouve de nombreuses excuses à Tycho ; il indique notamment que la méthode n'est pas adaptée aux hautes latitudes (trop près du zénith)²¹.

- **se servir d'une seule digression maximale ;** c'est la solution employée et décrite par Picard²² :

« A Mareil, on posa le quart de cercle, garni de ses deux lunettes, à plomb sur son pied ; en sorte que l'on pouvait le tourner un peu, sans que son plan quittât sa situation verticale ; la lunette immobile qui est attachée à l'instrument, demeurant toujours pointée dans l'horizon ; & celle qui est mobile, pouvant être haussée & baissée sur le plan du quart de cercle, sans changer le vertical. On s'était assuré de cet effet par plusieurs expériences.

Le quart de cercle étant arrêté en cet état, on suivit l'étoile polaire jusqu'à sa plus grande digression, avec la lunette mobile du quart de cercle, en le faisant tourner un peu. Mais comme on fut assuré que cette étoile était dans son plus grand éloignement du pôle ; en voyant qu'elle demeurait un espace de temps assez considérable sans sortir du filet vertical [du réticule] de la lunette ; on laissa l'instrument fixe dans cette position, le reste de la nuit ; & le lendemain au matin, on marqua dans le bord de l'horizon, le point que la lunette immobile désignait par son filet. Ce point déterminait par ce moyen, le vertical de l'étoile polaire, dans sa plus grande digression. On répéta plusieurs fois cette opération, pour en être plus assuré.

L'étoile polaire était alors dans sa digression orientale ; & la ligne qui allait du tertre de Mareil à Clermont, faisait avec celle qui allait du même lieu au point marqué dans l'horizon par le vertical de cette étoile, un angle vers l'orient, de 4 degrés 55 minutes.

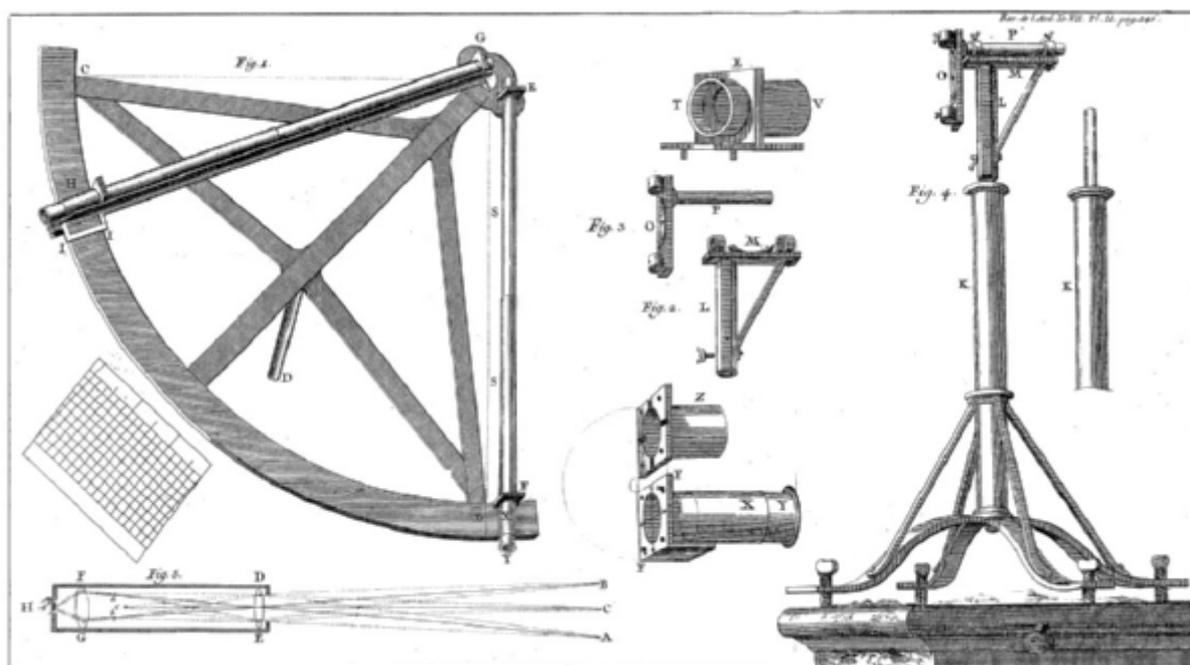
Mais le complément de la déclinaison de l'étoile polaire, qui est aussi la distance au pôle, était alors de 2 degrés 28 minutes : & la hauteur apparente du pôle, au tertre de Mareil, comme on la trouva dans la suite, est de 49 degrés 5 minutes. Par conséquent, le vertical de l'étoile polaire, dans sa plus grande digression faisait avec le méridien, un angle de 3 degrés 46 minutes²³. »

Cette description se passe de commentaires. On peut juste remarquer que le résultat est arrondi à la minute de degré, alors que l'instrument, d'après Picard, tient les 20 secondes de degré. Dans cette méthode, plus tard, il faudra tenir compte de l'aberration remarquée déjà par Picard.

21 *Mémoires de l'Académie royale des Sciences*, t. VII-1, 1729, p. 206-207, [lire en ligne](#).

22 Jean Picard, *Mesure de la Terre*, Imprimerie royale, Paris, p. 15, [lire en ligne](#).

23 On démontre, en trigonométrie sphérique que, dans le triangle Zénith-Pôle-Étoile polaire, on a : $\sin A = \cos \delta / \cos \varphi$; ici, $\pi/2 - \delta = 2^\circ 28'$ et $\varphi = 49^\circ 5'$; on en déduit $A = 3^\circ 46'$. Pour la formule, voir Denis Savoie, *Cosmographie*, Belin-pour la science, Paris, 2008, p. 30.



11. Le quart de cercle à deux lunettes de Picard.

METHODE DES HAUTEURS CORRESPONDANTES

C'est encore Jean Picard qui a « imaginé et constamment pratiqué » la méthode qui va devenir la méthode standard du XVIII^e siècle :

« Les hauteurs correspondantes donnent de part et d'autre du méridien des angles horaires égaux. Une pendule sert à mesurer l'intervalle des observations, le milieu donne le midi²⁴. »

Le 9 juillet 1673, dans *l'Histoire céleste* de Lemonnier, on voit que Picard effectue ses premières observations de hauteurs correspondantes du Soleil ; le 19 septembre 1674, se seront de « véritables hauteurs correspondantes », d'après Delambre, que Picard consignera²⁵.

Pour mettre en œuvre la méthode, il faut :

- un instrument pour prendre les hauteurs : ce sera le quart de cercle vu précédemment, exploité dans le plan vertical, qui pourra se voir adjoindre un micromètre dans la première moitié du XVIII^e siècle ;
- une « bonne » horloge ou pendule indiquant la seconde, ou mieux, la demi-seconde.

Les astres visés pourront comprendre le Soleil, avec des mesures effectuées un jour de solstice (où la variation de déclinaison est nulle) ou bien, un jour quelconque dans l'année (où il faut prendre en compte la variation de déclinaison de l'astre solaire) ; parfois on se servira d'une étoile particulière - la déclinaison des étoiles étant constante.

24 J-B Delambre, *Histoire de l'Astronomie au XVIII^e siècle*, Paris, 1827, p. 108.

25 J-B Delambre, *Histoire de l'astronomie moderne*, t. II, Paris, 1821, p. 627- 628, [accès en ligne](#) et Le Monnier, *Histoire céleste : recueil de toutes les observations astronomiques*, t. 1, Paris, 1741, p. 49 et 88, [accès en ligne](#).

Méthode solsticiale

Suivons la méthode pour le Soleil, le jour du solstice d'été où les conditions météorologiques sont les plus favorables :

➤ Préparation de la pendule à secondes

Les jours précédents, on s'assurera qu'elle est à peu près bien réglée avec une marche régulière. Pour se faire, on observera des passages successifs d'une étoile particulière dans un vertical quelconque. Il pourra être donné par le fil vertical du réticule du quart de cercle - ou d'un autre instrument du même type - laissé dans une position fixe ou tout simplement à partir d'un fil pesant matérialisant, avec l'œil de l'observateur un plan vertical.

Entre deux passages, correspondant à un jour sidéral, le temps de référence est de ≈ 23 h 56 m 4s. Ainsi, on pourra constater la marche de la pendule (avance, retard ; constance ou pas) et en tenir éventuellement compte par la suite.

Cette connaissance de la marche de l'horloge est déjà prise en compte par Richer en 1672 ; on peut la suivre dans le détail des relevés bruts des observations journalières qu'il a effectuées²⁶.

➤ Observations au quart de cercle

Il suffit d'observer le bord supérieur du Soleil quelques heures (environ trois) avant et après son passage par le méridien et de noter les instants de différentes hauteurs correspondantes. Après correction si besoin, l'instant de midi correspondra à la moyenne x_{bar} des différences de temps à la pendule entre hauteurs correspondantes.

Pour tracer une méridienne où le gnomon est en place et fonctionnel, il faut pointer au sol la trace du centre du Soleil, de minute en minute, d'après la pendule, autour du midi probable²⁷. Le point de la ligne méridienne correspondant à x_{bar} sera obtenu par extrapolation entre les deux traces les plus proches encadrant la valeur de la moyenne.

Méthode pour un jour quelconque

Pour trouver la trace du méridien, un autre jour que le jour du solstice, il faut effectuer une correction qui tienne compte de la variation de la déclinaison du Soleil dans l'intervalle de temps des observations.

Picard, le premier s'y employa, mais il n'a pas laissé d'informations sur sa façon de faire. Delambre pense qu'il a pu le faire par le calcul – ce qui ne semble pas possible à l'époque de Picard - ou plutôt par une méthode graphique. Plus tard, Euler et La Caille aidé de Lalande donneront des formules de correction qui leurs sont propres²⁸.

Philippe de La Hire, dans ses *Tables astronomiques* donne une table de correction pour Paris. Il y adjoint sa méthode pour déterminer une table pour un lieu quelconque²⁹.

26 *Mémoires de l'Académie royale des Sciences, Op. cit.*, p. 280-317, [lire en ligne](#).

27 Midi grossièrement prédéterminé avec un cadran solaire ou à la boussole...

28 Pour les corrections de Picard et sa méthode voir J-B Delambre, *Op. cit.* T. 2, p. 627-628 ; pour des détails sur toute la méthode, consulter : La Hire, *Tables astronomiques*, Paris, éd. 1687-1735, p. 148-193, [Ouvrage en ligne](#) ; voir aussi Lalande, *Astronomie*, t. 1, Paris, 1771, p. 395-416, [ouvrage en ligne](#). Dans ces pages, on trouve la méthode de calcul et des tables s'appuyant sur la longitude du Soleil, préférable à sa déclinaison.

29 La Hire, *Op. cit.*, p. 187-193 et table LVI.

Voyons l'exploitation très simple de la table de La Hire :

A Paris, le 29 octobre 1726, il observe deux couples de hauteurs correspondantes du bord supérieur du Soleil.

matin	hauteur du Soleil	soir
9 h 33 m 04 s	21°	14 h 7 m 49 s
9 h 36 m 27 s	21° 20'	14 h 4 m 26 s

- De ces hauteurs il en déduit le midi brut soit : 11 h 50 m 26,5 s ;
- l'intervalle entre les observations est de \approx 4 h 30 m ;
- la déclinaison du Soleil en ce jour est de $-13^\circ 23'$.

A partir de la *table LVI*, pour une déclinaison méridionale comprise entre 13 et 14° et pour un intervalle de 4,5 h compris entre les colonnes V et IV, on détermine par extrapolation la correction 17'' 2''' qu'il faudra apporter en plus au midi brut, ce qui donnera l'instant du midi vrai à la pendule :

11 h 50 m 43,5 s.

81

Table LVI. Equation du Midi trouvée par les hauteurs correspondantes du Soleil, pour chaque degré de déclinaison de l'Ecliptique, dont la plus grande est supposée de 23° 29', & pour la latitude de l'Observatoire Royal de Paris.

Heures entre les Observations des Hauteurs égales.	X		IX		VIII		VII		VI		V		IV	
	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.
10					21	16	10	17	19	13	18	27	17	14
11							19	58	18	57	18	5	17	6
12							19	30	18	42	17	43	17	0
13							19	0	18	20	17	26	16	53
14							18	10	17	59	17	8	16	40
15							17	19	17	27	16	50	16	22
16									16	35	16	25	15	58

12. Extrait de la table de correction LVI.

Remarques

1 – Pour s'assurer du bon alignement de la méridienne on peut, si possible, observer le passage d'une étoile au méridien dont on détermine l'instant par des hauteurs correspondantes prises au quart de cercle avec une horloge réglée de préférence en temps sidéral.

Richer nous donne dans le détail la recherche du décalage de son octant par rapport au plan méridien dans lequel il est supposé être ; il précise aussi comment il rectifie la position de son instrument³⁰.

2 – On peut s'interroger sur le degré d'exactitude donné par la méthode de recherche du midi.

³⁰ *Mémoires de l'Académie royale des Sciences, Op. cit.* p. 289-290 ; 320-321, [p. 289 en ligne](#).

Prenons trois exemples trouvés dans les archives :

- a) Picard : le 21/03/1675, à l'Observatoire, avec un ¼ cercle de 1 m ; pour 13 couples de hauteurs, la dispersion à $\pm 2\sigma$ (ici, σ sera l'écart-type expérimental) est $< 1,13$ s ; la dispersion sur la moyenne elle alors de $\pm 2\sigma/\sqrt{13}$ soit $< \pm 0,4$ s³¹
- b) Feuillée f(La Caille) : en 1724, à l'île de Fer, avec un ¼ cercle de 60 cm ; pour 4 couples de hauteurs, la dispersion sur la moyenne est de $\pm 2\sigma/\sqrt{4} = \pm 0,6$ s³².
- c) Cassini de Thury : en 1744, à l'Observatoire, avec un ¼ cercle de 2 m ; pour 9 couples de hauteurs, la dispersion sur la moyenne est de $\pm 2\sigma/\sqrt{9} = \pm 0,3$ s ; pour 7 autres couples, elle est de $\pm 0,6$ s³³.

Ce qui montre que le résultat est presque toujours dans la seconde de temps.

➤ Quelques exemples

- La méridienne de Jean-Dominique Cassini, tracée sur le sol de San Petronio à Bologne, en 1655. Après avoir constaté quelques déplacements, elle est restaurée, à partir des indications de Cassini et de son fils Jacques, de 1695 à plus de 1720. La méthode de réalignement n'est pas précisée, mais les ordres venant de Cassini, nul doute qu'elle ait été retracée à partir de la méthode des hauteurs correspondantes. Après un tremblement de terre en 1779, elle est réparée à nouveau. En 1905, sa déviation est mesurée « par rapport au vrai nord ». Elle vaut alors $1^{\circ} 36,6''$ ³⁴.



13. La méridienne de J.D Cassini à Bologne, détail

- La méridienne de Bianchini, construite dans l'église S. M. degli Angeli, à Rome, en 1702, est tracée à partir de signaux sonores venant de l'église San Marco, tracée par Cassini en 1695. En 1734, Celsius, qui passait par là, « s'aperçut que la méridienne romaine déviait de $2'$ » ; plus tard, avant 1787, Boscovich le « Cassini de Thury italien » et l'astronome Maire « trouvèrent une erreur encore plus grande : près de $4,5'$ soit un retard de 5 s au solstice d'été et d'environ 15 s au solstice d'hiver. » ; d'après Heilbron, des essais modernes suggèrent que « Bianchini a construit mieux qu'ils n'ont mesuré³⁵ » !



14. La méridienne de Bianchini

31 Le Monnier, *Op. cit.* p. 114.

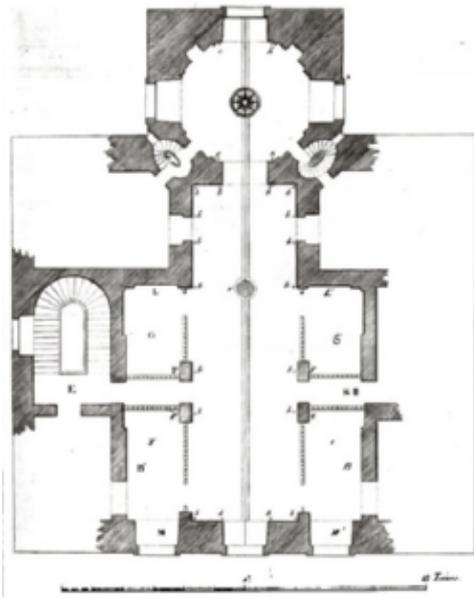
32 *Mémoires de l'Académie royale des Sciences*, 1746, p. 132, [lire en ligne](#).

33 *Mémoires de l'Académie royale des Sciences*, 1744, p. 373, [lire en ligne](#).

34 John L. Heilbron, *Op. cit.* p. 145-146.

35 *Ibid.*, p. 175.

- La méridienne de Jacques Cassini, dans la grande salle de la Méridienne, au premier étage de l'Observatoire de Paris, construite en 1729. Maraldi et Cassini vont déterminer sa direction au quart de cercle, par la méthode des hauteurs correspondantes. Ces observations et pointages ont lieu dès le solstice d'hiver et les jours suivants ; d'autres observations du même type seront effectuées vers le solstice d'été. Tous les points repérés seront dans le même alignement. Après traçage « nous avons vérifié si elle était précisément dans la direction de la ligne méridienne prolongée jusqu'aux extrémités du Royaume. ». Plaçant un quart de cercle à son extrémité méridionale, un fil vertical à son extrémité nord, ils ont visé la mire nord de Picard à Montmartre. L'alignement était parfait !



15 La « Grande Salle de la Méridienne de l'Observatoire Royal. »

Nous avons peu de précisions sur l'exactitude angulaire de la méridienne (La Caille a trouvé qu'elle déclinait de 12'' à l'orient par seize observations !)³⁶. Elle a été néanmoins la référence temps des quarts de cercles muraux de l'Observatoire dédié au réglage des pendules³⁷.

- La méridienne de le Monnier, dans l'église Saint-Sulpice à Paris, est en cours de finition en 1743. La méthode des hauteurs correspondantes y est employée, au début du mois de novembre. Elle permet le pointage de la base du tracé de la verticale sur l'obélisque bien connu qui indiquera le solstice d'hiver. La ligne sera vérifiée par cette méthode vers le solstice d'hiver. « on peut ordinairement y déterminer le moment du midi... avec la précision d'une demi-seconde, ou même d'un quart de seconde. » ; au solstice d'été, grâce à une lentille on apprécie l'instant du midi à une demi-seconde près³⁸.



16. Le gnomon et l'extrémité nord de la trace horizontale de la méridienne de St-Sulpice.

En conclusion

La méthode des hauteurs correspondantes, méthode standard du siècle des Lumières sera pérennisée. Elle verra la disparition des grandes

36 Jacques Cassini, *De la méridienne de l'Observatoire*, dans *l'Histoire de l'Académie royale des Sciences*, 1732, p. 452-471, [lire en ligne](#) ; voir aussi J.-B. Delambre, *Grandeur et figure de la Terre : ouvrage augmenté de notes, de cartes et publié par les soins de G. Bigourdan*, Paris, 1912, p. 6-7, [ouvrage en ligne](#).

37 L'écart d'azimut actuel de la Mire Nord, n'est pas appréciable sur une carte IGN, [voir détails](#).

38 Le Monnier, *Sur le gnomon et l'obélisque de la méridienne de Saint-Sulpice*, dans *l'Histoire de l'Académie royale des Sciences*, 1743, p. 142 et p. 361 des Mémoires, [accès en ligne](#) ; voir aussi : Andrée Gotteland, *Les méridiennes du monde et leur histoire*, Le Manuscrit, Paris, t. 1, p. 227 et notes p. 231 ; voir aussi l'article *Méridienne* de Lalande dans *l'Encyclopédie méthodique – Mathématiques*, t. 2, p. 380, [accès en ligne](#).

méridiennes devenues inutiles devant les progrès des instruments d'observation tels les grands quadrants ou quarts de cercles muraux, les instruments méridiens et les théodolites.



17. Une méridienne oubliée, la méridienne de Tonnerre entourée des membres de la CCS.

ILLUSTRATIONS

Les illustrations non précisées sont de l'auteur.

Fig.	Source
3	Cassini, <i>Meridiana</i> .
4, 5	Wikipédia-Commons, <i>Astronomiae instauratae mechanica</i> .
6 à 8	Wikipédia-Commons, <i>Machina Coelestis by Johannes Hevelius</i> .
9	BnF, Gallica, Maupertuis, <i>Degré du meridian entre Paris et Amien</i> .
11	BnF, Gallica, Picard, <i>Mesure de la Terre</i> .
12	Google books, La Hire, <i>Tables astronomique</i> , photomontage.
13	Wikipédia-Commons, <i>San Petronio (Bologna) – Interior</i> .
14	Wikipédia-Commons, <i>Santa Maria degli Angeli (Rome) – Sundial</i> .
15	BnF, Gallica, Cassini IV, <i>Mémoires pour servir à l'histoire des sciences</i> .
16	Wikipédia-Commons, <i>Gnomon of Saint-Sulpice</i> .
17	Un membre anonyme de la CCS ?



Ecole de gnomonique à Lorca

Antonio J. CANONES et Pedro NOVELLA¹

traduction Dominique COLLIN

Visite d'une école de gnomonique de la fin du XVIIIe siècle à Lorca, région de Murcie en Espagne.

Parmi les peintures du second étage du nouveau cloître du couvent Saint-François de Lorca (Murcie, Espagne : 37.672684 ; -1.699998), il y en a plusieurs, six exactement, qui sont surprenantes en raison du lieu où elles sont situées. Il s'agit de quatre types distincts de cadrans solaires, un quart de cercle gradué et un trigone. Bien que certains cadrans aient été perdus, ceux conservés constituent un ensemble complet qui permet de penser que dans ce lieu, à la fin du XVIIIe, il y avait une école consacrée à l'enseignement de la gnomonique. Ces peintures, dissimulées pendant de nombreuses années, ont été mises à jour au cours des récents travaux de restauration.



Ce couvent a été la seconde fondation de l'Ordre Franciscain à Lorca et est connu sous le nom de Saint-François de La Puerta de Nogalte pour le différencier de celui de Huertas. Sa construction a débuté en 1561, l'église et le premier cloître ont été terminés au cours du XVIIe siècle. Le second cloître est postérieur, est beaucoup plus grand et possède trois niveaux. Suite au

¹ Membres de l'Association des amis des Cadrans Solaires (Asociación de Amigos de los Relojes de Sol (AARS))

« démantèlement des biens religieux » qui s'est produit en Espagne depuis la fin du XVIIe jusqu'au début du XXe siècle, le couvent disparu comme tel en 1838 et devint l'Hôpital de la Bénéficine, puis collège, et est actuellement le siège de la confrérie de la fraternité des agriculteurs – Paso Azul de Lorca.

Après la sécularisation des moines, les nouveaux propriétaires ont couvert les murs d'une fine couche de plâtre et superposé des badigeonnages au fil des années. Les importants dommages occasionnés au cours du séisme du 11 mai 2011, ont fixé les travaux de consolidation et de réadaptation du bâtiment au cours desquels est apparue dans les murs du cloître, une remarquable collection de peintures à thématiques et sujets variés, parmi lesquelles figurent celles à caractère gnomonique.

Les cadrans solaires étaient indispensables dans les églises, couvents et monastères. Jusqu'au XVe siècle ils ont été utilisés directement pour régler l'heure fixée par les règles des différents ordres religieux, puis postérieurement ont servi à mettre à l'heure les horloges mécaniques.

Nombreux ont été les religieux et moines qui se sont consacrés à l'étude de la gnomonique et à l'étude de l'horlogerie et qui nous ont laissé de nombreux traités imprimés ou manuscrits. Par exemple le cistercien Juan Caramuel (1605-1682), auteur de « *Solis et artis adulteria* », qui a maintenu une correspondance avec les principaux scientifiques européens de l'époque. Nous connaissons un nombre important de frères qui ont construit des cadrans solaires qui peuvent encore aujourd'hui être vus dans les monastères et les couvents de leur ordre. Soulignons entre tous, le frère chartreux Martín Galíndez (1547-1627), auteur des trois cadrans du pavillon du cloître du monastère du Paular de Rascafría (Madrid), et le frère bénédictin Plácido Iglesias qui a tracé le monumental quadruple cadran solaire du cloître baroque du monastère de Celanova (Ourense), au milieu du XVIIIe siècle.

Dans le couvent de Saint-François de Lorca il n'y a pas de cadran solaire, ni dans le cloître, ni sur les murs extérieurs, même s'ils pouvaient avoir disparu. Aucun de ses moines nous a laissé un quelconque manuscrit de gnomonique mais... dans ce couvent se produit quelque chose d'exceptionnel : les cadrans solaires ont été placés à l'ombre. Il y a eu ici un moine qui non seulement a peint plusieurs cadrans solaires sur les murs intérieurs du cloître, mais qui a en outre ajouté quelques autres figures habituelles dans les gravures des traités de gnomonique, utilisés pour le calcul et le tracé des cadrans solaires, comme sont le quart de cercle gradué et le trigone. Dans quel but ? La seule explication cohérente est qu'il y avait quelqu'un qui enseignait le calcul et la construction des cadrans solaires, et pour éviter de répéter maintes et maintes fois les dessins dans ses explications, il a décidé de peindre les planches des livres sur le mur. Nous savons de qui il s'agit parce qu'il a signé et daté un de ses cadrans : « Fr. Michael Rizo fecit, an 1799 ».

Pour terminer cette petite introduction, nous voulons souligner que la conservation et la réhabilitation des peintures gnomoniques ont été rendues possibles grâce à la sensibilité et à l'intérêt manifesté par les responsables de l'entreprise chargée des oeuvres de restauration et grâce aux dirigeants de la Fraternité du Paso Azul qui, ne reculant devant le défi qui se présentait, se sont adressés à l'Association des Amis des Cadrans Solaires d'Espagne qui a assumé la tâche d'étude et de conseil pour une restauration correcte.

Les peintures gnomoniques du couvent de Saint-François de Lorca

Les peintures murales étaient en assez mauvais état de conservation, couvertes d'une mince couche de plâtre, mais contenaient suffisamment d'éléments morphologiques et polychromatiques permettant leurs



interprétation et restauration.

Mur intérieur, à droite de la porte d'accès au second étage du cloître.

1. Cadran vertical méridional déclinant 28° Ouest ;
2. Quart de cercle gradué ;

Mur extérieur, face aux deux précédents, entre deux fenêtres qui donnent sur la cour

3. Cadran oriental ;
4. Allure d'un cadran occidental ;
5. Cadran méridional, Fr. Michael Rizo Fecit, An 1799 et vers mnémotechniques ;
6. Trigone.



le cloître avant restauration (photo du haut, et après (ci-dessus))

Figure 1. Cadran vertical déclinant 28° Ouest

Cadran solaire vertical déclinant 28° Ouest tracé pour une latitude de 38° N.



Le cadran solaire vertical méridional déclinant avant et après restauration.

- *Cadre*. Cadre de 73 cm de longueur et 11 cm de large, avec les quatre coins découpés en quart de cercle, et situé à un mètre de hauteur. Restes de peinture : rouge foncé². Sur le cadran déclinant on trouve la figure 2 : le quart de cercle.



Phases de restauration du cercle distributeur.

- *Dessin distribuant le faisceau horaire*. Étoile à 12 pointes décorant le pôle. Visage du soleil à l'intérieur de l'étoile. Couleurs : jaune paille et rouge.

- *Lignes horaires*. De 9 heures du matin à 6 heures du soir. Avant de les peindre elles ont été gravées avec des lignes très fines sur le crépi en plâtre du mur. Avant la restauration on les distinguait presque toutes et certaines d'entre elles conservaient des traces de couleur rouge foncé.

- *Chiffraison arabe*. Suffisamment conservée pour reproduire la graphie originale de tous les chiffres : 1 en 'I' romain, 2 d'un trait inférieur droit, 3 de deux traits courbes, 4 en bougie latine, 5 d'un trait supérieur horizontal légèrement développé, 6 en spirale fermée d'un jambage supérieur courbé vers l'extérieur (le 9 a disparu mais nous savons que l'on reproduit toujours, à l'envers, la

² « negro tinto » : traduction mot à mot : rouge foncé. Pourrait être traduit par « rouge pourpre », sans certitude. Dans la suite on a laissé « rouge foncé », *Ndt*.

graphie du 6), le 8 en boucle ouverte (conserve seulement la partie supérieure), le 0 de plus petite taille que les autres chiffres.

Les nombres des deux bandeaux verticaux du cadre sont écrits en position verticale, ceux du tronçon horizontal sont écrits parallèlement aux lignes horaires. Couleur : rouge foncé.

- *Lignes des dates et signes du zodiaque.* Sont conservés des fragments de la ligne équinoxiale avec les signes du zodiaque Balance et Bélier. Couleur : rouge.

- *Inscription.* Il occupe toute la partie supérieure du cadre. "Relox Vertical Meridional DEclinante 28° al Poniente". Les lettres D et E en majuscule dans le mot Declinante. Couleurs : rouge foncé dans les majuscules et couleur rouge dans les minuscules.

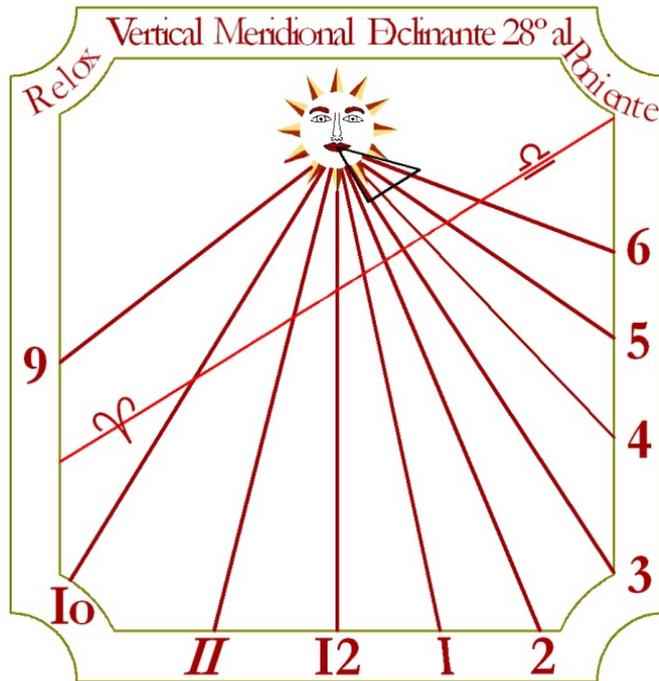
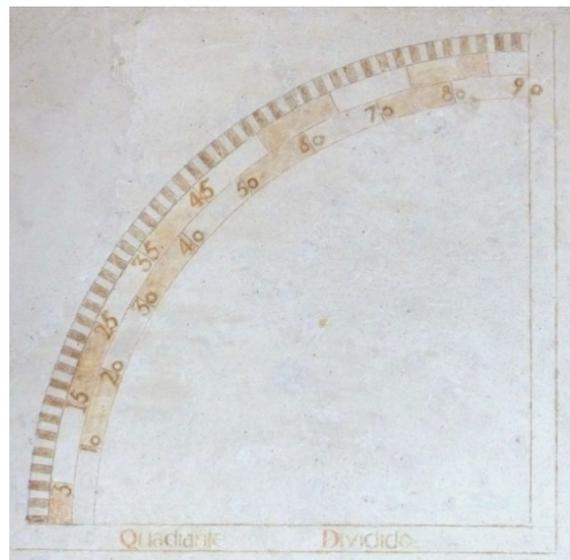


Figure 2. Quart de cercle gradué

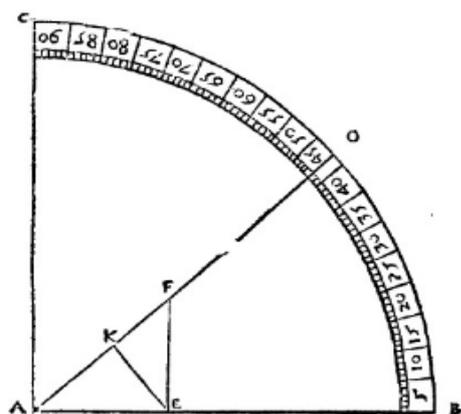
Le quart de cercle est un instrument fondamental dans le tracé des cadrans solaires puisqu'avec celui-ci on prend les mesures des angles que doivent former toutes les lignes qui sont dessinées sur le cadran. Il est un des concepts de base qui sont expliqués au début de tous les traités de gnomonique.

Reconstitution du cadran vertical méridional déclinant à l'ouest.



Le quart de cercle du couvent est gradué de degré en degré, de 0° à 90°, avec deux autres subdivisions intérieures de 10 en 10 degrés qui commencent par 5 pour les premières et par 10 pour les secondes.

Juan de Arphe, dans son livre “*Varia Commensuracion para la Escultura y la Arquitectura*” en 1773, tout comme le frère Miguel Rizo dans le cadran solaire méridional que nous verrons plus loin, entame l'explication de l'utilisation du quart de cercle en lui consacrant des vers, dans ce cas un huitième réel, qui se terminent avec la célèbre expression : “*cette étoile qu'on ne peut pas naviguer sans elle*”, en référence évidente à l'Étoile Polaire.



*El quadrante es la guia principal
para hazer los relojes que el Sol rige
Enel vera la altura cada qual
que desde el Orizonte se colige
Deste sale la linea Vertical
donde el quarto del circulo se elige
Y muestranos por linea aquella estrella
que no se puede navegar sin ella.*

Varia Commensuracion... – J. de Arphe – 1773

Figure 3. Cadran oriental



Figure 3. Cadran oriental



Le cadran oriental avant et en cours de restauration

Calculé pour 52° de latitude. Il est formé d'un rectangle incliné. Avant de le peindre il a été gravé avec de très fines lignes dans le crépi du mur. Les quelques grands traits de ces lignes restent dans le cadre, les lignes horaires, le soleil, la numérotation et l'inscription.

- *Cadre*. Rectangulaire de 52,5 cm de long et de 26,4 cm de large avec quatre coins découpés en quart de cercle. Hauteur sur le sol : 183 cm.

- *Dessin distribuant le faisceau horaire*. Soleil humanisé décorant le pôle avec une étoile de 14 pointes, mieux conservé que sur les deux autres.

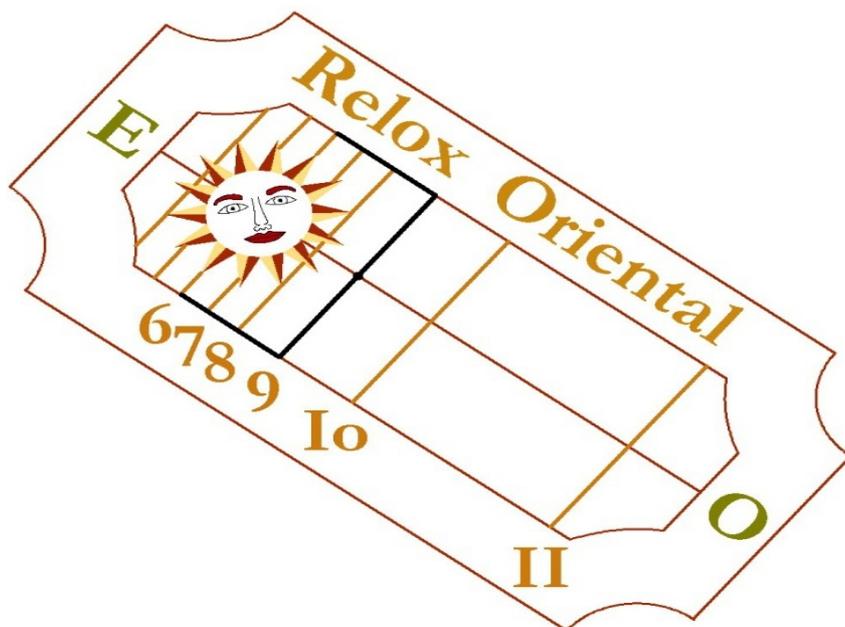
- *Lignes horaires*. Marquées de 4 heures à onze heures du matin.

- *Numérotation*. Nombres arabes de 6 à 11 heures du matin, situés à l'extrémité inférieure de la ligne horaire correspondante. La graphie des chiffres 6 et 9 se répète sur les deux autres cadrans.

- *Aspect général*. Par la distance entre les lignes horaires, la hauteur théorique du gnomon serait de 76 mm, et, en tenant compte du fait que le trou de fixation manque, cela pourrait être une tige perpendiculaire ou être en forme de « U » inversé ou d'un « T ».

- *Arcs diurnes*. Il est seulement dessiné l'équinoxiale.

Reconstitution du cadran occidental.



- Inscription dans le bandeau latéral droit du cadre : « Relox Oriental ». Dans le centre du bandeau supérieur du cadre : E., initiale de “Est” qui serait complétée avec un O, initiale du mot “Ouest”, dans le centre de la partie inférieure du cadre, comme on peut le voir sur d’autres cadrans solaires de la même époque.

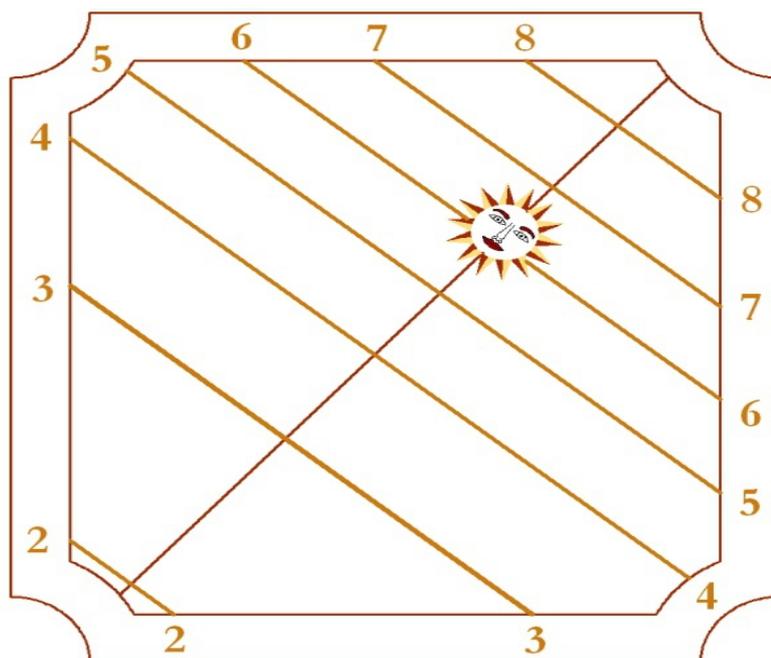
Figure 4. Cadran Occidental

Cadran solaire occidental, calculé pour la latitude 41° nord.

Conjointement placé avec le cadran oriental, il ne reste que le coin supérieur gauche avec un double cadre semblable aux autres cadrans et avec une seule ligne qui se termine par le nombre 4. La ligne a une inclinaison de 41° par rapport à l’horizontale. En tenant compte de cette donnée, nous ne pouvons qu’être en présence que d’un cadran solaire occidental, calculé pour une hauteur de pôle de 41°, et de même forme que le cadran solaire déclinant et méridional.

Il est évident que lorsqu’on a tracé ce cadran, la fenêtre qui s’étend sur une grande partie de son dessin n’existait pas.





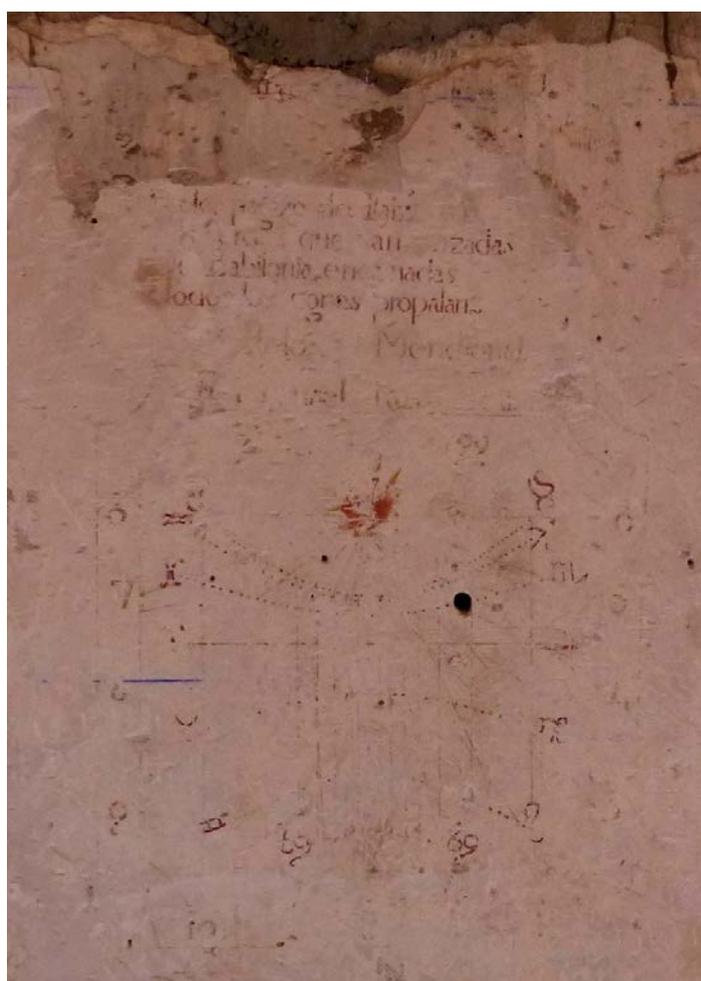
Reconstitution du cadran occidental.

Figure 5. Cadran méridional (heures européennes, italiques et babyloniennes)

Cadran solaire complet et complexe contenant les lignes horaires classiques, les lignes horaires italiques, les lignes horaires babyloniennes, les lignes de déclinaison, les lignes d'azimut et les signes du zodiaque. C'est l'unique cadran solaire, parmi tous les cadrans solaires localisés en Espagne, qui contient toutes ces lignes dans un seul cadran.

Etat du cadran méridional avant la restauration. ►

Sur la photographie on peut apprécier l'état du cadran méridional avant l'élimination des quelques couches de chaulé qui ont permis de lire les vers mnémotechniques écrits en haut avec les inscriptions de l'auteur et de l'année.

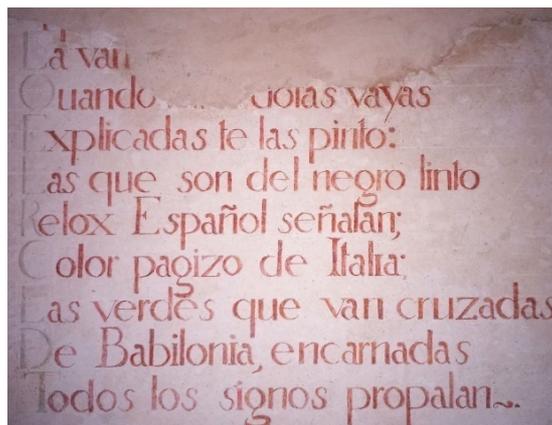
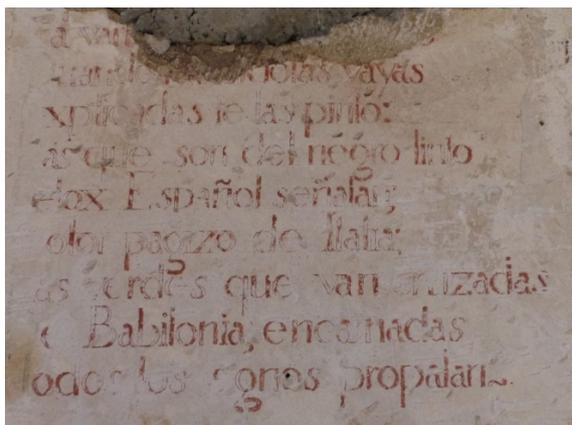


Le frère Michael Rizo a écrit un verset mnémotechnique sur ce cadran solaire complexe qui confirme la finalité pédagogique d'un traité de gnomonique peint sur le mur de l'une des ailes du cloître. La strophe avait dix vers. Le second et le troisième étaient incomplets, et le premier a disparu. On a conservé seulement les sept derniers vers, ceux qui sont les plus significatifs, puisque l'utilisation des couleurs permet au profane d'interpréter la signification de l'enchevêtrement des lignes et des signes qui composent le cadran solaire.

Dans les livres de l'époque, il n'était pas étrange de trouver des poésies au début des chapitres, où on résumait en peu de lignes son contenu comme nous l'avons déjà vu précédemment dans le livre de Juan d'Arphe "*Varia Conmesuración para la escultura y arquitectura*".

*El relox a de estar en parte llana
y a de estar aſentado al medio dia
Y tomase la linea Meridiana
con vn perno clauado en reſta via
El Sol haze ſu ſombra demañana
Señalafe y deſpues eſta es la guia
Por do el compas nos muestra aquella parte
en que ſe média el dia y ſe reparte.*

*Para hazer vn relox Orizantal
teniendo eſte quadrante en la preſencia
La linea ſe à de hazer Meridional
y otra cruzada dela contingencia
Y el circulo ſe forma Equinocial
haziendo quartas, la circunferencia
Y vna en ſeis eſpacios diuidida
moſtraran cada ora repartida.*



Les versets mnémotechniques avant et en cours de restauration.

- Versets mnémotechnique du frère Miguel Rizo écrits sur le cadran solaire méridional

Interprétation des couleurs :

Heures européennes : couleur rouge foncé (actuellement ocre jaune sous l'effet de l'oxydation des pigments).

Heures italiques : jaune paille.

Heures babyloniques : vert.

Lignes de date en pointillés et signes du Zodiaque : couleur rouge.

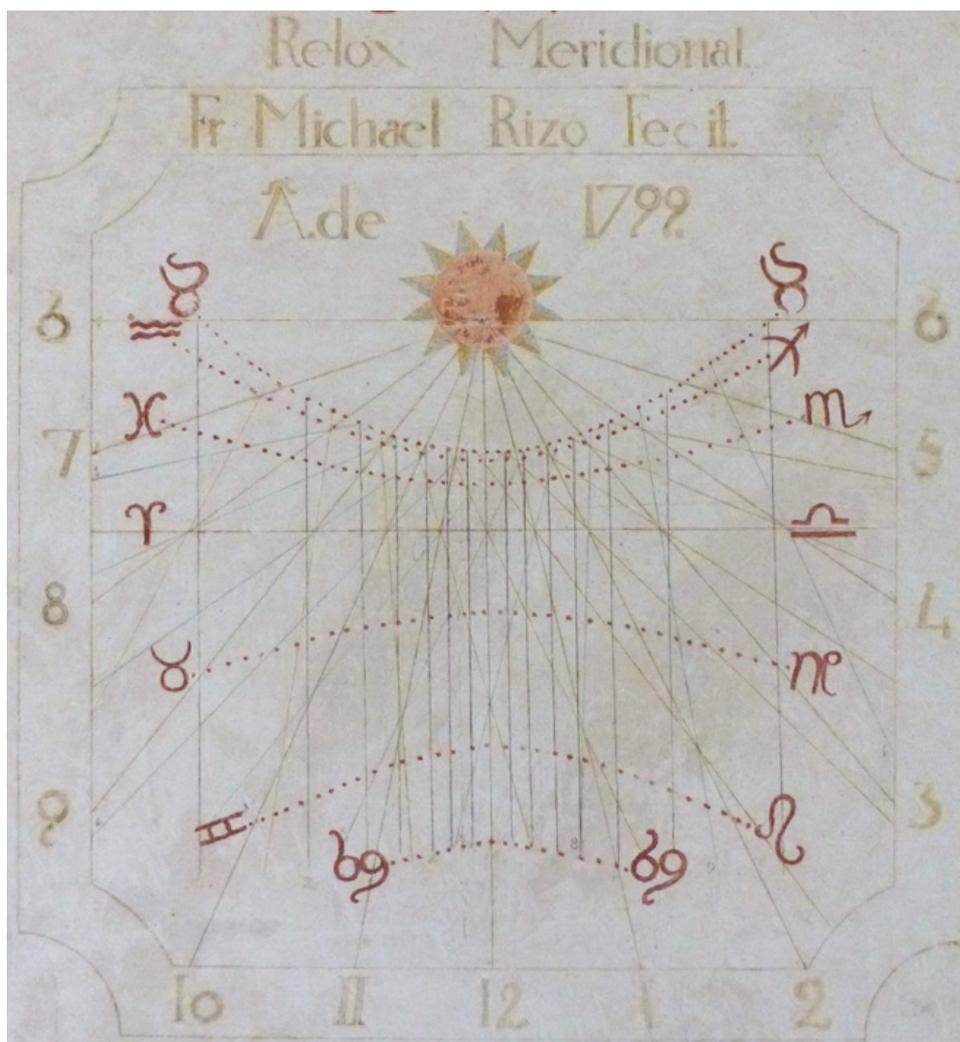
Por parecer laberinto
La variedad de sus rayas
Quando mirándolas vayas
Explicadas te las pinto:
Las que son de negro tinto
Relox español señalan;
Color pagizo de Italia;
Las verdes que van cruzadas
De Babilonia, encarnadas
Todos los signos propalan~.

Pour paraître labyrinthe
La variété de ses pistes
Quand se verront les moqueries
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~.



Etat du cadran méridional en cours de restauration.

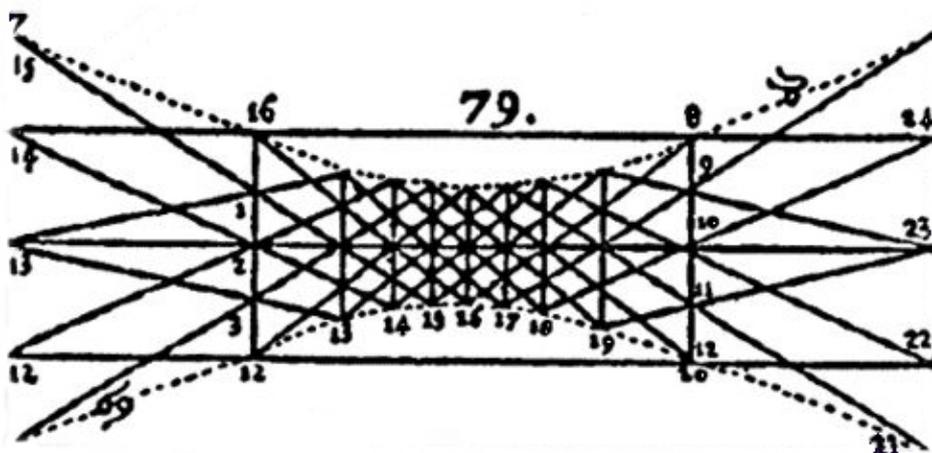
- *Cadre*. Rectangulaire vertical de 75-72,8 cm et 5,5 cm de large, avec les quatre coins arrondis. Situé à 107 cm au-dessus du sol. Couleur : rouge foncé.
- *Dessin distribuant le faisceau horaire*. Etoile à 12 pointes décorant le pôle.
- *Lignes horaires*. Lignes horaires européennes de couleur rouge foncé terminées en pointe de flèche qui permettent de déterminer la hauteur du pôle ; c'est-à-dire, la latitude pour laquelle est calculée le cadran.



Le Cadran méridional après la restauration.

- *Heures italiques et babyloniennes*. Ces heures, avec les heures temporaires, Romaines, temporarias ou planétaires et les canoniques, font partie des heures appelées historiques et ont toutes eu une utilisation plus ou moins étendue tout au long de l'histoire. Les italiques aussi bien que les

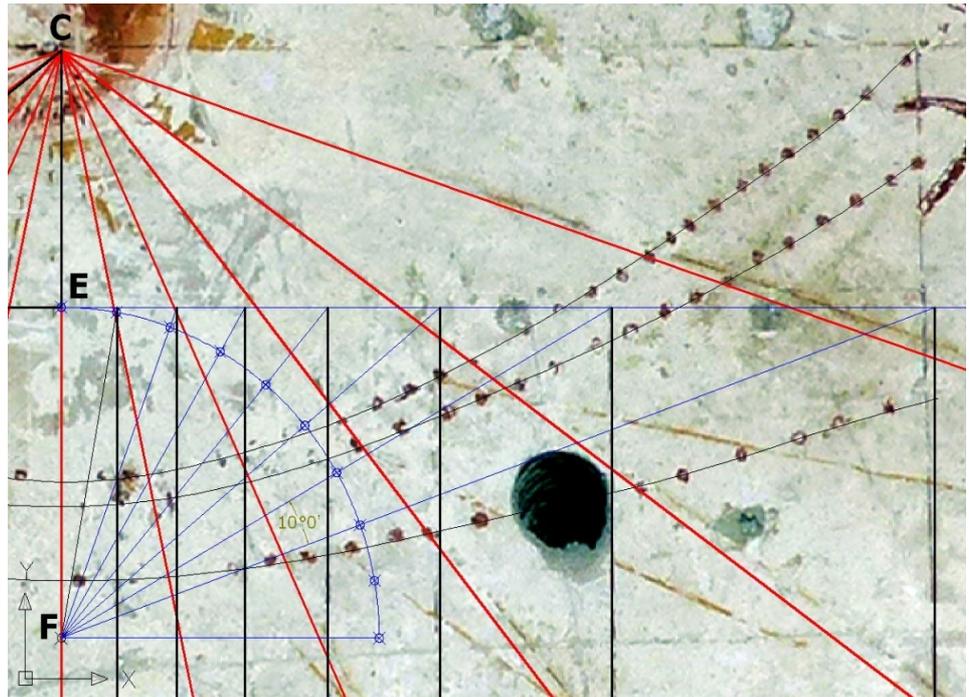
babyloniennes sont la vingt-quatrième partie du jour et ces dernières commencent à se compter à partir de l'*ortus* – lorsque le soleil se lève – alors que les italiques se comptent à partir de l'*occidus* – lorsque se termine le jour précédent – On les représente généralement délimitées de part



Représentation des heures italiques et babyloniennes selon Tosca.

et d'autre de leurs extrémités par les lignes des solstices.

- *Ligne d'azimut.* Selon Tosca, les lignes d'azimut ou cercles verticaux ou simplement « lignes azimutales » dans les cadrans solaires, sont des arcs de grand cercle, qui passent par le Zénith et le Nadir, divisée sur l'horizon en parties égales, et par conséquent ont respectivement avec elles le même aspect que les arcs de grand cercle des heures astronomiques ont avec l'équinoxiale ; parce qu'ainsi comme celles-ci passent par le pôle



Calcul des lignes d'azimut par la méthode de Tosca (A. Cañones).

de l'équinoxiale, celles-là passent par les pôles de l'horizon que sont les Zénith et le Nadir.

- *Ligne des dates (calendrier) et signes du zodiaque.* Lignes discontinues dessinées en pointillées, excepté l'équinoxiale qui est continue. Série des signes du zodiaque complet. Couleur : rouge.



Fig. 1. *Détail.* Graphie de la numérotation. ►

- *Numérotation.* Nombres arabes. Présente quelques différences dans la graphie par rapport au cadran solaire déclinant. Couleur : rouge foncé.

Le 1 en 'I' romain, le 2 à trait inférieur rectiligne, le 3 à trait supérieur rectiligne, le 4 ouvert, le 5 avec le trait supérieur horizontal légèrement développé, le 6 et le 9 à jambage enroulés vers l'extérieur, le 8 en



boucle fermée, le 0 de moindre taille que les autres chiffres.

- Inscriptions en couleur rouge foncé.

Sur le cadre : "Relox Meridional" (Cadran méridional).

A l'intérieur du ruban supérieur du cadre : "Fr. Michael Rizo fecit". (Frère Michel Rizo)

Au bas du ruban supérieur du cadre : "A de 1799", (an 1799), la lettre A est avec une tilde sur le dessus.

Reconstruction
du cadran
méridional.

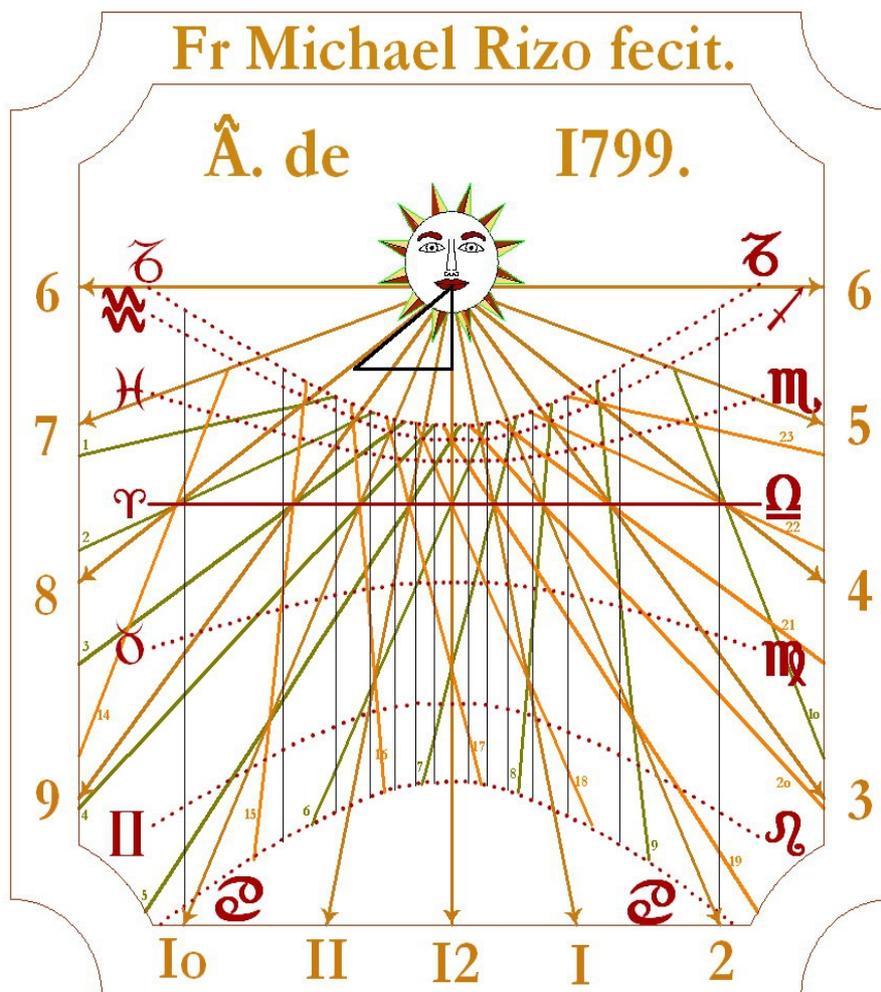
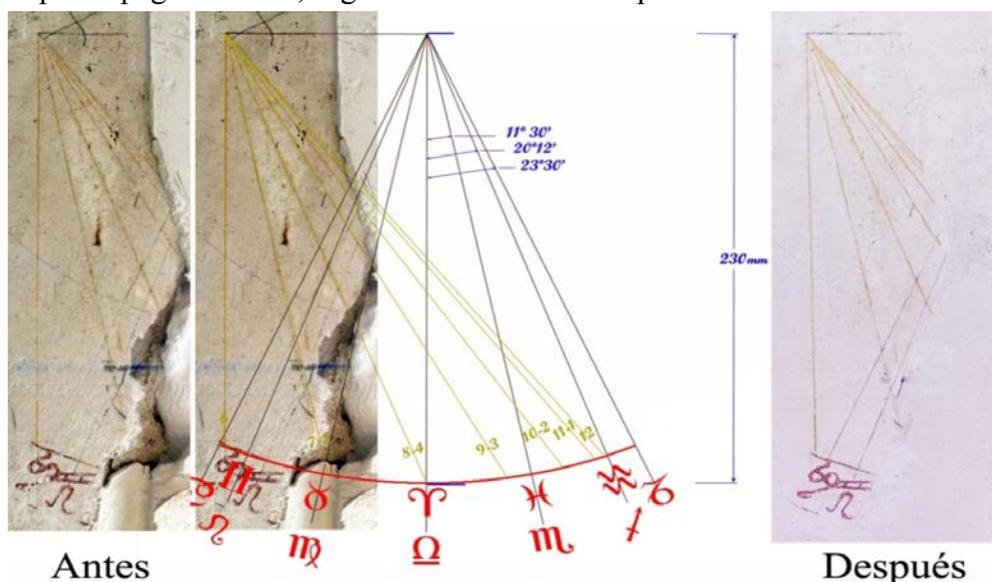


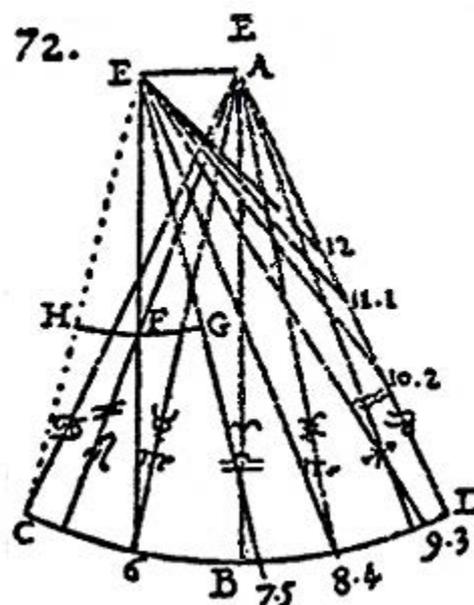
Figure 6. Le trigone.

Sur la photo page suivante, A gauche avant à droite après restauration.



Egalement appelé « Rayon des signes » ou « rayon zodiacal » par le docteur Thomas Vicente Tosca dans son « *Traité de gnomonique et de la Théorie, et pratique des cadrans solaires* » publié à Valence en 1727. C'est un important outil dans la conception de tout cadran solaire qui comporte des arcs des signes. Le trigone a commencé à être utilisé en Europe au XVIe siècle.

Le tracé des lignes horaires dans les cadrans solaires n'est pas compliqué. Il peut être fait géométriquement de plusieurs manières, et si on utilise la trigonométrie, les formules employées sont relativement simples. Le tracé des arcs diurnes est par contre une chose différente puisque la formulation est compliquée et requiert la trigonométrie sphérique. On évite cette difficulté grâce au trigone qui fournit graphiquement le croquis des arcs diurnes.



Le précurseur du trigone est le « *menaeus* », qui a été utilisé par Vitruve (1^{er} siècle après J.C.) dans la construction d'un cadran solaire dans son œuvre « *De Architectura* ». Pour l'espacement des lignes du trigone on a recouru à un cercle divisé avec les dates, semblable au « *menaeus* ».

Une caractéristique importante du trigone est qu'il ne varie pas avec la latitude du lieu du cadran. Les angles qui séparent les lignes intérieures et extérieures sont seulement fonction de la déclinaison du soleil mesuré depuis l'équateur céleste et des différentes dates, avec les solstices sur les bords et les équinoxes pour ligne centrale.

Tosca considère trois manières différentes d'utiliser le trigone pour tracer les arcs diurnes, la troisième est celle qui est peinte sur le mur du couvent. Elle requiert l'utilisation de lignes auxiliaires qui sont celles qui sont vues à gauche du trigone. C'est leur l'intersection avec les autres

lignes qui définissent le tracé (méthode détaillée dans la proposition IX, chapitre II, livre III de son Traité).

*España está cercada con el Mar
Sino en los Perineos solamente
Comiença al medio dia en Gibraltar
y al Septentrion a Asturias tiene en frēte
A Oriente Cataluña viene a estar
Portogal y Galizia al Occidente
Y en estas nueve tablas se veran
las tierras que los grados tomaran.*

L'Espagne est ceinturée par la mer
Mais 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.

Poésie par laquelle Juan d'Arphe prolongea ses 9 tableaux de latitudes pour les villes d'Espagne.

Torrevieja (Alicante) – Printemps 2015

CRÉDITS

Antonio J. Cañones Aguilar : chantier du cadran, rédaction des rapports, liaison du groupe d'expert gnomonique avec les clients et les restaurateurs, dessinateur sur CAD des cadrans et travail sur les photographies de cet article. *Pedro Novella* : a travaillé en grande partie sur la description des figures gnomoniques et sur l'étude des graphies. *Luis E. Vadillo Sacristán* : le trigone. *Jacinto del Buey Pérez* : la typologie des cadrans solaires. *José Antonio Pérez Rubio* : chantier du cadran. *Sylvana Sánchez*, chantier du cadran et restauration des couleurs.

BIBLIOGRAPHIE

- ARFE Y VILLAFANE, Juan de. "De Varia Commensuracion para la Esculptura y Arquitectura", Andrea Pescioni y Juan de León, 1585 première édition. À partir de la quatrième édition (Miguel Escribano, Madrid, 1736) est ajouté la connaissance sur les cadrans solaires de Pedro Enguera, augmentant de façon notable le contenu du livre.
- DE LA HOZ, Juan de Dios. Revue Clavis, n° 8. *Chronique des dernières œuvres pour la restauration de l'ancien couvent de Saint-François à Lorca, 2015.*
- ESTEVE SECALL, Carlos. "A-t-il existé autrefois, en Espagne, une école de gnomonique ?", AARS Analema 37, 2003.
- ESTEVE SECALL, Carlos. "Le cadran solaire du monastère réel de San Jerónimo de Granada", Université de Grenade, 2006.
- HOZ, Juan de Dios de la. Lavila arquitectes S.L.P. « *Chronique des dernières œuvres pour la restauration de l'ancien couvent de Saint-François à Lorca* », description du projet de récupération architectonique du couvent en 2014-2015, Revue Clavis numéro 8, 2014, Conseil Culturel et des Festivités de la marie de Lorca.
- ROIZ, Pedro. "Livre des cadran solaires", Pedro de Huete, Valencia, 1575.
- SOLER GAYÁ, Rafael. "Dessins et construction des cadrans solaires et lunaires. Méthodes graphiques et analytiques ». Ecole des Ingénieurs des Routes, Canaux et Ports. Madrid, 1997.
- TOSCA, Thomas Vicente. « *Traité de gnomonique et de la Théorie, et pratique des cadrans solaires* », Antonio Marín, Madrid, 1727.





Cadran solaire équatorial à réflexion : miroir en forme de courbe de Lamé

Dominique Collin

Les recherches sur le lieu des points de rebroussement de la caustique au soleil constituent le principal objet de cette communication. La courbe astroïde et ses formes dérivées selon l'exposant considérée dans les équations paramétriques du miroir courbe conduisent à obtenir des points de rebroussement se déplaçant sur une ligne droite, ligne d'où il est plus facile de marquer les points horaires. On illustrera cet aspect par des graphiques très proches de la réalité en attente de réalisations plus concrètes pour l'émerveillement de tous.

Dans une précédente étude des cadrans solaires à miroir courbe (Cadran-Info n°32, octobre 2015), la courbe caustique et les points de rebroussement ont été clairement définis en fonction de l'angle horaire vrai du soleil. Le lieu des points de rebroussement de la "caustique au soleil" d'un miroir astroïde est une épicycloïde. Les deux lobes¹ utiles pour le cadran solaire équatorial ont été approché par des portions de coniques respectivement pour les tranches horaires 6h-12h et 12-18h. Approximation plus que suffisante à ce qu'il semble, simplifiant la construction². On se propose de présenter dans cet opuscule, d'après une idée de M. Baillet, la variante suivante : *quelle forme donner au miroir courbe pour que les points de rebroussement de la caustique associée aient un trajet rectiligne ?* Le tracé d'une telle ligne est encore plus facile à construire qu'une portion d'arc de conique... mais ce n'est probablement pas ce qui a motivée cette idée originale. Cette recherche est aussi l'occasion de présenter un exemple concret des différentes étapes du calcul des points de la courbe caustique et du calcul des points de rebroussement qui lui sont associés³.

1. Caustiques du miroir à courbe de Lamé – formulaire mathématique

La formulation du problème est importante. On ne va pas rechercher n'importe quel type de courbe à priori qui pourrait répondre à la question ; en effet, les conditions de réalisation en cadran solaire de la courbe caustique ne doivent pas être perdues de vue⁴. Aussi le point de départ est la forme "astroïde", — où il a été prouvée qu'elle fonctionnait plutôt parfaitement pour en faire un cadran solaire exploitable —, sur laquelle on va faire varier l'exposant de l'équation paramétrique du miroir et observer comment se déplacent les points de rebroussement en fonction de l'angle horaire du Soleil. Si le visuel de la courbe du miroir persiste encore à prendre l'aspect d'une courbe astroïde (parce que c'est une courbe de Lamé), il n'en est pas du tout de même pour le lieu des points de rebroussement qui, lui, va se modifier profondément selon la valeur donnée à cet exposant (changement dans le degré de la courbe des points de rebroussement). Les miroirs ayant un tel profil seront appelés sans hésitation "miroir à courbe de Lamé". Le problème revient alors à trouver quel est l'exposant de la courbe de Lamé qui permet le déplacement des points de rebroussement sur une portion

1 Il y a 4 lobes, soit un lobe par branche astroïde.

2 Une étude sur ce sujet par M. Limousin paraîtra prochainement dans Cadran Info au mois d'octobre 2016.

3 Le lieu des points de rebroussement n'est plus une épicycloïde dès que $n \neq 3$

4 Conditions énoncées par M. Echard, *Cadran à réflexion : miroir deltoïde*, Cadran-Info n°14, p. 28—34, octobre 2006.

de droite.

Ainsi, après un rapide rappel sur la façon dont se détermine une caustique pour un flot de rayons lumineux parallèles (cf. [figure 2](#)), on applique les calculs à la courbe de Lamé. On détermine d'abord les coordonnées point par point de la caustique pour un angle horaire donné, puis ensuite les coordonnées de son point rebroussement (sur l'intervalle $t \in [0^\circ; 90^\circ[$) ; la répétition des calculs pour chaque angle horaire est aisée. On est capable, par cette description des étapes des calculs, d'effectuer la détermination de n'importe quel point de rebroussement de n'importe quelle caustique de n'importe quel angle horaire H , et pour n'importe quel exposant n fixant le profil de la courbe du miroir de ce cadran solaire équatorial à réflexion.

1.1 Rappel : équation de la courbe caustique

Dans le plan d'incidence Oxy , tel que $Oy = Sud$, $Ox = Ouest$ (cf. [figure 2](#)), notons respectivement \vec{V}_i et \vec{V}_r les vecteurs unitaires incident et réfléchis par le miroir (M) au point courant $P(t)$. Ces vecteurs dépendent du point d'incidence P donc du paramètre t puisque (M) est paramétrée par t . Selon les lois de la réflexion de Descartes, nous obtenons en $P(t)$

$$\vec{V}_r = \vec{V}_i + [2 \cos i(t)] \vec{n}_c \tag{1}$$

L'angle orienté $i(t)$ est l'angle d'incidence du flot de rayons lumineux parallèles d'angle horaire H ; il est mesuré positivement dans le sens trigonométrique depuis la normale (N) à la courbe (M) en P . De plus, on notera respectivement \vec{n} un vecteur directeur de la normale⁵ (N), et \vec{t} un vecteur directeur de la tangente (T) à (M) en P .

F étant un point de la caustique, on a déjà établi que $\vec{F} = \vec{P} + q \vec{V}_r$, c'est-à-dire en coordonnées :

$$F(t) \begin{cases} x_F = x + q V_{rx} \\ y_F = y + q V_{ry} \end{cases} \tag{2}$$

où q est un nombre réel à déterminer.

Les relations (2) constituent l'équation paramétrique de la caustique au miroir (M). Ces relations dépendent de t et q . Le calcul du scalaire q est assuré par la formule :

$$q = \frac{\dot{x} V_{ry} - V_{rx} \dot{y}}{V_{rx} \dot{V}_{ry} - V_{ry} \dot{V}_{rx}} \tag{3}$$

Ou encore par :

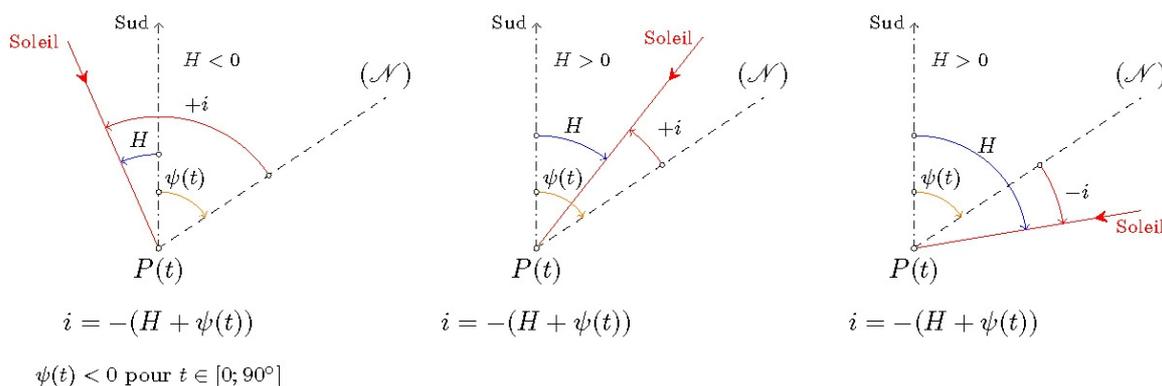
$$q = \frac{1}{2} |R(t)| \cos i(t) \tag{4}$$

5 La relation (1) est établie pour un vecteur normal dirigé vers le centre de courbure Ω de (M) en P . On l'a noté \vec{n}_c et par conséquent pour le miroir courbe $\vec{n}_c = -\vec{n}$ avec $\vec{n}_c = (n_x; n_y)$. Il est nécessaire d'en tenir compte étant donné qu'en tout point de la courbe de Lamé le vecteur normal ne pointe pas vers son centre de courbure.

où $R(t)$ est le rayon de courbure de (M) en $P(t)$ et où $i(t)$ est la *relation fondamentale* des cadrans catacaustiques. Pour tout $t \in I \subset \mathbb{R}$:

$$i(t) = -[H + \psi(t)] \tag{5}$$

où $\psi(t)$ est l'angle que fait la tangente à la courbe (M) en $P(t)$ avec l'axe des abscisses. C'est un angle orienté dans le sens trigonométrique (cf. démonstration [figure 1](#)).



- $\psi(t)$ = angle fait par la tangente au miroir (\mathcal{M}) en $P(t)$ avec l'axe des x ;
- H = angle horaire du soleil ;
- i = angle d'incidence du flot de rayons lumineux parallèles arrivant sur le miroir (\mathcal{M}) ;
- (\mathcal{N}) = normale au miroir (\mathcal{M}) en $P(t)$.

Figure 1 : Relation fondamentale des cadran catacaustiques.

La combinaison des relations (1), (3) et (5) permet de déterminer l'équation de la courbe caustique (C) associée au miroir (M) pour un flot de rayons lumineux parallèles d'angle horaire H . Mais dans les faits, on n'obtiendra pas l'équation algébrique de la courbe caustique ; on obtiendra un ensemble de valeurs numériques des coordonnées du point caustique F relativement au repère utilisé.

1.2 Le miroir de Lamé

Les courbes de Lamé sont une famille de courbes dont la paramétrisation cartésienne peut être mise sous la forme :

$$P(t) \begin{cases} x = a \cos^n t \\ y = a \sin^n t \end{cases} \tag{6}$$

où a est communément assimilé à un facteur d'échelle, et où n est un réel strictement plus grand que 2. Pour $n = 3$, la courbe est une astroïde, dont l'étude a été faite dans Cadran-Info n°32.

Le miroir (M) sera formé de deux branches de la courbe de Lamé dont les points de rebroussement $(a; 0)$ et $(-a; 0)$ sont dans le premier vertical et le point de rebroussement $(0; a)$ est dans le plan méridien, côté sud (cf. [figure 2](#)).

1.3 Tangente et Normale au miroir

En un point courant $P(t)$ de la courbe de Lamé, les vecteurs \vec{t} et \vec{n} ont respectivement pour coordonnées :

$$\vec{t} \begin{cases} t_x = -\frac{1}{\sqrt{1 + \tan^{2n-4} t}} \\ t_y = \frac{\tan^{n-2} t}{\sqrt{1 + \tan^{2n-4} t}} \end{cases} \quad \vec{n} \begin{cases} n_x = -t_y \\ n_y = t_x \end{cases} \quad (7)$$

Remarquons que le vecteur \vec{n} est opposé au vecteur $P\vec{\Omega}$, où Ω est le centre de courbure relatif au point courant $P(t)$.

L'angle entre l'axe des abscisses et la tangente à la courbe (M) en $P(t)$ est déterminé par la relation (pour $n > 2$) :

$$\tan \psi(t) = -\tan^{n-2} t \quad (8)$$

1.4 Réflexion sur le miroir

Le rayon vecteur réfléchi, \vec{V}_r obtenu après réflexion du rayon vecteur incident en un point courant $P(t)$ du miroir, \vec{V}_i a pour composantes :

$$\vec{V}_r \begin{cases} V_{rx} = -\sin H + 2 \cos(H + \psi(t))n_x \\ V_{ry} = -\cos H + 2 \cos(H + \psi(t))n_y \end{cases} \quad (9)$$

avec $(n_x; n_y)$, les coordonnées opposées au vecteur normal à (M) en $P(t)$, de façon à ce que celui-ci pointe plutôt vers le centre de courbure Ω (les coordonnées $(n_x; n_y)$ sont donc celles de \vec{n}_c).

1.5 Dérivation du vecteur rayon réfléchi \vec{V}_r

Le calcul du scalaire q passe nécessairement par le calcul des dérivées premières des coordonnées du vecteur réfléchi \vec{V}_r . On a, tous calculs fait :

$$\dot{\vec{V}}_r = \frac{d\vec{V}_r}{dt} = -2 \frac{d\psi(t)}{dt} \sin(H + \psi(t))\vec{n}_c + 2 \cos(H + \psi(t)) \frac{d\vec{n}_c}{dt}$$

Ou encore, en explicitant les composantes de la dérivée par rapport à t du vecteur normal⁶ :

6 Les composantes de la dérivée par rapport à t du vecteur normal (celui orienté vers le centre de courbure) peuvent se mettre sous la forme remarquable :

$$\frac{d\vec{n}_c}{dt} \begin{cases} \dot{n}_x = -\dot{\psi}(t) \times n_y \\ \dot{n}_y = \dot{\psi}(t) \times n_x \end{cases}$$

$$\vec{V}_r \begin{cases} \dot{V}_{rx} = -2\dot{\psi}(t) \times [\sin(H + \psi(t))n_x + \cos(H + \psi(t))n_y] \\ \dot{V}_{ry} = 2\dot{\psi}(t) \times [\cos(H + \psi(t))n_x - \sin(H + \psi(t))n_y] \end{cases} \quad (10)$$

avec,

$$\dot{\psi}(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = -(n-2)(1 + \tan^2 t) \frac{\tan^{n-3} t}{1 + \tan^{2n-4} t} \quad (11)$$

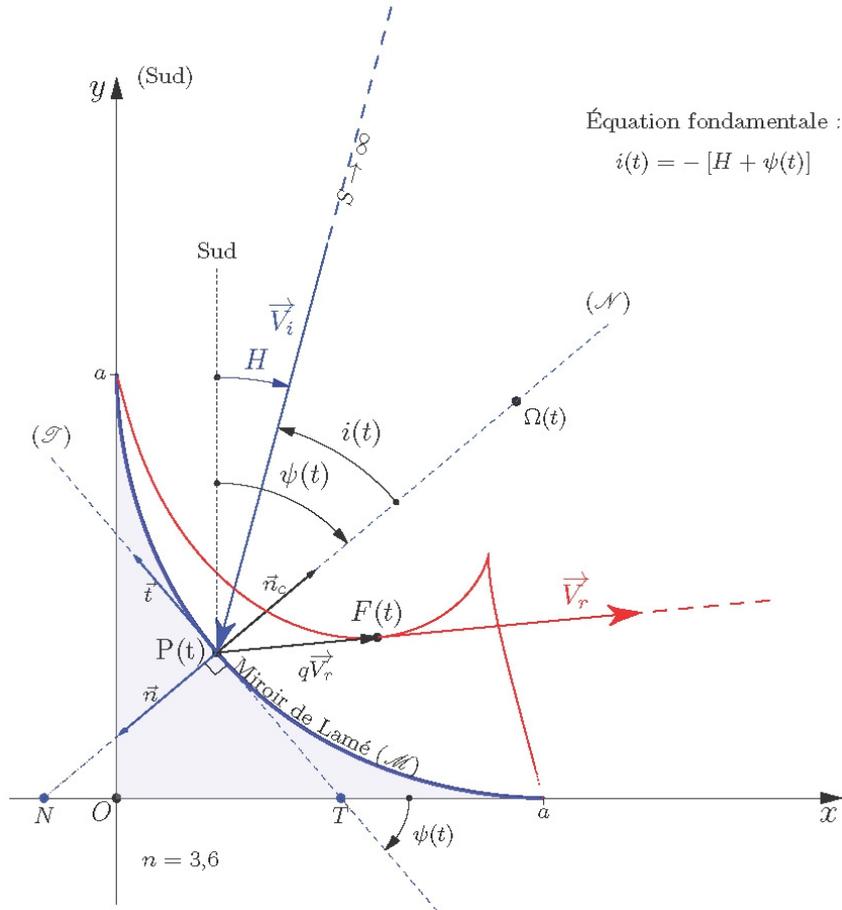


Figure 2 : Construction vectorielle d'une caustique pour un miroir dont le profil est une courbe de Lamé (on a pris $n = 3,6$ et $H = 15^\circ$).

1.6 Algorithmes de calcul

1.6.1 Calcul des points de la caustique du miroir à courbe de Lamé

À ce stade, l'organisation des calculs est la principale préoccupation. Les calculs peuvent se dérouler de la façon suivante :

- choix de a . On prendra $a = 1$ dans la suite de cette étude;
- choix de n ;
- choix de l'angle horaire vrai H ;

- choix de $t \in I$ (typiquement $I =]0^\circ ; 90^\circ[$), au-delà le calcul n'est plus possible en raison de la présence de radicaux ;
- calcul des coordonnées du point courant $P(t)$;
- calcul des dérivées des coordonnées du point courant $P(t)$;
- calcul de $\psi(t)$;
- calcul de $\dot{\psi}(t)$;
- calculs des coordonnées des vecteurs \vec{n}_c au point courant $P(t)$;
- calcul des coordonnées du vecteur réfléchi \vec{V}_r ;
- calcul du vecteur vitesse du vecteur réfléchi $\dot{\vec{V}}_r$;
- calcul du réel q ;
- calcul des coordonnées du point caustique $F(t) = (x_F(t), y_F(t))$.

et on ré-itére pour chaque valeur du paramètre $t \in I =]0^\circ ; 90^\circ[\subset \mathbb{R}$. Puis on recommence le processus pour un autre angle horaire du Soleil afin d'obtenir une autre caustique. Etc. Pour un exemple de calcul, voir [table 1](#).

1.6.2 Calcul des coordonnées des points de rebroussement de la caustique

La deuxième étape est le calcul de la position des points de rebroussement, sous-entendu qu'ils existent toujours pour toute courbe caustique (C) et donc pour tout angle horaire H choisi. C'est généralement le cas pour ce type de miroir (une exception se produit cependant pour $n = 4$).

Le vecteur tangent en un point $F(t)$ de la caustique au miroir (M) est donné par la relation :

$$\frac{dF(t)}{dt} \begin{cases} \dot{F}_x = \dot{x} + q \dot{V}_{rx} + \dot{q} V_{rx} \\ \dot{F}_y = \dot{y} + q \dot{V}_{ry} + \dot{q} V_{ry} \end{cases} \quad (12)$$

avec :

$$\dot{q} = \frac{dq}{dt} = \frac{1}{2} \dot{R}(t) \cos i(t) + \frac{1}{2} |R(t)| \dot{\psi}(t) \sin i(t) \quad (13)$$

sachant que $i(t)$ est déterminé à partir de (5), et la dérivée par rapport à t de \vec{V}_r est donnée en (10). Et enfin, le rayon de courbure $R(t)$ et la dérivée par rapport à t du rayon de courbure $\dot{R}(t)$, ont pour expression :

$$\begin{cases} |R(t)| = a \frac{n}{n-2} \cos^{2n-2} t \sin^{4-n} t \left(\sqrt{1 + \tan^{2n-4} t} \right)^3 \\ \frac{dR(t)}{dt} = \frac{|R(t)|}{\tan t (\tan^{2n-4} t + 1)} \times \left[(n-4) (\tan^{2n-2} t - 1) + 2(n-1) \tan^2 t (\tan^{2n-6} t - 1) \right] \end{cases} \quad (14)$$

Pour un angle horaire H donné, la recherche du paramètre t au point de rebroussement de la caustique est déterminé par la résolution simultanée des équations $\dot{F}_x(t) = \dot{F}_y(t) = 0$. On utilisera par exemple la méthode numérique "Régula-Falsi"⁷. Le principe de cette méthode est

⁷ Cette méthode de résolution porte plusieurs appellations. Elle est peut-être plus connue sous le nom de méthode de Lagrange. Entre autres comparaisons de performance, faisons remarquer que l'on n'aura pas

le suivant :

- 1) Considérons t_1 et t_2 ($t_2 > t_1$) deux abscisses prises dans la liste $\{t; \dot{F}_x(t); \dot{F}_y(t)\}_H$;
- 2) Si $\dot{F}_x(t_1) \times \dot{F}_x(t_2) < 0$ et $\dot{F}_y(t_1) \times \dot{F}_y(t_2) < 0$, alors c'est que t_1 et t_2 sont au voisinage de la racine recherché. La solution se trouve dans l'intervalle $]t_1; t_2[$;
- 3) On calcule : $c = t_1 - \dot{F}_x(t_1) \times \frac{t_2 - t_1}{\dot{F}_x(t_2) - \dot{F}_x(t_1)}$;
- 4) Si $\dot{F}_x(t_1) \cdot \dot{F}_x(c) < 0$ alors : $\beta = t_2 - c$, $t_2 = c$;
sinon : $\beta = t_1 - c$, $t_1 = c$;
- 5) Si $|\beta| > \epsilon$ alors retour à l'étape 3,
sinon la solution est c .

On pourrait très bien prendre $\dot{F}_y(t)$ pour le calcul de c . ϵ est un critère d'arrêt de la procédure de recherche de t au point de rebroussement. Typiquement⁸, on a pris $\epsilon = 10^{-6}$, bien que dans la construction effective du cadran on n'a pas besoin d'une telle précision.

On recommence la recherche des coordonnées du point de rebroussement sur une nouvelle caustique, c'est-à-dire pour une autre valeur de H , donc sur un nouvel ensemble $\{t; \dot{F}_x(t); \dot{F}_y(t)\}_H$. Pour des exemples de calcul, voir [table 2](#) ou encore [table 3](#). Lorsque $n \geq 4$, les points de rebroussement ne sont plus exploitables pour le cadran solaire équatorial : ils sont situés trop près du miroir — pour le lieu des points de rebroussement il y a formation d'un point double c'est-à-dire apparition d'une boucle (le degré de la courbe change).

2. Les différents miroirs à courbe de Lamé

2.1 Exemples numériques

Considérons en un lieu de latitude $43^\circ 43'$ un cadran solaire équatorial à réflexion, et tel que la courbe miroir soit une courbe de Lamé de paramètres $a = 1$ et $n = 2,5$.

2.1.1 Points de la caustique au miroir

On a regroupé en [table 1](#), pour un angle horaire $H = 30^\circ$, l'ensemble de tous les calculs conduisant aux coordonnées des points de la caustique produit par le miroir courbe. On a ajouté la dérivée par rapport à t des coordonnées du point caustique, dont les coordonnées permettent la recherche du point de rebroussement. On observera d'ailleurs que pour $40^\circ < t < 50^\circ$, \dot{F}_x et \dot{F}_y changent simultanément de signe : ils prennent par conséquent une valeur nulle dans l'intervalle $]40^\circ; 50^\circ[$. Il y a donc un point de rebroussement ; il est atteint pour $t = 42,223239^\circ$ (cf. [Table 2](#)).

On trouvera en [figure 3](#) une représentation graphique de la caustique à ce miroir courbe.

besoin de la dérivée seconde de la courbe caustique.

8 Il faut entre 5 à 7 itérations pour déterminer la valeur de t au point de rebroussement de chaque caustique.

Table 1 : Calcul des valeurs⁹ pour $H= 30^\circ$, avec t tous les 10° ($a = 1$, $n = 2,5$)

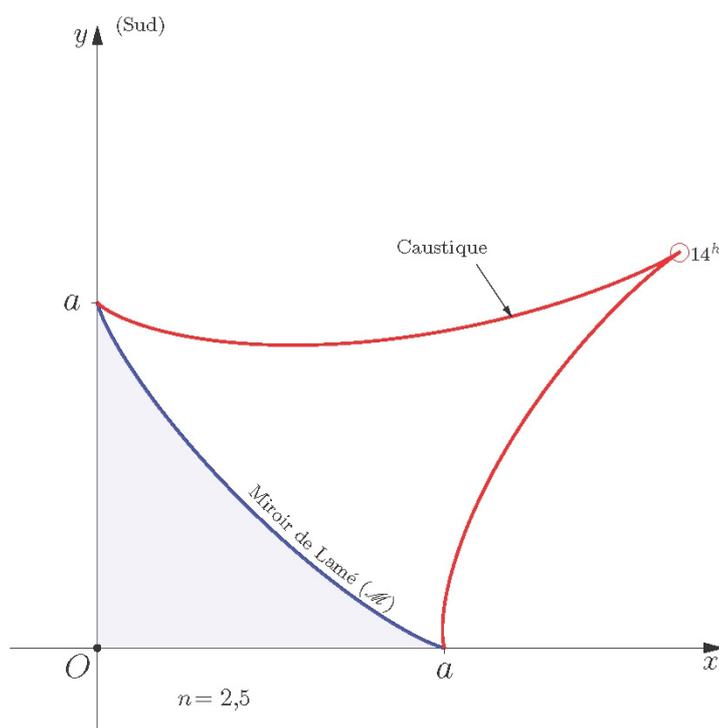
t (°)	$P(t)$ [miroir]		$\Theta(t)$	$\dot{\Theta}(t)$	I	$ R(t) $	$R'(t)$
	x	y	(rad)	(rad/s)	(°)		
10	0,962451	0,012565	-0,397554	-1,04371	-7,221829	0,440881	4,096998
20	0,855982	0,068412	-0,542842	-0,688114	1,102558	1,321942	5,650934
30	0,697954	0,176777	-0,649766	-0,556238	7,228866	2,274621	4,853984
40	0,513612	0,33126	-0,741598	-0,505766	12,490426	2,888957	1,907329
50	0,33126	0,513612	-0,829198	-0,505766	17,509574	2,888957	-1,907329
60	0,176777	0,697954	-0,92103	-0,556238	22,771134	2,274621	-4,853984
70	0,068412	0,855982	-1,027954	-0,688114	28,897442	1,321942	-5,650934
80	0,012565	0,962451	-1,173242	-1,04371	37,221829	0,440881	-4,096998

t (°)	\vec{n}_c		\vec{V}_r		\vec{V}'_r	
	n_{cx}	n_{cy}	V_{rx}	V_{ry}	V'_{rx}	V'_{ry}
10	0,387164	0,922011	0,268186	0,963367	2,010951	2,010951
20	0,516572	0,856244	0,532952	0,846146	1,164490	1,164490
30	0,605000	0,796225	0,700383	0,713767	0,794049	0,794049
40	0,675467	0,737390	0,818960	0,573850	0,580468	0,580468
50	0,737390	0,675467	0,906449	0,422315	0,427186	0,427186
60	0,796225	0,605000	0,968332	0,249666	0,277747	0,277747
70	0,856244	0,516572	0,999259	0,038477	0,052953	0,052953
80	0,922011	0,387164	0,968393	-0,249428	-0,520660	-0,520660

t (°)	q	q'	$F(t)$ [caustique]		$F'(t)$	
			F_x	F_y	F'_x	F'_y
10	0,218692	2,061171	1,021101	0,223246	0,568291	2,041392
20	0,660849	2,816192	1,208182	0,627586	1,491566	2,368098
30	1,128271	2,328097	1,488175	0,982099	1,519053	1,548082
40	1,410291	0,773089	1,668584	1,140555	0,374330	0,262295
50	1,377551	-1,129281	1,579939	1,095373	-1,422115	-0,662565
60	1,048667	-2,482683	1,192234	0,959770	-2,878263	-0,742104
70	0,578671	-2,693447	0,646654	0,878247	-3,130708	-0,120550
80	0,175537	-1,770392	0,182554	0,918667	-1,983986	0,511013

9 Les décimales sont superflues et ne servent qu'à des fins de vérification.

Figure 3 – Courbe caustique d'un miroir à courbe de Lamé pour $n = 2,5$ et $H = 30^\circ$. L'heure solaire se lit lorsque le point de rebroussement franchi le repère marqué 14h.



2.1.2 Points de rebroussement de la caustique au miroir.

La recherche du point de rebroussement de chaque caustique (c'est-à-dire pour chaque angle horaire H) s'effectue par la résolution simultanée des équations $\dot{F}_x = 0$ et $\dot{F}_y = 0$. Les résultats obtenus par la méthode numérique "regula-falsi" sont regroupés en [table 2](#).

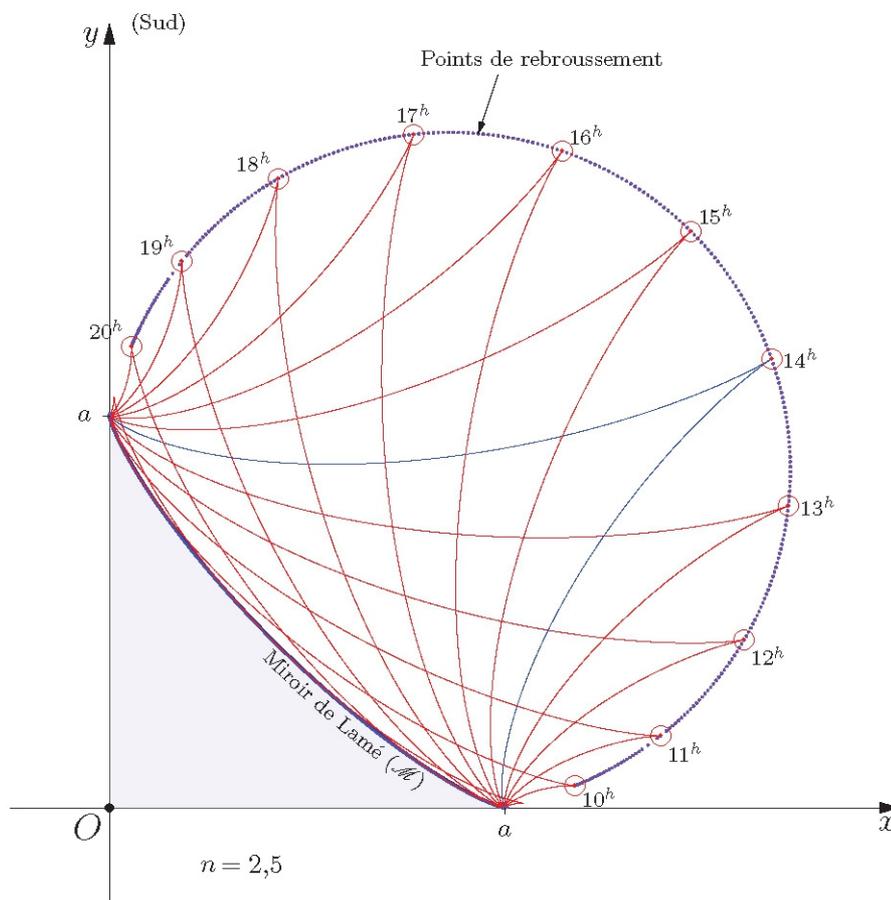
Table 2 : Points de rebroussement des caustiques de la courbe de Lamé pour $a = 1$, $n = 2,5$

Ang. Hor. H (°)	Paramètre t (°)	Points de rebroussement F_x F_y unité		N° du point R_H
-30	21,987824	1,178164	0,055958	R_{10}
-15	29,890916	1,394548	0,183370	R_{11}
0	35,264390	1,606404	0,428131	R_{12}
15	39,126844	1,718751	0,770358	R_{13}
30	42,223239	1,675941	1,145568	R_{14}
45	45,000000	1,471569	1,471569	R_{15}
60	47,776761	1,145568	1,675941	R_{16}
75	50,873156	0,770358	1,718751	R_{17}
90	54,735610	0,428131	1,606404	R_{18}
105	60,109084	0,183370	1,394548	R_{19}
120	68,012176	0,055958	1,178164	R_{20}

On a placé en [figure 4](#) à la fois les courbes caustiques associées aux angles horaires multiples de 15° et le lieu des points de rebroussement des caustiques de cet exemple de

miroir courbe. On constatera que le lieu des points de rebroussement forme un lobe très accentué, les caustiques étant également bien prononcées.

Figure 4 – Aspect des courbes caustiques d'un miroir à courbe de Lamé lorsque $n = 2,5$. Les points de rebroussement forment un lobe très prononcé sur lequel on a installé les repères horaires de 10h à 20h.



2.2 Recherche d'un lieu particulier de points de rebroussement

On dispose maintenant de tous les éléments pour tenter de répondre à notre problématique qui est de trouver la forme à donner au miroir pour que les points de rebroussement des caustiques soient alignés. Pour cela, on a représenté en [figure 5](#) l'aspect de la caustique ($H = 15^\circ$) lorsque l'on fait varier l'exposant de la courbe miroir. Il est constaté que les points de rebroussement des caustiques sont assez éloignés du miroir lorsque $n < 3$, et qu'ils sont nettement moins visibles lorsque $n > 4$. On a par conséquent regroupé dans une même figure, l'ensemble des lieux des points de rebroussement pour chaque forme du miroir courbe, lorsque l'exposant n varie de 0,1 en 0,1, à partir de $n = 2,5$ jusqu'à $n = 4,1$ – cf. [figure 6](#). On observe assez vite que pour $n = 3,2$, le lobe des points de rebroussement s'aplati en son centre (courbe orange). On mémorise cette valeur.

On affine ensuite la recherche de n au voisinage de 3,20. Pour cela, on fait varier n de 0,01 en 0,01 à partir de $n = 3,20$. On accepte assez rapidement comme valeur admissible $n = 3,21$. Valeur heuristique bien plus que suffisante pour notre étude gnomonique.

On donne en [table 3](#) le paramètre t et les coordonnées des points de rebroussement pour les différents angles horaires de l'après-midi lorsque la courbe miroir a pour exposant $n = 3,21$.

Table 3 : Points de rebroussement des caustiques du miroir courbe pour $n = 3,21$

Ang. Hor.	Paramètre	Points de rebroussement	
H	t	F_x	F_y
(°)	(°)	unité	unité
-30	14,541623	1,143453	0,200698
-15	18,327911	1,130033	0,313977
0	22,917100	1,076979	0,431728
15	28,769038	0,989571	0,544877
30	36,235491	0,880300	0,653566
45	45,000000	0,764786	0,764786
60	53,764509	0,653566	0,880300
75	61,230962	0,544877	0,989571
90	67,082900	0,431728	1,076979
105	71,672089	0,313977	1,130033
120	75,458377	0,200698	1,143453

On trouvera en figure 7 le résultat de cette recherche

Pour une construction géométrique de cette droite d'ajustement entre 13 heures et 17 heures (ou de 7 h-11 h pour le matin), considérons la droite (D) , droite passant par les points de rebroussement de la courbe miroir ; il s'agit des points $(a ; 0)$ (côté Ouest), $(0 ; a)$ (côté Sud). La droite recherchée est la parallèle à (D) , noté (D_R) , passant par le point de rebroussement de la caustique de l'angle horaire $H = 45^\circ$ (ou $H = -45^\circ$ si on applique le procédé à la courbe du matin). Il ne reste alors plus qu'à installer les points horaires (cf. table 3) afin d'obtenir un tracé de ce cadran atypique présenté dans le paragraphe suivant.

Figure 5 – Aspect des courbes caustiques pour différentes formes du miroir à courbe de Lamé (angle horaire fixé : on a pris $H = 15^\circ$).

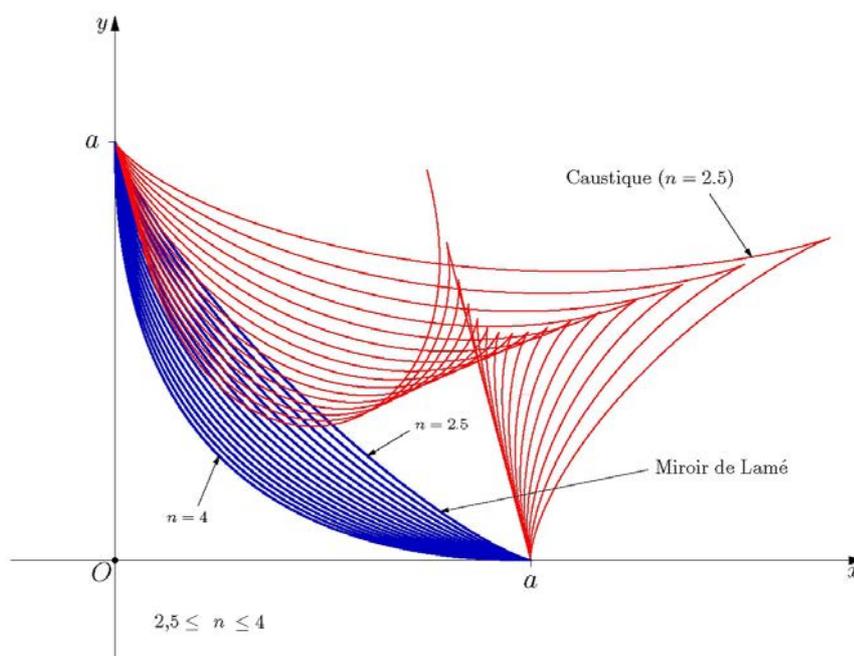


Figure 6 – Aspect des courbes des points de rebroussement pour différentes formes du miroir. Pour $n = 3,2$ une partie des points de rebroussement semblent alignés (courbe orange). Pour $n = 4$, la résolution numérique de l'équation $\vec{F}_x = \vec{F}_y = 0$ ne donne pas de points de rebroussement. Pour $n > 4$, les points de rebroussement ne sont plus utilisables ; la courbe correspondante présente un point double (courbe rouge).

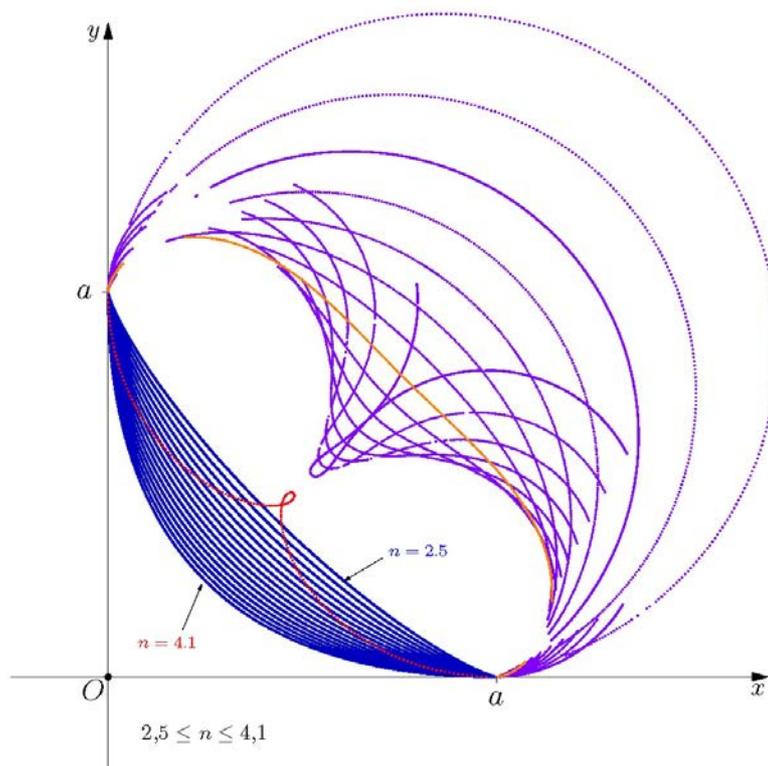
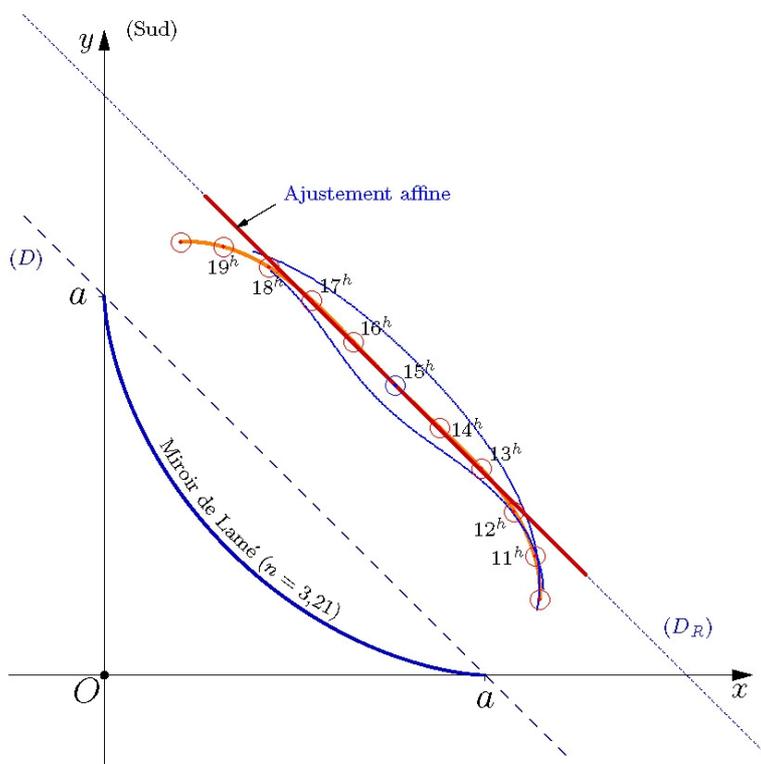


Figure 7 – Ajustement affine des points horaires lorsque la courbe miroir a pour exposant $n=3,21$. Les courbes de rebroussement encadrant la courbe la plus aplatie correspondent aux exposants $n = 3,1$ et $n = 3,3$ (sachant que lorsque les exposants croissent, la courbe de rebroussement se rapproche de la courbe miroir). La droite (D_R) passant par le point horaire 15 h, est parallèle à la droite (D) passant par les points de rebroussement du miroir courbe.



2.3 Le cadran solaire à miroir de Lamé : aspect final

Le cadran solaire équatorial à réflexion dont le miroir épouse le profil d'une courbe de Lamé prend finalement, pour $n=3,21$, l'aspect donnée en figure 9. La partie négative de l'axe des x a été complétée par symétrie par rapport à l'axe des y . Pour un tel exposant donné aux équations paramétriques du miroir courbe, le lieux des points de rebroussement est quasi rectiligne entre 7^h et 11^h puis entre 13^h et 17^h. Pour les autres parties horaires, la courbe des lieux des points de rebroussement s'incurve pour se rapprocher inexorablement des points de rebroussement du miroir formant le lobe caractéristique de tels lieux. Le groupe de figure 8 passe en revue l'aspect des points horaires lorsque l'exposant de la courbe de Lamé du miroir prend les valeurs 2,5, 2,7, 3, 3,4 et 3,8. Ce qui donne une idée de l'aspect général de la répartition des points horaires, mais aussi de la rapide influence de l'exposant sur la position des points de rebroussement des caustiques.

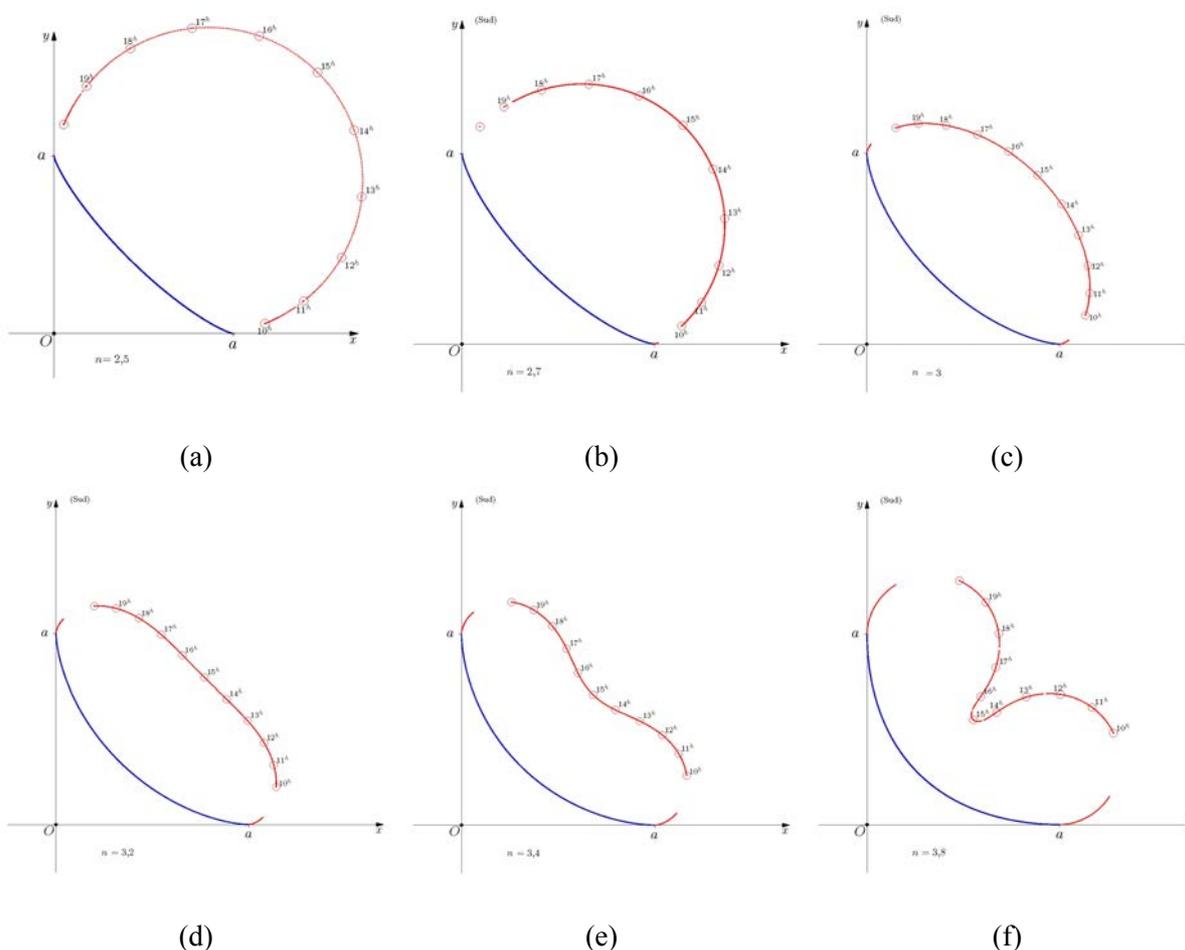


Figure 8 – Différents aspects de la répartition des points horaires selon la courbure du miroir. Dans figure (d) les points horaires sont quasiment alignés pendant près de 7 h.

Conclusion

La plus grande difficulté dans cette variété de cadran solaire équatorial se trouve être dans la construction du miroir courbe. La mise en place des points horaires est en

comparaison, et de loin, bien plus simple. On a délivré, sous forme numérique, ce qu'est capable de donner un miroir dont le profil est une courbe de Lamé : le point de rebroussement de la caustique sert d'indicateur horaire. Il y en a autant qu'il y a d'angle horaire à considérer si bien que l'on s'est intéressé au lieu des points de rebroussement, marqueurs horaires du cadran solaire.

La théorie des cadrans catacaustiques étant maintenant réalisée (avec succès), il ne reste plus désormais que l'aspect pratique qui n'a pas encore vraiment été exploré. Des méthodes restent encore à déterminer, notamment dans la construction du miroir si l'on veut obtenir une caustique au soleil bien propre avec ses points de rebroussement. À terme, c'est cette dernière phase qui permettra de les mettre en lumière ou de les plonger dans l'oubli en les reléguant en simple curiosité de cabinet. Mais ceci, c'est au lecteur passionné de gnomonique d'en décider.

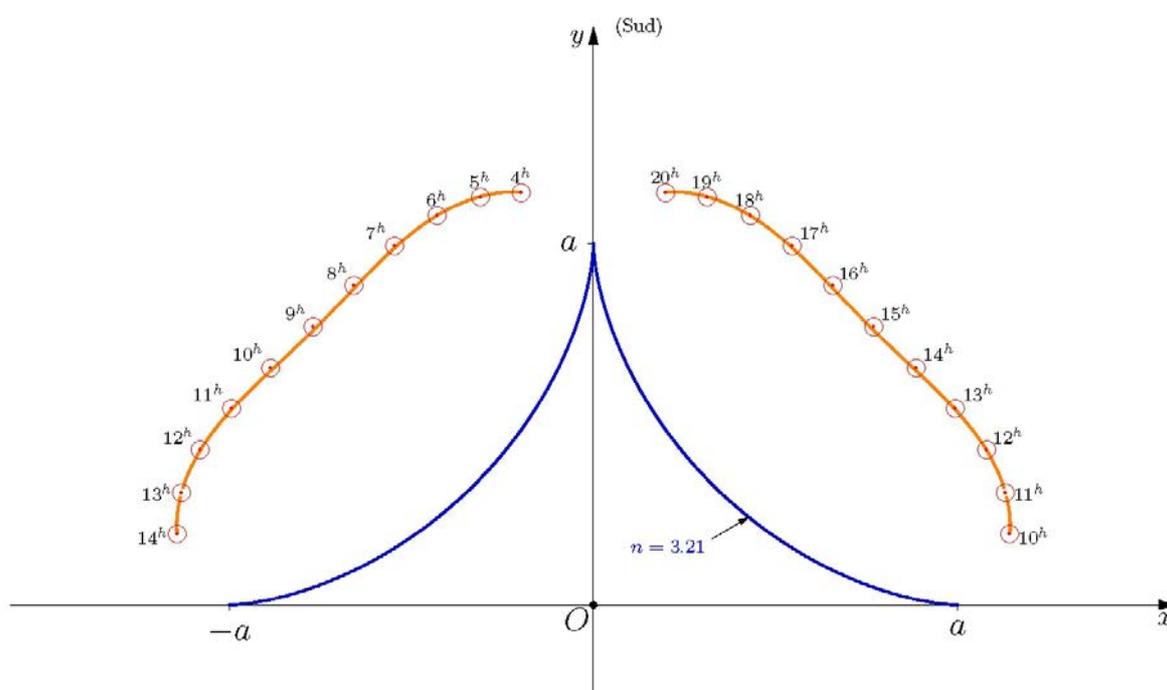


Figure 9 – Aspect final du cadran solaire équatorial à réflexion dont le miroir épouse le profil d'une courbe de Lamé d'exposant $n = 3,21$. Le déplacement des points de rebroussement horaires est quasi rectiligne sur une bonne partie de son fonctionnement.





Méridienne de l'Observatoire de Paris

Pascal Descamps (IMCCE, Observatoire de Paris)

Entre le 4 juin 2011 et le 2 janvier 2012, il a été procédé à une vérification de la ligne méridienne de l'Observatoire de Paris. Trente-six mesures de passages méridiens du Soleil ont été réalisées et comparées aux éphémérides de l'IMCCE. Les mesures révèlent les effets tangibles du déversement vers le sud de la façade méridionale portant le gnomon. La hauteur indiquée par la ligne méridienne est maintenant en erreur de plusieurs minutes de degré là où elle n'était que de 10" dans la première moitié du XVIII^e siècle. Des écarts dans le temps de passage au méridien sont relevés : ils sont variables selon la position de l'image le long de la ligne. Celle-ci apparaît particulièrement déformée, vraisemblablement du fait du déversement. Une lentille-objectif fait office de gnomon. Elle est l'énigme de la ligne méridienne car on ignore ses caractéristiques optiques ainsi que les conditions et la date de son installation. Sa longueur focale a été déterminée.

La ligne méridienne de l'Observatoire de Paris a été construite par Jacques Cassini (Cassini II) entre 1729 et 1732 pour tenter de mesurer la variation de l'obliquité de l'écliptique¹. Sa précision dans la détermination de la hauteur méridienne du Soleil était alors de 10" tout le long de la ligne. Cet instrument astronomique – dénommé *héliomètre* par Cassini II lui-même – a servi jusqu'en 1755. Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, l'Observatoire menaçait ruine du fait du lent déversement vers le sud de sa façade méridionale. Des travaux de restauration importants furent effectués juste avant la Révolution. Une vérification complète de la ligne telle que le temps nous l'a transmise a été menée en 2011 et 2012.

Détermination de la longueur moyenne d'une règle de laiton

Dans un premier temps, nous avons cherché à vérifier la longueur moyenne des 32 règles de laiton constituant la ligne méridienne de l'Observatoire de Paris. Nous avons procédé à un nouveau relevé des positions marquées sur la ligne graduée à l'aide d'un télémètre laser LEICA Disto D2. Le but était de déterminer très précisément la valeur de l'unité de graduation de la règle des tangentes zénithales. Il ressort de ces mesures l'existence d'une brusque discontinuité dans les mesures survenant après la graduation 700 (figure 1). Une inspection à haute résolution de cette zone de la ligne montre l'existence d'un intervalle à la jointure des deux règles se trouvant à cette position. Il est légitime de penser que lors du

¹ Pascal Descamps. La ligne méridienne de l'Observatoire de Paris : une analyse des registres des observations de Cassini II de 1730 à 1755, *Revue d'histoire des sciences* (2014), 67, 35-70.

déversement vers le sud de la façade méridionale², des tensions internes accumulées dans le sol, soumis à un fort étirement, ont dues se relâcher brusquement à cet endroit, emportant avec elles une partie de la ligne vers le sud. En ajustant cet intervalle à une valeur de 2 mm, on retrouve une parfaite linéarité dans l'ensemble des mesures de distance tracées en fonction des valeurs de la ligne graduée. La pente de cette droite donne immédiatement l'échelle en millimètres de l'unité de graduation : $9,9399 \pm 0.00026$ mm. La longueur d'une règle, couvrant cent unités de graduation, équivaut alors à $993,99 \pm 0.026$ mm.



Fig.1 : Intervalle creusé à la jointure entre deux règles de laiton au niveau de la graduation 700 (égale à 1000 fois la tangente de l'angle zénithal) de la ligne méridienne.

Par ailleurs, nous savons déjà que Jacques Cassini, involontairement, en prenant pour longueur de règle la dixième partie de la hauteur du gnomon où son père l'avait initialement placé, conservait ainsi dans le marbre autant d'exemplaires du pendule à secondes de Picard qu'il y avait de règles. Nous pouvons donc en déduire que la longueur du pendule de Picard était de $993,99 \pm 0.026$ mm, ou encore de $440,59 \pm 0,01$ lignes³, ce qui est très proche des différentes déterminations expérimentales faites au XVII^e et XVIII^e siècle à Paris par Picard (440,5 lignes), Mairan (440,566 lignes), Godin (440,55 lignes) ou Borda en 1792 (440,5593 lignes). Le calcul donne à la latitude de Paris ($g = 9,81$ m/s²) une valeur théorique de 993,96 mm.

En septembre 1984, la longueur moyenne de chacune des règles avait été remesurée à

² Le déversement vers le sud de la façade méridionale est constaté pour la première fois le 7 août 1778 par Cassini IV (Jean-Dominique Cassini) : « j'ay tendu un fil de soie verte avec un plomb du centre du trou de la plaque du gnomon, pour reconnaître si le centre répondait toujours au point de zéro. [...] nous avons trouvé que le fil à plomb [...] s'écartait vers le sud de $3 \frac{3}{4}$ lignes. »

³ 1 ligne = 2,256 mm = 1/144 pieds du Roi.

993,74 mm à l'aide d'un ruban gradué⁴, tout en notant la présence de *nombreux intervalles* entre les règles pour une longueur totale de 16 mm. Suite aux nouveaux relevés que nous avons effectués, il apparaît maintenant que ce nombre d'intervalles a été fortement surestimé, et donc leur longueur totale. Ce qui peut être perçu comme un intervalle à la jointure entre deux règles est, dans la plupart des cas – sauf à la position 700 de l'unique intervalle de la ligne –, un simple enfoncement de l'extrémité de l'une des règles, ce qui explique également la sous-évaluation de la longueur moyenne d'une règle.

Mesure du passage du Soleil à la ligne méridienne

Afin de vérifier les indications données par la ligne méridienne lors du passage du Soleil au méridien, nous avons réalisé une série de mesures de l'instant de passage du centre de l'image sur la ligne ainsi que de la valeur de sa hauteur telle qu'elle est donnée par la ligne graduée. Pour cela, un dispositif expérimental simple a été mis en place ; il se compose d'un appareil photo numérique (APN) muni d'un intervallo-mètre permettant de prendre un grand nombre d'images régulièrement espacées par un intervalle de deux secondes. Avant chaque mesure, l'APN est mis à l'heure avec une précision de 0,1 seconde ; la datation des images est exprimée en UTC (temps universel coordonné). Le passage de l'image du Soleil est observé environ durant dix minutes de part et d'autre de la ligne méridienne.

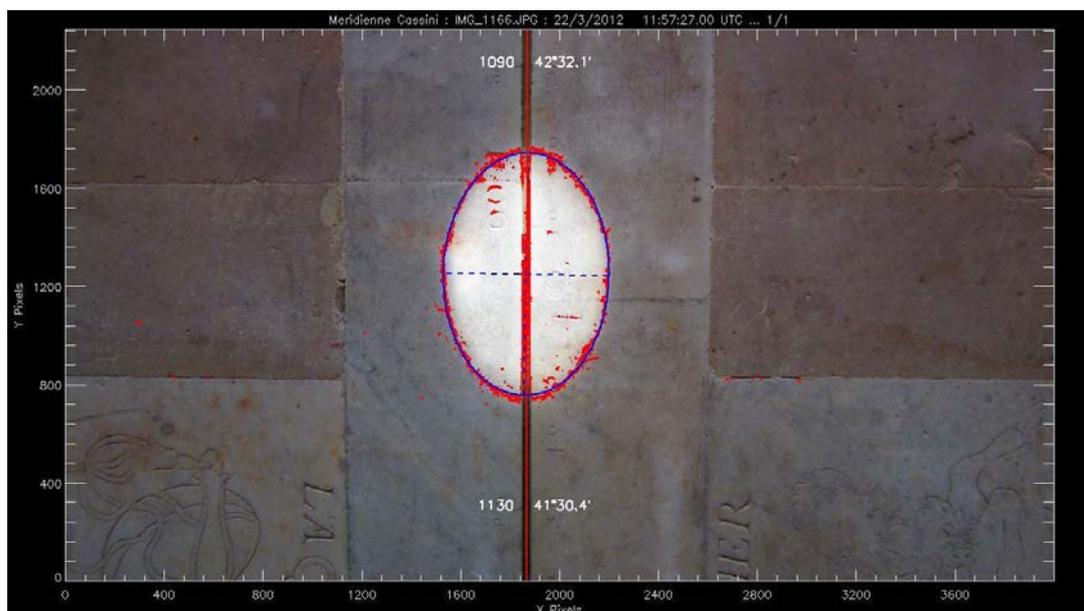


Fig. 2 : Exemple de mesure de l'image solaire sur la ligne méridienne de l'Observatoire de Paris faites le 22 mars 2012 à 11 :57 :27 UTC.

Pour chaque image, il est procédé à l'ajustement d'une ellipse sur le contour lumineux de l'image du Soleil (figure 2). À partir du centre de l'ellipse ainsi ajusté, une correction

⁴- Andrée Gotteland et Georges Camus, *Cadrans Solaires de Paris*, CNRS Editions (1993).

supplémentaire lui est affectée de façon à obtenir la position vraie du centre du Soleil. Par ailleurs, la position de la ligne méridienne est repérée à partir de la première image ; elle servira de position de référence pour l'ensemble des images collectées. L'échelle du champ, en millimètres par pixel, est également déterminée lors de l'examen de la première image.

Une fois que le paquet d'images a été réduit – par la collecte précise à chaque pose de la position (X, Y) du centre de la tache solaire dans le repère de l'image – on procède à la détermination de l'instant de passage du centre sur la ligne et à celle de sa position le long de la ligne par l'ajustement respectif d'une droite de régression et d'une parabole aux mesures de séparation à la ligne (valeurs de X en fonction du temps) et de position sur la ligne (valeur de Y en fonction du temps) (figure 3). La position donnée sur la graduation en tangente de l'angle zénithal permet d'obtenir la hauteur apparente du Soleil, à laquelle il faut ôter l'effet rehausseur de la réfraction atmosphérique qui, bien que faible, atteint un peu plus de 3' au solstice d'hiver et se monte encore à près d'une minute de degré à 45° de hauteur. On obtient ainsi la hauteur vraie du Soleil qui est alors confrontée directement à la valeur donnée par les éphémérides de l'IMCCE.

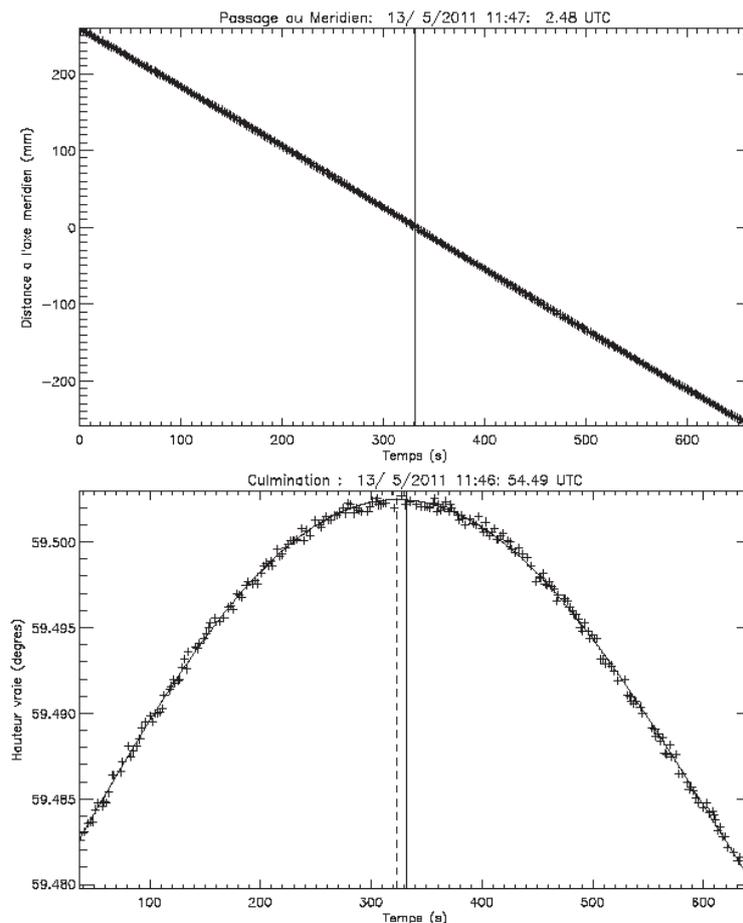


Fig. 3 : Exemple de mesures réalisées lors du passage méridien du 13 mai 2011. La distance du centre de la tâche est mesurée en fonction du temps. On en déduit alors l'instant exact de passage sur la ligne ainsi que la valeur de la hauteur vraie du Soleil.

L'ellipse solaire est également ajustée au moment du passage méridien (figure 4). L'image du Soleil est assimilée à une ellipse ce qui n'est pas vrai rigoureusement parlant car les bords supérieurs et inférieurs sont affectés d'une réfraction différente. Cette approximation est cependant tout-à-fait acceptable en regard du niveau de précision des mesures effectuées. Pour chaque image, une ellipse est ajustée automatiquement au contour de l'image. Le centre de l'ellipse d'ajustement équivaut au centre du disque solaire. Des distorsions du champ existent sur les bords de l'image pour lesquels la perpendicularité n'est pas respectée. Cependant, ces distorsions ne jouent aucun rôle dans la détermination de l'instant de passage au méridien. Une correction de rotation des images est effectuée au préalable à chaque traitement. Il s'agit de la parfaite verticalité de la ligne méridienne devant apparaître parfaitement parallèle aux bords de l'image.

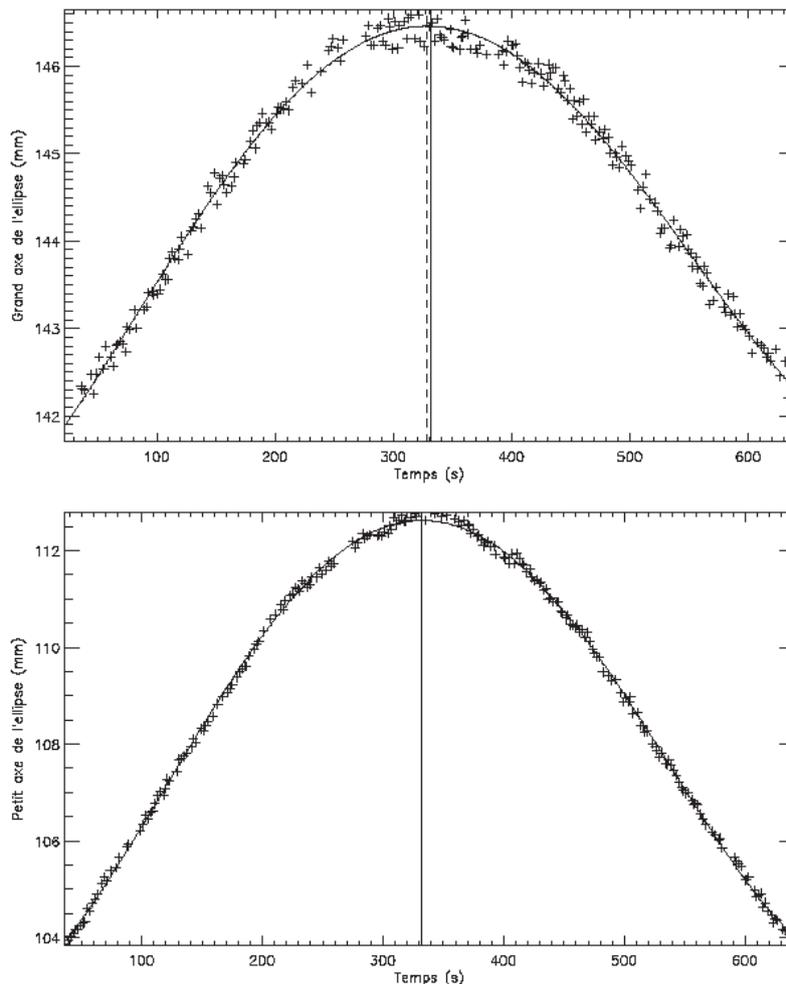


Fig. 4 : Mesure de l'ellipse solaire lors du passage en vue de la détermination du grand axe et du petit axe à l'instant du passage.

Détermination de l'azimut de la ligne

Les mesures de temps de passage montrent un retard systématique par rapport au passage du Soleil sur le méridien vrai (figure 5); ce retard va en s'amplifiant avec la position sur la ligne. En d'autres termes, plus la distance au pied du gnomon est grande, plus le retard est important. Ainsi, près du solstice d'été il est de l'ordre de la seconde pour atteindre environ sept secondes à l'autre extrémité, vers le solstice d'hiver. La valeur moyenne des écarts sur les temps de passage prise sur la totalité de la ligne est cependant de 2.4 ± 2.1 s.

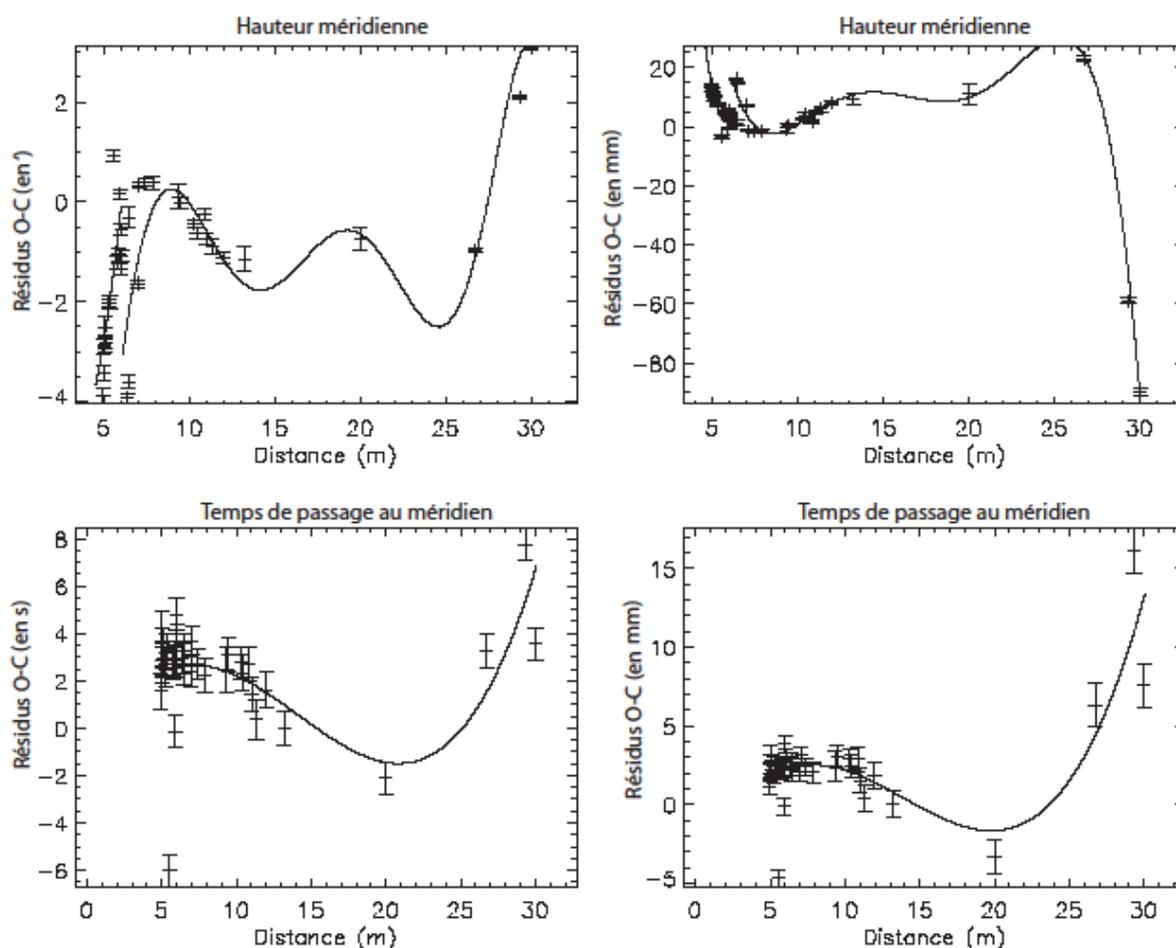


Fig. 5 : Résidus sur les temps passages (en secondes) sur la ligne méridienne ainsi que sur la hauteur méridienne (en minutes de degré). Ces écarts montrent la non-linéarité de la ligne vraisemblablement consécutive au lent déversement vers le sud de la façade méridionale

Cet effet résulte d'une déclinaison vers l'est de la ligne méridienne. Cet azimut de la ligne peut être estimé au moyen d'une régression linéaire appliquée aux retards observés en fonction de la position sur la ligne. On obtient ainsi une déviation angulaire de $1'10'' \pm 10''$, ce qui correspond à un écart en bout de ligne avec la vraie direction du méridien d'environ 14 mm. Une telle précision, très supérieure à celle exhibée par les méridiennes de Danti ou de

Gassendi, provient de la méthode utilisée, dite des *hauteurs égales* due à Picard, bien loin de la boussole magnétique et purement astronomique. Cette méthode a fait son apparition bien après que la ligne de San Petronio fut tracée à Bologne Par Jean-Dominique Cassini (Cassini I) en 1655 bien que celle-ci le fut avec le plus grand soin également car son azimut n'est que de 1'37". La nouvelle méthode a été mise en application par Jacques Cassini successivement au solstice d'hiver de 1729 puis au solstice d'été de 1730 où, durant plusieurs jours consécutifs, des observations du Soleil ont été faites de part et d'autre du méridien à des hauteurs identiques ; la position milieu donne immédiatement un point de la ligne méridienne. L'alignement de la suite de points ainsi obtenue détermine alors la direction du méridien. Une vérification supplémentaire sera encore effectuée en se servant du poteau de Montmartre placé par Picard et ayant servi à la mesure de la Terre. Le poteau de Picard sera d'ailleurs remplacé en 1736 par Jacques Cassini par une mire en pierre⁵.

L'azimut de la ligne méridienne de l'Observatoire, de l'ordre de la minute de degré, est cependant typique des méridiennes construites dans la première partie du XVIII^e siècle. On fera beaucoup mieux par la suite. Ainsi, celle de Santa Maria degli Angeli, tracée à Rome en 1703, a un azimut de 4'30" alors qu'il est en revanche de -27" pour celle, datant de 1761, du Duomo de Florence. Citons encore la ligne méridienne du Duomo de Milan, érigée en 1786, qui a un azimut de seulement 7", soit un gain en précision d'un facteur dix en un peu plus d'un demi-siècle.

Quant aux résidus sur les hauteurs mesurées à la ligne méridienne (figure 5), ils sont de l'ordre de la minute de degré, ce qui correspond à des décalages sur la ligne de près d'un centimètre. Cela se ressent tout particulièrement pour les mesures prises au voisinage du solstice d'été (distance au pied du gnomon inférieure à 7 m). Ceci est la manifestation évidente du déversement de la façade mais aussi d'une position plus élevée du gnomon actuel (mesurée à $9,949 \pm 0,006$ m) que la position qu'il avait au XVIII^e siècle (9,9377 m).

Recherches sur le gnomon de l'Observatoire

Le gnomon actuel n'est plus celui de l'époque. La plaque de cuivre ayant porté le trou du gnomon a disparu. Elle a été remplacée par un verre objectif de 85 mm de diamètre utile (figure 6).

⁵ La mire existe toujours mais est inaccessible au public car se trouvant au sein d'une propriété privée derrière le *Moulin de la Galette*.

La lentille-objectif est montée dans un barillet dont l'inclinaison par rapport à la verticale est ajustable. En 2012, la position du barillet de la lentille présentait un angle de 23° de sorte que l'axe optique pointait de façon quasi exacte vers le point de la ligne méridienne marquant le solstice d'été, pour lequel, à Paris, la hauteur du Soleil est $64,6^\circ$ (figure 7). La hauteur du centre de l'objectif a été mesurée à une valeur de $9,949 \pm 0,006\text{m}$ ce qui donne une distance de 11,02 m entre la lentille et le lieu du solstice d'été sur la ligne.

Fig. 6 : Lentille-objectif du gnomon ►



Les observations de l'image du Soleil ont montré qu'au voisinage du solstice d'été cette image était fortement défocalisée. En revanche, l'image solaire observée le 5 mai 2011 montrait des contours particulièrement nets. À cette date, la distance du sol à la lentille est de 11,8 m. Le 16 septembre 2012, nous avons recherché le lieu exact de la focalisation à l'aide d'un écran blanc recueillant le pinceau solaire. Celle-ci a été trouvée à une hauteur au-dessus du sol de 1,40 m comme indiquée sur la figure 7. L'exactitude de ces mesures est de l'ordre d'une dizaine de centimètres. Signalons que lorsqu'on observe loin de l'axe optique, le lieu focal est un cercle (courbure de champ) appelé *surface de Petzval* dont le rayon pour une lentille simple est donné par la formule :

$$R_p = nf$$

Où n est l'indice de réfraction supposé égal à 1,5, et f la longueur focale de la lentille. Afin de satisfaire aux deux observations de 2011 et 2012, nous en avons déduit une valeur de la focale de $11,3 \pm 0,1\text{m}$, ce qui confère un rayon de Petzval de l'ordre de 17 m. Avec ces paramètres, cela place la position du foyer le long de l'axe optique à près d'un mètre sous le sol avec une zone de focalisation au sol comprise entre le 28 avril et le 7 mai (et donc aussi entre le 7 et le 15 août).

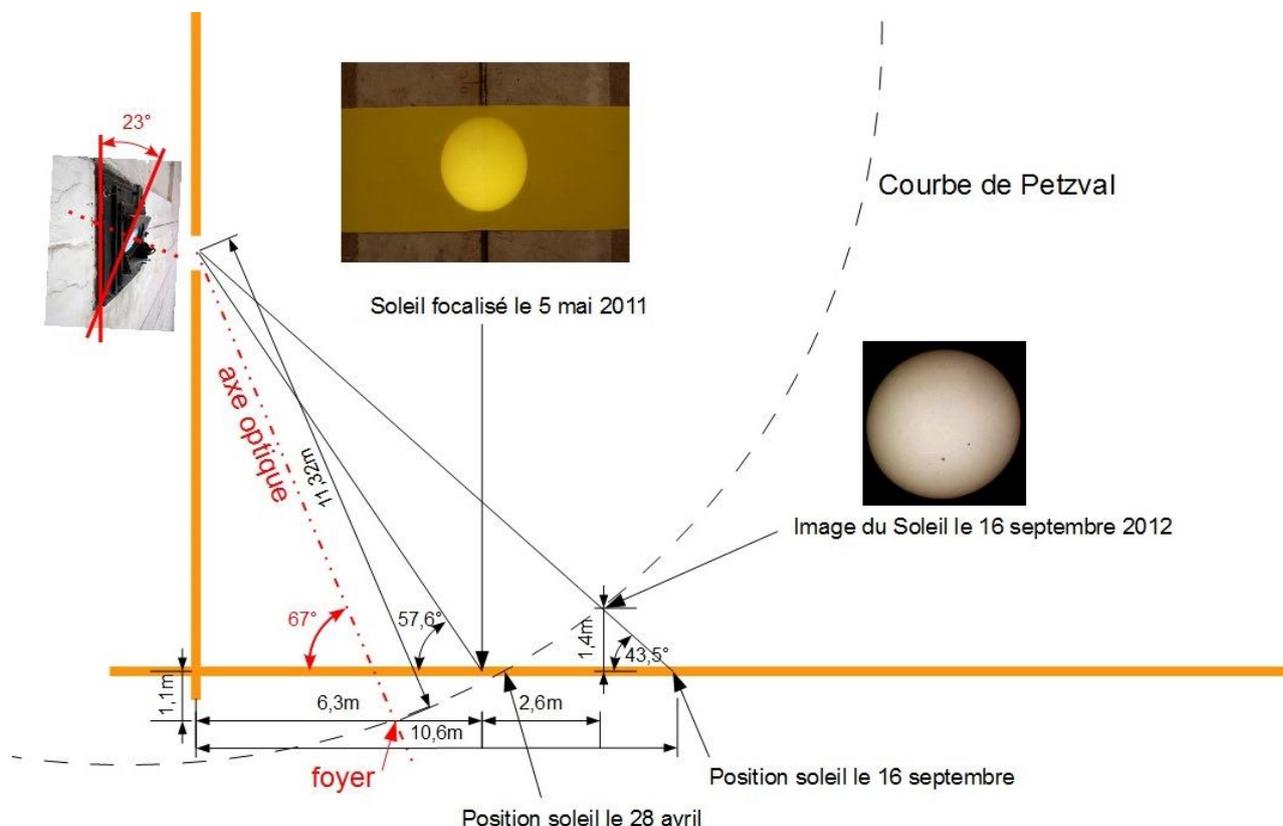


Fig. 7 : Coupe méridienne

Cette valeur de la longueur focale est à rapprocher de celle mentionnée par Jean-Dominique Cassini dans l'observation du solstice d'été⁶ de 1681, soit 34 pieds ou 11,04 m. Il se peut donc qu'il s'agisse de la même lentille et que sa longueur focale serait plutôt plus proche de 35 pieds (11,37 m) que de 34 pieds. La maîtrise parfaite de la focale des objectifs était chose peu aisée à l'époque et une incertitude de quelques pieds affectait les objectifs du XVII^e siècle. Cassini avait d'ailleurs imaginé tout un jeu de lentilles pour permettre l'observation de la tâche à toute époque de l'année⁷. Cette technique a été appliquée au

⁶ Il s'agissait d'observations réalisées le 4 juillet 1681 en vue de « déterminer le solstice d'été par la méthode de Roemer, qui consiste à observer le lieu de l'image du Soleil transmise par un grand verre objectif sur la ligne méridienne. Le verre qui a été employé pour cet effet avait 34 pieds de foyer ; et l'on a trouvé à midi au gnomon que l'image était revenue précisément au même lieu où elle avait été observée le 7 juin » ; elles furent exécutées par J.D. Cassini et Roemer à la ligne méridienne provisoirement tracée. In *Histoire céleste* de Le Monnier (1741).

⁷ Cassini indique en janvier 1682 à l'Académie qu'« à costé du gnomon, on ajustera des verres objectifs de diverses longueurs pour servir à diverses saisons de l'année. On essaiera une manière que M. Roemer avait proposée pour recevoir avec plus de précision l'image du Soleil. » (Procès verbaux de l'Académie des sciences). Charles Wolf, 85-91.

gnomon de la ligne méridienne de l'église Saint-Sulpice par l'astronome Lemonnier en 1743. Bien plus tard, dans un mémoire de 1791, Le Monnier en viendra d'ailleurs à souhaiter la reprise des observations solsticiales sur la grande ligne méridienne de l'Observatoire en encourageant l'utilisation d'une lentille-objectif : « il n'y manque que d'y fixer pour le solstice d'été un verre objectif de 30 (9,7 cm) à 40 pieds (12,99 cm) de foyer : celui-ci aurait l'avantage d'être vérifié à l'aide du fil aplomb, puisqu'on peut clore exactement la grande salle, et y pratiquer aussi longtemps qu'il est nécessaire et à loisir, toutes espèces de vérifications, principalement sur les divisions solsticiales... » Cette suggestion de Le Monnier nous apprend donc qu'à cette époque, bien après les travaux de restauration de l'Observatoire de 1783, le gnomon n'était toujours pas doté d'un objectif à long foyer. En 1814, Delambre parle encore du trou de la plaque horizontale de la méridienne de l'observatoire alors qu'il mentionne la lentille à long foyer de l'église de Saint-Sulpice comme une innovation majeure apportée au gnomon afin de « former une image mieux terminée ». Les archives de l'Observatoire sont totalement muettes sur cette lentille-objectif. Nous ne savons donc rien de la date de son apposition ni de celui qui l'a décidé.

En définitive, il est fort probable que la lentille, dont est actuellement garni le gnomon de l'Observatoire de Paris, soit celle utilisée par Cassini et Roemer en 1681, lors de la détermination du solstice d'été à la ligne méridienne. Elle pourrait provenir du lot de lentilles taillées et envoyées en 1672 à l'observatoire royal par l'opticien romain Campani.



A l'heure du...

Ami du jardinier et du bucheron... un rouge-gorge photographié et transformé en indicateur d'heure par Laurent Souchu





Cadran du Père Ménéstrier

Paul Gagnaire

Recherche sur les cadrans lyonnais antérieurs à 1770 et redécouverte des cadrans du Père Ménéstrier au Collège de la Trinité.

C'est sur les lignes du Temps,
et non sur celles de sa main,
que le Sage doit établir sa Fortune.

C.-F. Ménéstrier

Pour la gnomonique lyonnaise, l'année 1770 marque le franchissement d'un seuil. De nos jours, on ne trouve aucun cadran subsistant, antérieur à cette date¹ et il ne semble pas qu'avant elle, les autorités municipales aient eu le souci de faire créer des cadrans propres à fournir une sorte d'heure de la ville aux Lyonnais et aux gens de passage. Si, comme il est probable, des cadrans, visibles depuis la voie publique, pouvaient être consultés par quiconque croisait dans leurs parages, le caractère strictement local de leurs indications leur ôtait toute valeur officielle. Il est vrai, toutefois, que l'envergure de la cité, dans le sens Est-Ouest, ne pouvait guère faire apparaître un écart en temps supérieur à la demi-minute. A l'époque, on n'en demandait pas tant.

En 1764-1765 la Ville de Lyon entreprend la construction de la Colonne du Méridien ou Colonne d'Uranie², qui présentera une méridienne de sept mètres de hauteur, porteuse du huit de temps moyen. Ainsi, le réglage des montres mécaniques deviendrait une routine sûre et facile. La méridienne sera opérationnelle en 1769-1770 et jusqu'en 1858, date de sa destruction, mais ses indications ne seront pas très fiables et feront l'objet d'une sévère polémique.

De la même façon, bien d'autres œuvres gnomoniques ont dû disparaître, victimes du temps, de l'indifférence des hommes, ou d'un urbanisme trop expéditif.

Cependant, le niveau des connaissances gnomoniques des auteurs lyonnais et le caractère spectaculaire de certaines créations, font inévitablement penser aux destructions infligées à la ville après sa reconquête par la Convention en 1793, encore que les outrances haineuses et la phraséologie romantique des sans-culottes l'aient emporté de beaucoup sur la progression du chantier de démolition. Les historiens modernes, plus pondérés que Barère de Vieuzac, donnent à penser que les canonnades du siège, qui a duré deux mois, du 9 août au 9 octobre 1793, et les destructions-représailles ont mis à bas entre cent et cent soixante maisons. Le programme sans-culottide de quarante maisons à détruire, par jour, relevait de l'utopie pure et simple, mais les maisons abattues, le long des quais de Saône et place Bellecour, étaient de celles qui auraient bien pu présenter des façades gnomonisées, des façades de bourgeois contre-révolutionnaires !

Nos archives mentionnent ainsi la présence de cadrans (ou, parfois, plus probablement, de méridiennes) :

¹ Un faible doute peut subsister en faveur du cadran de la Maison de l'Aigle, place Maréchal Lyautey et de celui de la rue des Deux Amants, sur le mur d'enceinte du couvent (démoli) des trappistes de Vaise, quartier déjà, à cette époque, nommé Gorge du Loup.

² Voir article de P. Gagnaire dans Cadran Info n° 32 octobre 2015.

1° place Louis-le-Grand (actuellement Bellecour).

2° place Saint-Jean, devant la cathédrale (pour ajuster son horloge astronomique ?).

3° dans la cour haute de l'Hôtel de Ville (remplacée en 1784-1786, par la méridienne de Jean Villard, toujours en place).

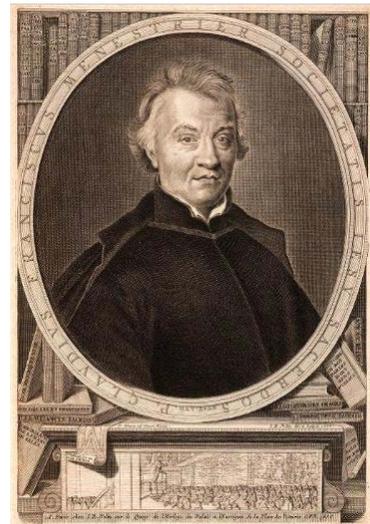
Les cadrans, en nombre inconnu, ainsi localisés, étaient l'œuvre d'Etienne Montagnon (1702-1762), architecte ordinaire et metteur en scène des cérémonies des chanoines-comtes de Lyon. Ils sont cités par Jean-Baptiste Terrier, auteur de la méridienne de la Colonne d'Uranie (voir bibliographie).

4° la méridienne tracée, en 1761, par le Père Laurent Béraud (1702-1777), s. j. sur le carrelage de l'Observatoire du collège de la Trinité (actuel Lycée Ampère), dont il reste des vestiges de la ligne principale et quelques signes du zodiaque. Le Père Béraud se faisait gloire d'avoir mis dix ans à figoler, corriger, parfaire sa méridienne. C'est le carrelage de la cour en carreaux de Verdun, en 1821, qui lui porta le coup fatal.

5° une méridienne encore plus ancienne, tracée sur le carrelage de la seconde cour du collège, par le Père Jean de Saint-Bonnet (c. 1642-1702), s. j. Elle a totalement disparu.

6° l'ensemble extraordinaire, qui, à lui seul, justifie notre récit, les sept grandes « montres solaires » peintes en 1662, sur trois des façades de la cour basse du collège, (actuelle cour d'honneur). L'image ci-jointe, (Archives municipales de Lyon, cote 17-Fi-126, photo de M. Gilles Bernasconi), montre les cinq d'une façade pratiquement occidentale (déclinaison 87°SW). Les deux autres façades gnomonisées déclinent respectivement de -90°E et de -1° SE. D'autres images des cadrans que portent les façades occidentale et méridionale sont visibles dans l'Album en annexe, ainsi que certaines de la façade orientale. Toutes proviennent de l'album de dessins de Pierre-Paul Sévin, conservé à l'Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts de Paris, seule source iconographique de cet ensemble gnomonique. Les études de J.-M. Marquis (1970) et de Damien Chantrenne (2009), citées en bibliographie ne font que reprendre ces images et, à notre tour, nous ne pouvons pas faire mieux. Leur « flou artistique » nuit beaucoup à la précision des tracés gnomoniques qu'elles présentent, surtout sur le cadran méridional dont nous parlons immédiatement.

Le plus célèbre de ces cadrans est la fameuse « montre » méridionale, de forme ovale, construite sur le nom de Jésus, au-dessus du portail donnant accès à la galerie. Toute cette zone de la façade méridionale couvre un espace de trente pieds en largeur (10 mètres) par quarante en hauteur (13 mètres), soit près de cent-trente mètres carrés. Le cadran seul nous paraît occuper une hauteur proche des trois quarts de celle de la galerie qu'il surmonte, soit quelque trois mètres par deux et demi en largeur, donc sept mètres carrés. Souvent, les chroniqueurs s'extasient devant ce cadran qui procure l'heure simultanément, dans les trente-sept principaux collèges des jésuites, à travers le vaste monde. Ils ont raison, mais les autres montres sont tout autant admirables, avec des tracés, souvent, bien plus complexes. Ces cadrans ont été conçus par le Père Ménéstrier (voir infra) et peints par Pierre-Paul Sévin, ou sous sa direction, entre juin et décembre 1662. A peine deux si plus tard, en 1860, toute la façade, bien dégradée, était ravalée et les montres détruites. Déjà, André Clapasson, en 1741, dans sa « Description de la Ville de Lyon ... », page 85, ne consacra

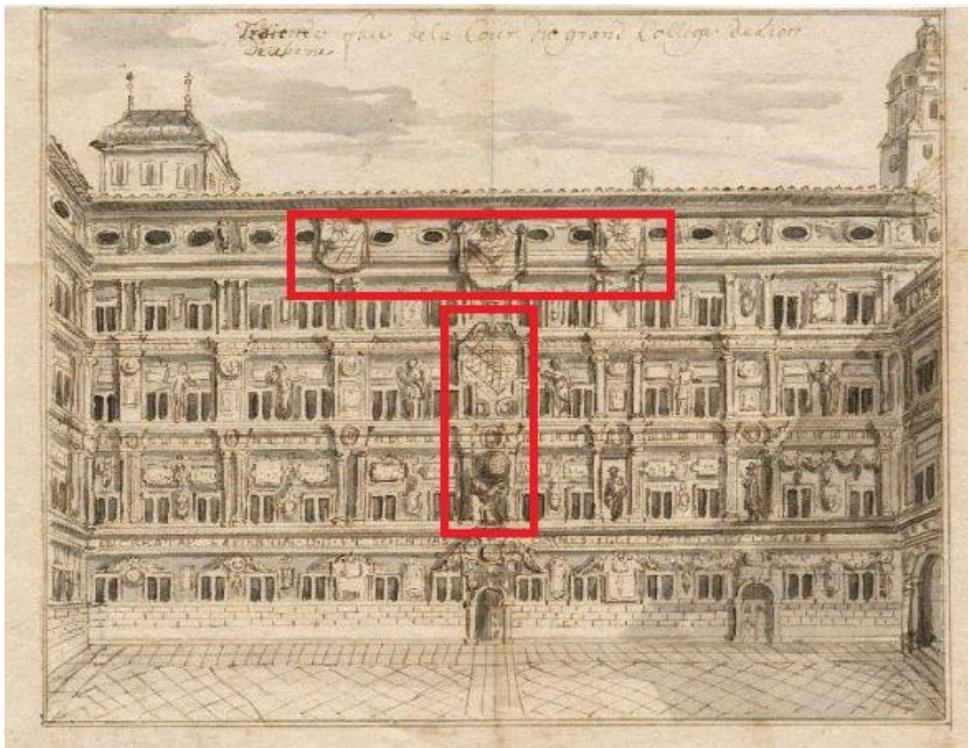


Le Père Ménéstrier (1631 – 1705) Portrait gravé par J.-B. Nollin, 1689

crait que deux lignes aux montres et, simplement, pour dire qu'elles étaient à demi effacées, sauf l'orientale qui résistait un peu mieux.

Hélas, à la différence de la Colonne d'Uranie, abattue en 1858, mais, auparavant, photographiée abondamment par Froissard, ces extraordinaires cadrans disparurent en silence et, semble-t-il, sans trace. « Decenter mori », aurait dit leur savant créateur, et plus personne ne parla des montres du père Ménéstrier jusqu'en 1970. (Mémoire de DES ès-lettres de J.-M. Marquis. Cf. Bibliographie).

Rappelons, au passage, que le Père Ménéstrier est le concepteur du fameux jeton des notaires royaux où un cadran solaire est entouré de la devise : « LEX EST QUODCUMQUE NOTAMUS ». On admire souvent et à juste titre, les cadrans du Lycée Louis le Grand ou de l'Hôtel des Ambassadeurs de Hollande, à Paris. Ceux du collège de la Trinité, à Lyon, ne leur étaient point inférieurs. Quant au cadran du Père Bonfa s. j. au lycée Stendhal, à Grenoble, il date seulement de l'hiver 1673-1674 et n'a donc pas pu influencer Ménéstrier.



Façade occidentale. Dessin de Pierre-Paul Sévin, aux Archives municipales de Lyon.
Reproduction autorisée par les Archives. Référence : 17 Fi 126 (Photo : Gilles Bernasconi)

Cet illustre jésuite lyonnais, le Père Claude-François Ménéstrier, célèbre héraldiste, a consacré à ces façades un petit opuscule, intitulé « Le Temple de la Sagesse ouvert à tous les peuples », chez A. Molin ; Lyon 1663. Le livret compte cent soixante pages et les soixante dernières décrivent, commentent, expliquent les sept montres, en seulement cinq paragraphes, ainsi le deuxième traite, à lui seul, de trois montres. En plus des analyses strictement gnomoniques, le Père replace les décors et leurs symbolismes, dans une vaste fresque mythologico-historico-politique dont l'immense érudition n'étonnera que les lecteurs qui ne connaissent pas les traités d'héraldique de l'auteur. Cette construction du livre du Père Ménéstrier ne nous semble pas toujours très claire et demandera au lecteur de l'attention et de l'esprit critique, mais cette fusion intime entre le gnomoniste et l'héraldiste va donner une

œuvre prodigieuse. Nous ne sommes pas sûr d'avoir tout bien compris, mais assez sûr de n'avoir pas tout bien exposé ici. Puisseons-nous, seulement, ne pas avoir ajouté de l'obscur à l'obscur !

Voici comment on peut entrer dans la lecture de ce « Temple de la Sagesse ... » dont le texte complet figure parmi les annexes sur DVD de ce numéro de Cadran-Info. Nous marquons simplement quelques étapes de ce parcours, en résumant fortement. Pour la clarté de notre exposé nous numérotions ainsi les six cadrans des façades Ouest et Sud :

N° 1 : cadran méridional, ovale, sur le nom de Jésus, avec l'heure dans les 37 collèges jésuites.

N° 2, 3, 4 : les trois cadrans alignés horizontalement sur l'étage supérieur de la façade occidentale.

N° 5 : le cadran intermédiaire de la même façade

N° 6 : le cadran inférieur de cette même façade

Pour l'instant, nous ne numérotions pas la façade orientale, dont il n'existe pas d'image, mais nous y reviendrons.

Nous remarquons immédiatement que le dessein de Ménestrier était de rendre hommage à cinq dédicataires, divins ou humains, en composant ses sept montres, ce qui entraîne parfois une certaine confusion quant à la mise en correspondance des montres et des dédicataires. Le Père explique, pages 101 à 105, que ses montres ont pour fin de célébrer :

1° la Sagesse incréée, image du Christ, dont la Compagnie porte le nom divin.

2° la Trinité, qui a donné son nom au Collège.

3° le roi de France Louis XIV et ses vertus royales.

4° l'illustre Maison de Villeroy, qui a fourni des gouverneurs à Lyon et un archevêque.

5) la ville de Lyon où se réunissent, en une couronne auguste, toutes les lignes déjà tracées.

Les analyses de Ménestrier suivent cette progression en cinq thèmes. En voici de brèves explications.

1) Premier paragraphe, pages 105 à 114.

Parfaite correspondance entre la montre N°1 et la Sagesse, attribut du Christ.

Un seul cadran solaire, sur la façade méridionale. C'est la plus grande montre, avec près de douze mètres carrés, ovale, construite sur le nom de Jésus, c'est-à-dire le blason de la Compagnie, présentant le trigramme IHS (Iésus Hominum Salvator) avec une croix pattée, piétée sur la traverse du H et les trois clous de la Passion en dessous, le tout dans une couronne à trente-deux rayons alternativement ondés et sagittés³.

Elle est déjà annoncée page 11. Pour Ménestrier c'est la pièce de choix. Il l'appelle « horloge universel de la Compagnie ». Autour de cet emblème central, sont disposés vingt-quatre rayons d'or marquant les heures de temps vrai à Lyon. Si l'on se fie aux dessins de Pierre-Paul Sévin, cette horloge ne serait pas très rigoureusement tracée ; par exemple, on y décèle deux centres où convergent les lignes horaires et les deux heures horizontales qui devraient être numérotées VI et VI sont numérotées V et VIII. Toujours le « flou artistique ». Evidemment, si les trente-deux rayons du IHS sont bien régulièrement espacés, (un tous les 11°25), il n'est pas possible de leur faire correspondre vingt-quatre lignes horaires non

³ Noter la ressemblance entre cet emblème des jésuites, où alternent les trente-deux rayons ondés et sagittés et celui des minimes où les rayons ne sont qu'au nombre de vingt, avec la même alternance.

équiangulaires. Comment donc Méneſtrier aurait-il pu ſe dégager de l’aporie ? Certainement, Sévin a manqué de rigueur dans ſon deſſin, en ne ſéparant pas nettement les diſſerſes zones qu’il comporte.

Puis, quatre-vingt-seize autres rayons, fractionnant les heures rondes en demi-heures et quarts d’heure. Chaque rayon eſt terminé par une étoile d’or, celles des demi-heures plus groſſes et celles des heures encore plus groſſes. Une autre couronne entoure la première, les trente-sept ſubdiviſions affectées, chacune, à un collège de jéſuites, partout dans le monde. Enfin, vient un encadrement de 360 degrés, fractionné en 24 fois 15 degrés où ſont inſcrits les noms de ceſ villes avec leurs longitudes, comptées depuis les Îles Fortunées (les Canaries, avec le méridien de Hierro). Cordon extérieur pour les minutes, diſcernables ſeulement en raiſon des diſſerſions importantes du cadran. Mode d’emploi. On aura à réfléchir à la méthode, ſimple et pratique, préconisée pour connaître les heures d’autres lieux du monde et, particulièrément, celles des trente-sept collèges. Une approche eſt proposée ici, (image en fin d’article) ou, plutôt, ſoumiſe modèſtément à la critique des lecteurs. Nous avons choiſi la ville de Goa, déjà prise en exemple par Méneſtrier ; nous ne ſommes pas encore capable de liſter les trente-sept provinces et leurs capitales, telles qu’elles exiſtaient en 1662. Cependant ceſte dernière annexe rasſemble quelques indications.

2) Deuxième paragraphe : pages 114 à 118.

Nous en arrivons à la façade occidentale ornée de cinq cadrans. Ici nous eſt expoſée la gnomonique qui rend hommage à la Sainte Trinité. Méneſtrier dit qu’il a ſuſpendu en l’air trois Soleils d’or d’une même grandeur et d’une même élévation. Nous aurons à les identifier ſur la façade. Notons que, ici, le Père traite de trois cadrans dans un ſeul paragraphe.

Ceſ trois cadrans ſont incontestablement occidentaux. Ils fonctionnent parce que les Soleils ſont, chacun, percés d’un petit oculus et procurent les heures qui commencent depuis midi, les heures qui commencent au coucher du Soleil et les heures qui commencent depuis le coucher du crépuscule.

2-1) Le Soleil le plus proche du fond de la cour (qui eſt néceſſairement notre N°2) indique combien d’heures vont encore ſ’écouler juſqu’au coucher du Soleil ; combien d’heures ſe ſont déjà écoulées depuis ſon dernier coucher de la veille ; les durées exactes des jours et des nuits.

2-2) Le ſecond Soleil (qui ſerait celui du milieu, notre N°3) montre combien d’heures vont encore ſ’écouler juſqu’au coucher du crépuscule ; combien d’heures ſe ſont déjà écoulées depuis le dernier coucher du crépuscule de la veille ; la durée du crépuscule du matin et du ſoir pour chaque jour de l’année.

2-3) Le troiſième Soleil (qui eſt néceſſairement notre N°4) montre les heures du jour aſtronomique, de midi à midi, ce qui nous étonne un peu ſur un mur occidental, mais n’eſt pas abſolument impoſſible.

Sur l’image de ceſte façade occidentale nous identifions donc, ſans héſitation, les deux cadrans extrêmes de la rangée du haut (n°s 2 et 4), car les Soleils ſont bien viſibles ſur le deſſin de Sévin. Nous ſommes plus circonſpect pour le cadran équipé du Soleil décrit en deuxième poſition. Il ne concorde pas vraiment avec notre image N°3. Nous y voyons un dextrochèrre et le blason de la France, d’azur à trois lys d’or, ſur un écu en forme de calotte ſphérique.

3) Troisième paragraphe : pages 118-123.

Le dédicataire est le roi de France. Ce passage de Méneſtrier n'est pas très clair. Il ne peut concerner que la façade orientale et décrit une composition où deux images seraient superposées.

Voici ce que dit Méneſtrier de l'image supérieure.

Ses gnomons sont trois fleurs de lys dorées, suspendues à même hauteur, sur une ligne horizontale et percées, chacune, d'un oculus. Les points de lumière qu'elles engendrent, marquent, sous les appellations de « heures françaises », « heures nouvelles lyonnaises », « heures babyloniennes » (qui commencent au lever du Soleil) :

3-1) les heures qui restent à courir jusqu'au coucher du crépuscule.

3-2) les heures déjà écoulées depuis le dernier coucher du crépuscule de la veille.

3-3) la durée du crépuscule du matin et du soir, pour tous les jours de l'année.

Puis il parle de l'image inférieure.

Ce cadran porte le dessin d'un bras armé (un dextrochère héraldique), sortant de la nuée et porteur d'un sceptre fleurdelysé qui fait office de gnomon, en montrant les routes du Soleil et de la Lune sur une sphère céleste. Un Hercule gaulois, identifiable à sa massue, soutient le ciel.

4) Quatrième paragraphe : pages 123-148.

Ce paragraphe est, parfois, assez obscur. Nous résumons.

Cette quatrième gnomonique est dédiée à la famille de Villeroy. Méneſtrier décrit trois nouvelles horloges activées par trois nouveaux Soleils et un bâton de Maréchal en guise de gnomon. Cet ensemble est tracé sur la façade dédiée au mystère de la Trinité, donc occidentale.

4-1) Le plus haut cadran montre les heures nouvelles mesurées depuis le coucher du crépuscule, tout comme les Italiens font à partir du coucher du Soleil. Ses vingt-quatre lignes sont cycloïdes ; elles divisent les parallèles du Soleil en vingt-quatre parties égales, depuis l'almucantarât du coucher du crépuscule situé 18° sous notre horizon. Ces lignes sont numérotées de 1 à 7 et de 15 à 23 ; la première série mesure les heures restantes jusqu'au coucher du crépuscule de ce jour ; la seconde série mesure les heures déjà écoulées depuis le plus récent coucher de la veille. Les marques sont peintes sur un réseau de six bandes alternativement bleues et blanches ; les chiffres valent des heures entières et chaque point qui les suit compte pour un quart d'heure. Méneſtrier appelle ces heures « heures de Villeroy », (Horae novae Villaregiae). Longue explication de la façon de consulter ce cadran.

4-2) Au-dessous de cette horloge de Villeroy, une seconde horloge montre la position du Soleil par celle de la Lune observée et la position de la Lune par celle du Soleil observé ; les lectures se font à la tache de lumière filtrée par le Soleil doré, perforé par un œillette.

Allégorie sur l'heureuse entente entre le maréchal de Villeroy et l'archevêque de Villeroy. Long mode d'emploi décrivant les tracés ; ils comprennent des lignes droites, pour le jour de la Lune, des lignes courbes et composées de points noirs, pour les lignes horaires du Soleil, enfin des lignes courbes et rouges, pour les lignes horaires de la Lune. Hauteurs du Soleil à Lyon. Azimuts. Durée du jour et de la nuit. Heures des levers-couchers sur toute la Terre.

4-3) Tout en bas, un globe terrestre, porté par un Atlas montre, sur son hémisphère qui regarde la terre, les hauteurs du Soleil et sur son hémisphère qui regarde le ciel, ses azimuts, les villes où le Soleil a le même azimut qu'à Lyon et, semble-t-il, les routes orthodromiques qui les relient à Lyon. L'ombre du Soleil est produite par un bâton de maréchal fleurdelysé. Ici encore, très long mode d'emploi, en quatre étapes pour chacun des hémisphères. Au long de ces étapes, longues descriptions des tracés.

5°) Cinquième paragraphe : pages 148-160.

Dédiée à la ville de Lyon.

Au milieu de la façade figure le blason de Lyon, et divers symboles. Trois fleurs de lys d'or sont suspendues en l'air. Elles forment le chef du blason de Lyon et servent aussi de gnomons, car elles sont percées d'un oculus. Les heures utilisées sont les nouvelles heures lyonnaises, de forme cycloïde ; elles débutent à l'almucantar de l'aurore (plus probablement, d'une aube) et sont donc les exactes symétriques des heures de Villeroy. Elles sont adombrées par un style en forme de sceptre royal. On lit aussi le jour et l'heure de la Lune et les Epactes.

Les trois fleurs de lys percées d'un oculus permettent de lire, sur les taches de lumière qu'elles engendrent :

5-1) lys du milieu : nombre d'heures écoulées depuis le lever de l'aurore ; l'heure de ce lever ; l'heure de la fin du crépuscule du soir.

5-2) lys de droite : nombre d'heures écoulées depuis le lever du Soleil ; l'heure de ce lever ; l'heure de son prochain coucher du jour.

5-3) lys de gauche : les heures fractionnées en quarts d'heure et en minutes ; le jour de l'entrée du Soleil dans le Tropique et le jour de son entrée dans l'Equateur. (Sans doute les quatre passages).

5-4) un Hercule gaulois porte sur son dos, une sorte de sphère armillaire où sont repérées les treize dates des plus considérables événements lyonnais, depuis le concile de 1245 jusqu'à 1640. Ce dernier événement, « Basilica urbis fundata », renvoie à la décision de construire l'actuel Hôtel de Ville dont les travaux, un temps différés, débutèrent en 1646.

Pour clore cette analyse, il nous faut attirer l'attention de notre lecteur sur le magnifique présent que Ménestrier a fait à la famille de Villeroy et à la ville de Lyon, en inventant pour elles ces « nouvelles heures de Villeroy » et ces « nouvelles heures lyonnaises ». Il les décompte à partir du crépuscule et à partir de l'aurore, ce qui représente quelque difficulté, en plus de leur caractère novateur. Comme Ménestrier ne définit pas l'aurore, nous admettrons qu'en langage actuel ce serait l'aube, par symétrie avec le crépuscule. On place ainsi, traditionnellement, les frontières entre les trois aubes et les trois crépuscules, sans toujours bien préciser si l'on parle du limbe supérieur, du centre du disque solaire ou du limbe inférieur :

Fin du jour clair : Soleil abaissé jusqu'à l'horizon. Coucher.

Fin du crépuscule civil du soir : Soleil abaissé de 6 degrés sous l'horizon.

Fin du crépuscule nautique du soir : Soleil abaissé de 12 degrés sous l'horizon.

Fin du crépuscule astronomique du soir : Soleil abaissé de 18 degrés sous l'horizon.

Alors commence la nuit noire qui peut ne pas exister à certaines latitudes et à certaines dates.

Puis le Soleil remonte jusqu'à 18 degrés sous l'horizon et on retrouve les mêmes frontières :

Début du crépuscule (ou aube) astronomique du matin : Soleil remonté à 18 degrés sous l'horizon.

Début du crépuscule (ou aube) nautique du matin : Soleil remonté à 12 degrés sous l'horizon.

Début du crépuscule (ou aube) civil du matin : Soleil remonté à 6 degrés sous l'horizon

Ici prend place l'aurore, mais Ménestrier ne la définit pas.

Jour clair : Soleil remonté jusqu'à l'horizon. Lever.

Si l'on décompte les heures depuis le lever du Soleil (heures babyloniennes) ou depuis son coucher (heures italiennes) on forme des réseaux de lignes horaires qui sont des droites, sur un cadran plan, et qui sont espacées régulièrement de 1 heure. La première heure babylonienne commençante, ainsi que la première heure italienne commençante, sont deux droites horizontales, confondues avec l'horizon du cadran, mais Ménestrier compte depuis un crépuscule ou depuis une aube. Or le temps qui sépare le lever d'une de ces aubes du lever du

Soleil, ou le coucher d'un de ces crépuscules du coucher du Soleil, varie tous les jours. C'est pourquoi le Père explique que les lignes de ces nouvelles heures (de Villeroy ou lyonnaises) sont des cycloïdes. Jolie performance en une époque qui ne connaît que les logarithmes pour de tels calculs.

Au terme de cette lecture, nous voudrions bien pouvoir contempler, sereinement, les images des cadrans que nous ont conservées les dessins de Sévin, mais nous butons sur une difficulté majeure. Ménestrier a écrit, page 11, qu'il avait créé sept montres solaires et il en décrit bien davantage. En effet, nous avons trouvé, en explorant les cinq thèmes :

Thème 1 : la Sagesse : un seul cadran ; le méridional ovale sur le nom de Jésus.

Thème 2 : la Trinité : trois cadrans

Thème 3 : le roi de France : trois cadrans

Thème 4 : la famille de Villeroy : deux cadrans

Thème 5 : la ville de Lyon : deux cadrans.

Total : onze cadrans pour sept montres célébrant cinq dédicataires et, pour analyser les cinq paragraphes de Ménestrier il nous a fallu quatorze sous-paragraphes.

Ce décompte impose trois conclusions, difficilement négociables :

1) pour Ménestrier, les mots montre, cadran, horloge ne sont pas univoques ; une montre peut comporter plusieurs cadrans. Celle de la Trinité et celle du roi en comportent trois.

2) si nous éliminons du raisonnement le cadran méridional, il reste dix cadrans dont cinq sont bien localisés sur la façade occidentale. Donc, la façade orientale est l'exacte symétrique de sa vis-à-vis et doit comporter aussi cinq cadrans disposés pareillement.

3) les trois cadrans supérieurs de chaque façade, orientale et occidentale, ne composent qu'une seule « montre ». Alors nous retrouvons bien les sept montres annoncées par Ménestrier :

Une méridionale = 1 cadran : notre N° 1

Trois occidentales = 5 cadrans : nos N° 2, 3, 4, horizontalement, puis 5, 6 verticalement

Trois orientales = 5 cadrans : nos N° 7, 8, 9, horizontalement, puis 10, 11, verticalement.

Il faut maintenant essayer de les localiser sur les façades, en faisant correspondre les images (des Cahiers d'Histoire de l'Art, par exemple), et les paragraphes du Temple de la Sagesse.

Avec prudence, nous arriverions au tableau suivant :

Figures des CHA Chantrenne	Détails	Numéroté.	Localisation	Observations	Temple
P 6. Fig : 2 D P 8. Fig : 3 D	Ovale 24 rayons IHS + clous	Cadran 1	Façade Sud	Certitude	1
P 6. Fig : 1 HG	Soleil-Oculus	Cadran 2	Faç. Ouest	Certitude	21
P 6. Fig : 1 HM	Dextrochère	Cadran 3	Faç. Ouest	Inacceptable	22 ?
P 6. Fig : 1 HD	Soleil-Oculus	Cadran 4	Faç. Ouest	Certitude	23
P 6. Fig : 1 M	Bandes alternées	Cadran 5	Faç. Ouest	Probable	41
P 6. Fig : 1 B P 11. Fig : 7 G	Atlas ; Globe Bâton Maréchal	Cadran 6	Faç. Ouest	Probable	42
P 10. Fig : 5 M	3 fleurs de lys Heures Lyonnaises ab ortu aurorae	Cadran 11	Faç. Est	Probable	43
P 10. Fig : 6 M	Hercule. Globe Sceptre fleurdelysé	Cadran 10	Faç. Est	Probable	5 ...
	Lys HG	Cadran 7	Faç. Est	Certitude	31
	Lys HM	Cadran 8	Faç. Est	Inacceptable	32 ?
	Lys HD	Cadran 9	Faç. Est	Certitude	33

Pourquoi rejetons-nous l'idée que les cadrans 3 et 8 puissent occuper les places centrales des rangées supérieures de chaque façade occidentale et orientale ? Parce que, sur l'image du cadran N°3 de la façade occidentale, on ne voit pas de Soleil, mais un dextrochère et les armes de France, trois lys d'or sur un écu en forme de calotte sphérique. Ce cadran renvoie évidemment au roi de France. Par symétrie obligatoire, le cadran N°8, au milieu de la rangée supérieure de la façade orientale, devra renvoyer à la Trinité. Ainsi, sur la façade occidentale, la Trinité encadre le roi et, sur la façade orientale, le roi encadre la Trinité. Puis, Villeroy et Lyon occupent les deux places, au centre, sous les rangées supérieures, tandis qu'Atlas et Hercule, restent en bas.

Ménéstrier a même eu la délicate courtoisie de faire hommage à la famille de Neufville de Villeroy et à la Ville de Lyon, des deux nouveaux types d'heures de son invention : les heures de Villeroy, comptées depuis le crépuscule ou jusqu'au crépuscule et, d'autre part, les heures nouvelles lyonnaises, comptées depuis le lever de l'aurore.

Le protocole est parfaitement respecté. Mais nous devons admettre que les « montres » de Ménéstrier dédiées à la Trinité et au roi comportent, chacune, trois cadrans répartis sur deux façades. Si notre lecteur veut bien l'accepter, voici la distribution proposée :

Façades	Gauche	Milieu	Droite	Numéros PG
Occidentale	La Trinité (Soleil)	Le roi (dextrochère)	La Trinité (Soleil)	2, 3, 4
		Villeroy (heures V.)		5
		Villeroy (Atlas)		6
Orientale	Le roi	La Trinité	Le roi	7, 8, 9 (☉)
		Lyon (heures L.)		10
		Lyon (Hercule)		11

(☉) Il n'existe pas d'images des cadrans 7, 8, 9.

Bien entendu, lorsque nous rejetons l'idée d'un Soleil sur le cadran N°3, nous ne prétendons pas faire marquer par un cadran occidental des informations qui seraient mieux à leur place sur son vis-à-vis oriental ; nous observons simplement que l'image de Sévin n'est pas en accord avec la description de Ménéstrier.

Au moment de conclure, nous sommes sans illusion. Cette rapide présentation d'un chef d'œuvre gnomonique et de sa minutieuse description faite par son auteur, ne peut que laisser nos lecteurs insatisfaits. Aussi, nous est venue l'idée de leur proposer de s'associer pour essayer de reconstituer ces onze cadrans, d'abord en leur structure gnomonique, puis, pour les plus « artistes », avec leurs superbes décors, leurs maximes et leurs allégories. Le Père Ménéstrier mérite bien cet hommage. Mais, comment ne pas inaugurer son éloge en le citant : « C'est sur les lignes du Temps et non sur celles de sa main, que le Sage doit établir sa Fortune ».

Reconstituer l'allure générale du cadran « horloge universel »

L'image ci-après représente un essai pour reconstituer l'allure générale du cadran « horloge universel » construit sur le nom de Jésus, mais sans les trente-sept collègues de jésuites dont nous ne connaissons pas la liste, en 1662, avec certitude.

Echelle : imprimée sur une feuille A4 notre image mesure, hors tout, 258 mm par 198 mm. Sur le mur du Collège, c'était 3 mètres par 2,5. L'échelle vaut donc, grossièrement, 1 : 12.

Structure de l'image, depuis le centre vers la périphérie :

- 1) Emblème de la Compagnie de Jésus : les lettres IHS (Iésus Hominum Salvator) avec une croix pattée piétée sur la traverse du H. Sous ce trigramme, les trois clous de la Passion. Entouré par 32 rayons alternativement ondés et sagittés

- 2) Cercle rouge où naissent les 24 lignes rouges d'heures rondes, (temps solaire vrai, à Lyon), pointées en bleu (au lieu des étoiles du Père).
- 3) Cercle bleu où naissent les 96 lignes bleues des quarts d'heure. Sur ce cercle les heures rondes qui le franchissent sont encore pointées en bleu.

4) Ellipse rouge, (puisque la montre est ovale), où s'arrêtent les lignes d'heures rondes et de quarts d'heure. Numérotation des heures rondes ; pointage en bleu des demi-heures. Cette ellipse est formée par les 1440 minutes que contiennent les 24 heures du jour. Elles sont, évidemment, indiscernables à l'échelle de l'image.

5) Encadrement rouge qui tangente l'ellipse. Y naissent les rayons violets qui marquent les longitudes, par pas de 15 degrés.

6) Second encadrement rouge. L'espace entre ces deux encadrements est traversé par de courts segments noirs qui mesurent les longitudes par pas de 7.5 degrés. Sur l'encadrement rouge le plus extérieur, points bleus qui marquent les longitudes par pas de 3.75 degrés.

7) Encadrement ultime, bleu. Y aboutissent les lignes violettes des longitudes par pas de 15 degrés. Elles y sont numérotées à partir du méridien-origine de Hierro, dans les Îles Fortunées (Île de Fer, dans les Canaries). Dans ce système, Paris se trouve arbitrairement à 20° de longitude Est (Edit de Louis XIII), Greenwich à 18° Est et Lyon à 23 degrés Est (valeurs arrondies). La numérotation donne le signe (-) aux longitudes Est, puisque Ménestrier dit que Goa est située à -100°. Les valeurs deviennent positives à l'ouest de Hierro et jusqu'à son antiméridien. La ligne de 23°E, pour Lyon est superposée à l'heure de midi et repérée par une étoile bleue.

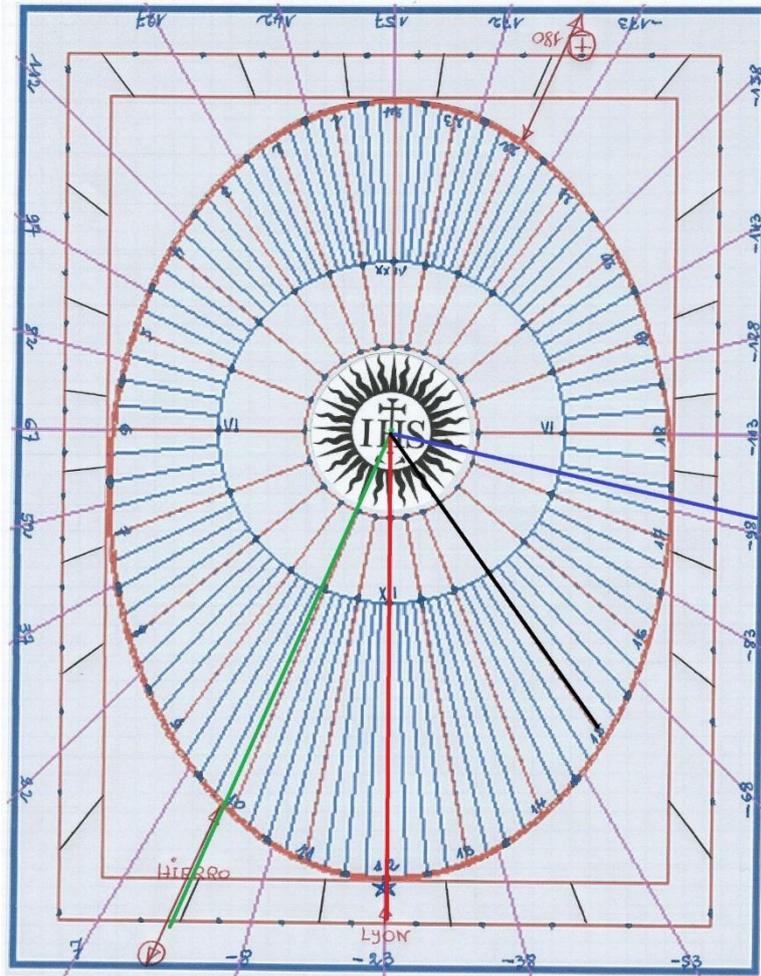
8) Notre interprétation de la méthode de Ménestrier pour connaître l'heure de Goa, longitude -100° E.

Sur l'image nous avons tracé, en surimpression :

Le méridien-origine, en vert

Le méridien -23°E (Lyon), en rouge

L'ombre du style qui marque 15 heures (3 heures après midi) ; noire



Notre reconstitution simplifiée de la montre méridionale, sans les 37 collèges de jésuites. Ceux-ci pourraient se placer dans un encadrement plus extérieur, avec leurs longitudes

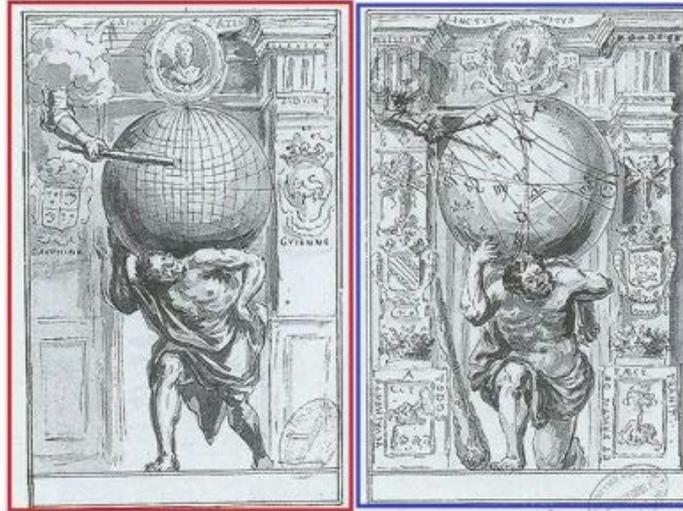
Le méridien -100° E (Goa) ; bleu marine.

Différence des longitudes entre Lyon et Goa : 77° vers l'est = 5 h 08 m

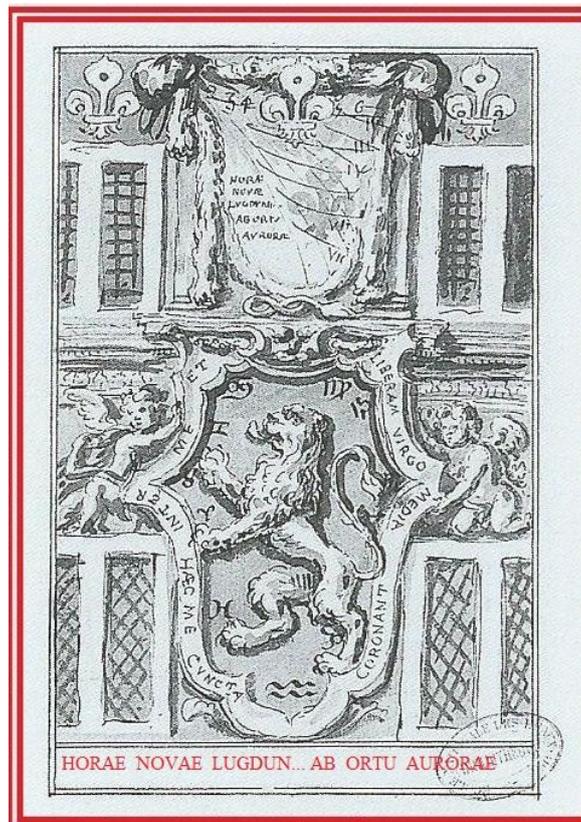
Quand il est 15 heures à Lyon, il est à Goa : 15 h + 5 h 08 m = 20 h 08 m.

Si l'écart avait été vers l'ouest, il se déduisait de l'heure de Lyon.

De nos jours et par rapport au méridien de Greenwich, la longitude de Lyon est de -4°45' E et celle de Goa de -74° E. D'habitude les cartes anciennes contractent les longitudes. Celles du Père Ménestrier, mais sur un seul exemple, les dilatent.



Atlas et Hercule gaulois



Les nouvelles heures lyonnaises ab ortu aurorae

Les trois images de cette page proviennent de l'album de dessins de Pierre-Paul Sévin, conservé à ENSBA.

Photos : Jade Quemper / Cristina Sanchez. Voir aussi « Cahiers de l'Histoire de l'Art N° 7 / 2009.

Bibliographie sommaire

- Jean-Baptiste Terrier : « Réponse du Sieur Terrier, architecte à Lyon, au Mémoire lu à la Séance publique de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de la Ville de Lyon, le 4 Décembre 1770 ... ». Lyon ; Imprimerie d'Aimé de La Roche, 1771
- Pierre Delattre, s. j. « Les Etablissements des Jésuites, en France, depuis quatre siècles ». Ed : Enghien-Watteren (Institut supérieur de Théologie et Imprimerie De Meester frères) ; 1953
- Jean de Saint-Aubin, s. j. « Histoire de Lyon, ancienne et moderne » Ed. 1666 page 345, cité par Delattre, tome II, colonnes 1550 à 1555. Dix lignes p. 346. Voir Annexe documentaire.
- Marion Bertin « Le Collège de la Trinité, histoire d'une bibliothèque et de son cabinet de curiosités ». Université Lyon II. Juin 2014 ; Mémoire de Master (sur internet).
- Damien Chantrenne « La Cour du collège des jésuites à Lyon, des décors au service d'une pédagogie active », in Cahiers d'Histoire de l'Art N°7/2009 ; pp 6-16. Toujours en vente. L'auteur consacre aux montres à peine trente lignes dans la colonne 1 de la page 14, dont seulement dix-sept aux deux façades Est et Ouest. La gnomonique n'a pas été sa préoccupation majeure. Prendre garde au fait que, quand il parle du mur Nord ou du bâtiment Nord, nous devons entendre « façade méridionale ». De même pour les murs Est et Ouest.
- J.-M. Marquis « Le Collège de la Trinité à Lyon. Architecture et décoration ». Mémoire de DES//Université de Lyon II / 1970 pp. 49-64. Consultable à la bibliothèque universitaire Chevreul, à Lyon. L'analyse des cadrans n'occupe qu'une quarantaine de lignes, pages 61 et 62, mais le Mémoire est « ès-lettres ». Même remarque que ci-dessus, pour l'orientation des murs : la façade du mur Est regarde vers l'ouest, etc. L'auteur souhaitait que paraisse bientôt une étude purement gnomonique des cadrans (page 61, note 41). Son texte date de 1970. Vox clamans in deserto. Il aura fallu attendre presque un demi-siècle et nous n'avons pas fait plus qu'effleurer le sujet !

- Patrice Béghain « Une histoire de la peinture à Lyon ». Lyon 2001. Ed. Stéphane Bachès ; pp 81-83
- André Clapasson « Description de la Ville de Lyon ... », Lyon, 1741/ 1761. Ed. Bruyset
- www.patrimoine.rhonealpes.fr .../peintures-monumentales-decor-de-la-cour ...
- www.histoire-education.revues.org/Numero90...
- www.photo.rmn.fr (Beaux-Arts de Paris). Les trois derniers dessins sont reproduits. voir les cotes : 14 – 584256 cadran ovale IHS (37 collèges jésuites)
 - 14 – 584258 cadran ovale IHS (37 collèges jésuites)
 - 14 – 584261 cadran ovale IHS (37 collèges jésuites)
 - 14 – 584263 heures lyonnaises avec 3 fleurs de lys, ab ortu aurorae
 - 14 - 584264 Hercule gaulois (13 dates célèbres à Lyon)
 - 14 – 584265 Atlas (hauteurs du Soleil et routes orthodromiques)

Sources des illustrations

1) in texte

11- Façade occidentale du Collège, attribuée à Pierre-Paul Sévin

[http://patrimoine.rhonealpes.fr/...](http://patrimoine.rhonealpes.fr/)

Ce dessin appartient aux Archives municipales de Lyon. Photo : Gilles Bernasconi.

12- Portrait du Père Ménestrier par J.-B. Nollin

Nombreux sites sur internet (domaine public)

13- Blason de la Compagnie de Jésus

Nombreux sites sur internet (domaine public)

14- Arbre géographique :

Notre exemplaire de «Les Ordres religieux ».

Sous la direction de Gabriel Le Bras.



Tome II : « Les Ordres actifs ». Ed. Flammarion 1980, p. 671, planche 176
Voir les cartouches consacrés aux Provinces des jésuites.

15- Trois dessins de Pierre-Paul Sévin, propriété de l'Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts de Paris qui nous a accordé l'autorisation de les reproduire ici.

2) dans l'album

21- Vues aériennes des façades Sud et Ouest du lycée Ampère actuel
Par Google Earth

22- Blason des minimes

Notre exemplaire de : C-F. Méneestrier « Les recherches du Blason »
Ed. Estienne Michallet ; Paris 1673 ; p. 194

23- Vestiges de la Méridienne du Père Béraud

<http://patrimoine.rhonealpes.fr/...>

24- Arbre géographique des jésuites : numérisation fine par le Service de l'Inventaire général de la Région ARA. (Auvergne-Rhône-Alpes).

3) dans l'annexe documentaire

31- L'Europe avec le méridien-origine à Hierro

Carte de 1759 reproduite dans « El Hierro », chez Wikipédia

32- Les Provinces actuelles de la Compagnie de Jésus (61 capitales)

[www.http://sjweb.info/ressources/...](http://www.sjweb.info/ressources/...)

in Chapitre « The jesuit curia in Rome »

33- Damien Chantrenne « La cour du collège des jésuites de Lyon. Des décors au service d'une pédagogie active ». Cahiers d'Histoire de l'Art. N° 7/2009, pp 6-16.

Remerciements

Nos très sincères remerciements vont aux personnes et aux organismes suivants qui nous ont largement aidé à explorer la documentation de base et, en tant que de besoin, autorisé à en reproduire des images :

Les Services de l'Inventaire général du Patrimoine culturel de la Région Auvergne-Rhône-Alpes, (Madame Catherine Guégan et Monsieur Julien Guillot)

Les Archives départementales de la Ville de Lyon (Monsieur Tristan Vuillet)

L'Ecole Nationale supérieure des Beaux-Arts de Paris (Madame Marguerite Momesso) Les bibliothécaires de l'Université Lyon-2, site Chevreul.

(Mémoire DES de J.-M. Marquis).

Les Cahiers d'Histoire de l'Art (Madame Christiane de Aldecoa), éditeur de l'article de Damien Chantrenne.

Les Archives municipales de la Ville de Lyon ont autorisé la reproduction du dessin de Pierre-Paul Sévin représentant la façade occidentale de la cour du collège. Cote : 17 Fi 126. Photo : Gilles Bernasconi.

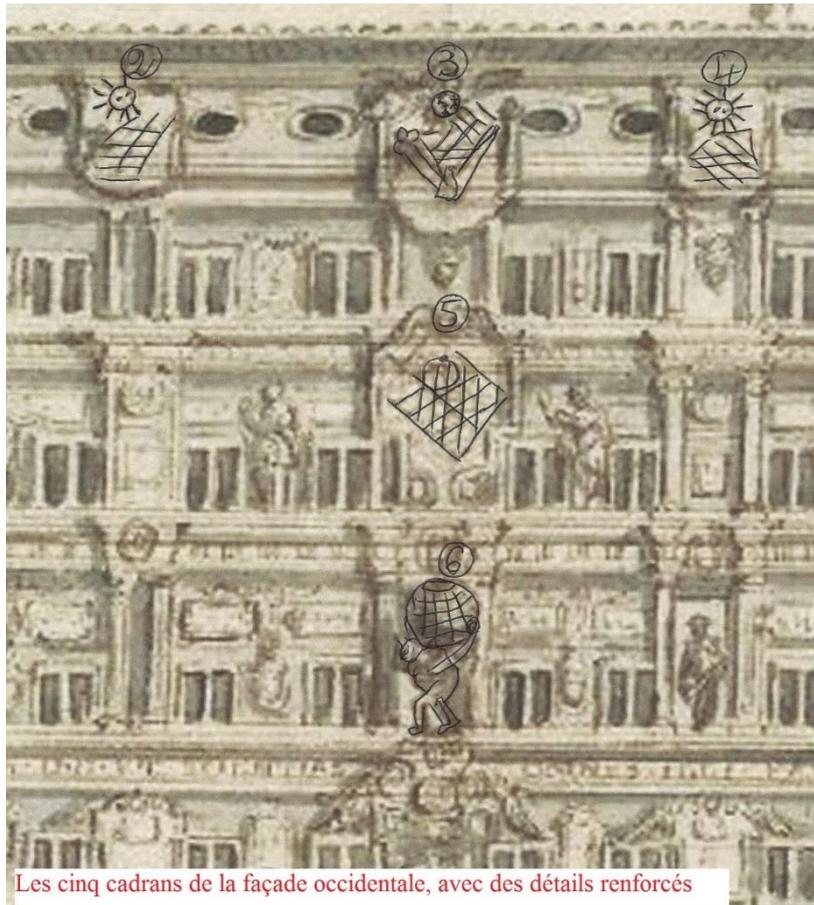
L'Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts de Paris a autorisé la reproduction des trois dessins de Pierre-Paul Sévin représentant l'Atlas, l'Hercule gaulois et les heures lyonnaises ab ortu aurorae, dont les cotes sont respectivement :

14 – 584265 Photos : Jade Quemper / Cristina Sanchez

14 – 584264 Photos : Jade Quemper / Cristina Sanchez

14 – 584263 Photos : Jade Quemper / Cristina Sanchez

Nous nous sommes limité à ces trois images, en raison des tarifs rédhitoires de cette Ecole, mais les 99 dessins de Pierre-Paul Sévin sont visibles sur le site de l'ENSBA indiqué ci-dessus.



Archives municipales de Lyon Référence : 17 Fi 126. Photo : Gilles Bernasconi

ANNEXE : LES 37 PROVINCES DE LA COMPAGNIE DE JESUS EN 1662

Pour ne pas rendre copie blanche et aussi, pour aider nos lecteurs dans cette recherche, nous leur proposons de feuilleter l'ouvrage de référence publié en 1980, chez Flammarion, sous la direction de Gabriel Le Bras, « Les Ordres religieux, la vie, l'art ». Tome 2. « Les Ordres actifs ». Ses pages 530 à 683 sont consacrées aux jésuites. On y trouve, page 671, la figure 176 intitulée « Arbre géographique contenant les établissements des jésuites, pour toute la Terre, et le nombre des sujets qui composent cette société. Tiré d'un catalogue envoyé de Rome, en 1762 ». Les mêmes renseignements se retrouvent chez A. Hamy « Document pour servir à l'histoire des domiciles de la Compagnie de Jésus ». Voir Album.

Il apparaît donc un écart de cent ans avec l'horloge du Père Ménestrier et les Provinces sont passées de 37 à 39, mais il doit rester bien des choses exactes. Voici le décompte, difficilement déchiffrable sur l'image in texte, mais grâce à la bienveillance des services du Patrimoine de la Région Auvergne-Rhône-Alpes, nous pouvons en placer une autre, dans le DVD d'accompagnement, qui supporte 35 coups de zoom :

- 1) Assistance d'Italie : Provinces de Rome, Sicile, Naples, Milan, Venise.
- 2) Assistance de France : Provinces de France, Aquitaine, Lyon, Toulouse, Champagne.
- 3) Assistance d'Allemagne : Provinces de Haute-Allemagne, Autriche, Flandre-Belgique, Pologne, Angleterre, Lithuanie, Gaule-Belgique, Bohême, Haut-Rhin, Bas-Rhin.
- 4) Assistance d'Espagne : Provinces de Tolède, Castille, Aragon, Bétique, Sardaigne, Pérou, Chili, Nouveau royaume de Grenade, Mexique, Philippines, Paraguay, Quito.

5) Assistance de Portugal : Provinces de Portugal, Goa, Malabar, Japon, Chine, Brésil, Maragnon.

Nous trouverions alors, plus ou moins probablement, les villes de :

- 1) Assistance d'Italie : Rome, Palerme (ou Messine), Naples, Milan, Venise.
- 2) Assistance de France : Paris, Bordeaux, Lyon, Toulouse, Reims.
- 3) Assistance d'Allemagne : Ingolstadt, Vienne, Prague, Anvers, Liège, Londres, Riga ...
- 4) Assistance d'Espagne : Tolède, Madrid, Saragosse, Cordoue, Sassari, Lima, Quito, Santiago, Bogota, Mexico, Manille ou Luçon.
- 5) Assistance du Portugal : Lisbonne, Goa, Malabar, Tokyo, Pékin ...

L'ambition de Ménestrier était de composer une horloge universelle ; les villes qui balisent ainsi toute l'étendue des terres lointaines, ont une importance particulière et leur identification serait indispensable.

Un peu par jeu, nous avons composé une variante simplifiée de l'horloge avec les 39 (au lieu de 37) collèges. C'est l'image ci-après. On voit que, contrairement à l'idée selon laquelle ces collèges se répartissent bien sur toute la surface de la Terre, ils se groupent par petits ensembles géographiques. Si l'on divise la Terre en tranches de 15 degrés de longitude, comme explique le Père, on constate que, sur vingt-quatre tranches, seulement douze sont riches d'au moins un collège. Notre localisation des collèges dans les Provinces, selon le tableau qui alimente l'image, même si elle comporte des erreurs (la capitale d'une Province n'est pas forcément le siège d'un prestigieux collège), doit finalement assez peu dériver par rapport à la montre de Ménestrier.

Une approche des 37 (ici 39) collèges jésuites du Père Ménestrier.

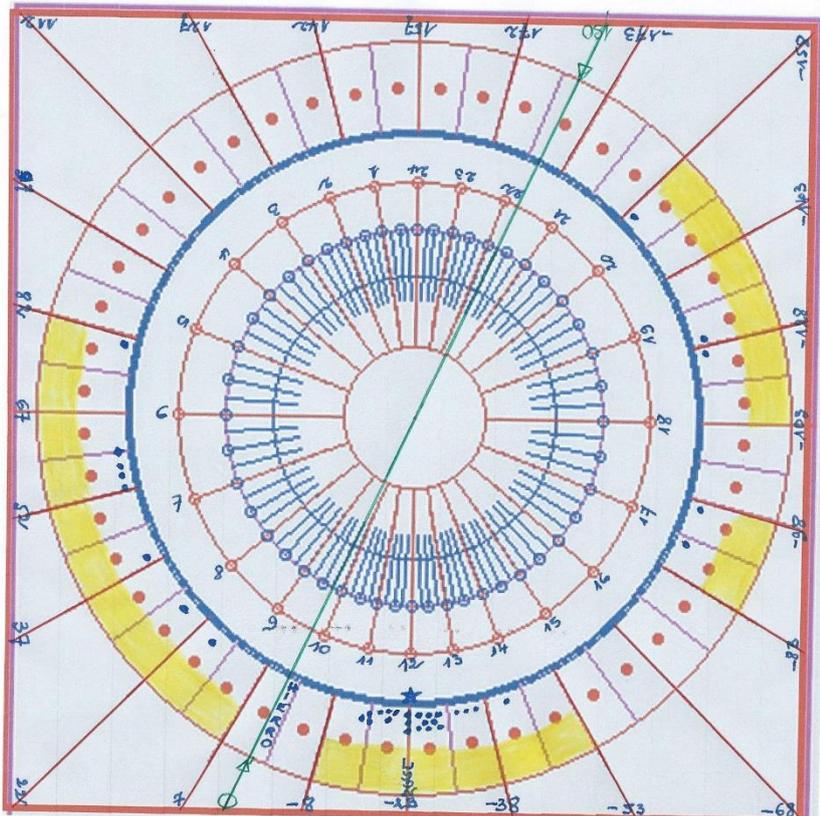
Assistances	Provinces	Collèges	Longitude Greenwich	Longitude Hierro	Dif.Longit. Lyon
Italie	Rome	Rome	-12°30'	-30°10'	A. 7°30'
	Sicile	Messine	-15°53'	-33°13'	A. 10°43'
	Naples	Naples	-14°15'	-31°55'	A. 10°43'
	Milan	Milan	-9°10'	-26°50'	A. 4°20'
	Venise	Venise	-12°20'	-30°00'	A. 7°30'
Portugal	Portugal	Coïmbra	+8°25'	-9°15'	R. 13°15'
	Goa	Goa	-74°00'	-91°40'	A. 69°10'
	Malabar	Pondichéry	-80°00'	-97°40'	A. 75°10'
	Japon	Kyoto	-136°00'	-153°40'	A. 75°10'
	Chine	Pékin	-116°25'	-134°15'	A. 111°45'
	Brésil	Sao Paulo	+46°39'	+29°00'	R. 51°30'
	Maragnon	Cayenne	+52°20'	+34°40'	R. 57°10'
Espagne	Tolède	Tolède	+4°02'	-13°38'	R. 8°524
	Castille	Madrid	+3°43'	-13°57'	R. 8°33'
	Aragon	Saragosse	+0°53'	-16°47'	R. 5°43'
	Bétique (Boétique)	Cordoue	+4°46'	-12°54'	R. 9°36'
	Sardaigne	Sassari	-8°33'	-26°13'	A. 3°43'
	Pérou	Lima	+77°03'	+59°23'	R. 36°53'
	Chili	Santiago	+70°40'	+53°00'	R. 30°30'
	N.R. Grenade	Bogota	+74°00'	+56°20'	R. 33°50'
	Mexique	Mexico	+99°09'	+81°29'	R. 58°59'
	Philippines	Manille	-120°59'	-138°39'	A. 116°09'
France	France	Paris	-2°20'	-20°00'	R.2°30'
	Aquitaine	Bordeaux	+0°30'	-17°10'	R. 5°20'
	Lyon	Lyon	-4°50'	-22°30'	*** 0° ***
	Toulouse	Toulouse	-1°27'	-19°02'	R. 3°28'

	Champagne	Reims	-4°00'	-21°40'	A. 0°50'
Allemagne	Hte-Allemagne	Fulda	-9°41'	-27°21'	A. 4°51'
	Bas-Rhin	Aix-la-Chapelle	-6°04'	-23°44'	A. 1°14'
	Haut-Rhin	Strasbourg	-7°45'	-25°25'	A. 2°55'
	Autriche	Vienne	-16°22'	-34°02'	A. 11°32'
	Bohème	Prague	-14°25'	-32°05'	A. 9°35'
	Flandre-Belgique	Anvers	-4°25'	-22°05'	R. 0°25'
	Gaule-Belgique	Liège	-5°35'	-23°15'	A. 0°45'
	Pologne	Cracovie	-19°57'	-37°37'	A. 15°07'
	Lithuanie	Riga	-24°08'	-41°48'	A. 19°18'
	Angleterre	Londres	+0°10'	-17°30'	R. 5°00'

Greenwich est à -17°40' Est de Hierro. Lyon est à -22°30' Est. Paris à -20° (Louis XIII). Les collèges surlignés en jaune ne sont qu'hypothétiques.

Sur l'image ci-après, les heures présentent des graduations par 15°, 7.5° et 3.75°, soit les heures rondes, les demies et les quarts ; les longitudes présentent également des graduations par 15°, 7.5° et 3.75° (les points rouges). Les collèges jésuites sont localisés en longitude par des points bleus. Dans la couronne des graduations en longitude, nous avons colorié en jaune les tranches complètes de 15 degrés, soit les tranches d'heures rondes où se trouvent des collèges de jésuites dans tout le monde.

Cette image est à mettre en relation avec les affirmations du Père Ménestrier, aux pages 113-114 du « Temple de la Sagesse ... ». Il écrit : « Enfin, tout notre Horloge universel, dont le propre est de faire voir, à chaque moment, toutes les vingt-quatre heures du jour, dans les Provinces différentes, nous apprend aussi qu'il n'est aucun moment où plusieurs de nos Pères n'offrent le plus Saint des Sacrifices, à celui dont le Nom est grand parmi toutes les Nations, et que notre Compagnie vérifie



heureusement la Prophétie de Malachie « *Ab ortu Solis usque ad occasum magnum est nomen meum in gentibus et in omni loco sacrificatur et offertur nomini meo oblatio munda, quia magnum est nomen meum in gentibus, dicit Dominus exercituum* »

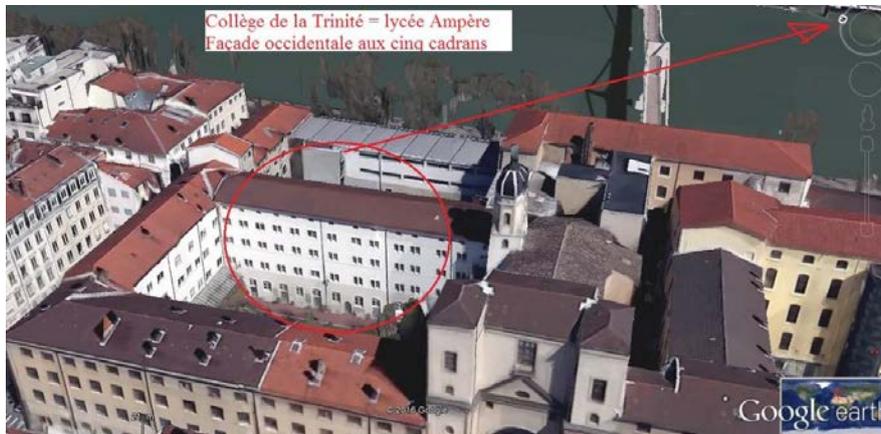
Photos complémentaires :

Ci-contre, l'arbre géographique de la Compagnie de Jésus.

Remarquer la brisure, au ras du tronc, des deux branches du Portugal et de la France, dont les gouvernements avaient pris des mesures hostiles aux jésuites.



Vestige de la méridienne, 18e s. : détail





Bloc gnomonique du XVIIe

Membres CCS & Paul Gagnaire

Histoire et description d'un bloc gnomonique en bronze découvert dans un grenier.

C'est un courriel adressé à notre commission concernant un cadran retrouvé dans un grenier qui a lancé les études :

« Je détiens un cadran gnomonique en bronze retrouvé dans un grenier. Pouvez-vous, s'il vous plaît, me dire ce que vous pensez de cet objet et de l'intérêt qu'il peut représenter.

Je vous joins quelques photos et je vous remercie par avance. ».



1- Echanges de courriels

Un appel étant lancé à l'ensemble des membres de la Commission des Cadres Solaires, plusieurs commentaires furent apportés par retour.

° D. Savoie fit parvenir l'article sur les cadrans multifaces de J. Theubet, paru dans Cadran Info n° 24 d'octobre 2011.

° D. Collin, M. Lalos, J. Robic, demandèrent des photos complémentaires, des dimensions... Une inscription remarquée par le propriétaire intriguait ce dernier : *« J'ai noté aussi la présence sur la face arrière dans le coin en haut à gauche de l'inscription : MATTH 25, peut être le nom du graveur ou de l'inventeur. Je n'ai rien trouvé sur lui sur internet ».*



Cette énigme fut rapidement résolu, ainsi P. Castelnau écrit : « *On voit mal sur la photo, mais on peut lire la fin de la sentence, tirée de l'évangile de Matthieu ch 25 v 26 "vous ne savez ni le jour ni l'heure", en latin. avec une abréviation tirée des manuscrits médiévaux.*

Apparaît aussi un monogramme du Christ mélangé à celui de Marie. On peut en déduire que le cadran est dessiné par un prêtre cultivé, et versé dans la science gnomonique.

° B. Lhéritier mentionne : « *J'ai pu lire presque tout ce qui est écrit sur la face de dessus. J'envoie en pièce jointe. Félicitation au détenteur du cadran, c'est une belle prise!*

Une très belle pièce, en effet. Dommage que tous les greniers n'en aient pas autant ! Je me suis dévissé les yeux pour lire les inscriptions du dessus. Ce sont les noms des vents, avec les particularités météorologiques de chacun. Du Nord au Sud, cela donne :

1 Septentrio frigid(it) et sicc(at) : Le vent du Nord refroidit et assèche. Et ce vent est situé sur le cadran à 12 h.

2 Aequilo variabilis sine pluvia : L'aquilon apporte un temps variable sans pluie. L'aquilon est également un vent du Nord. En principe, le latin dit aquilo et non pas aequilo.

3 Hellesponti (illisible malgré tous mes efforts) desicat : L'hellespont (vent du N.E.) (.....) et dessèche. L'objet donne Hellesponti au lieu de Hellespontias, on dit aussi caecias pour le même vent.

4 Subsola(nus), le reste du mot est hors de la photo calidit suavus : Le vent d'Est donne une douce chaleur. Suavus est un mot qui n'existe pas, l'adjectif est suavis, mais ici on attend plutôt l'adverbe suave, « doucement ». Ce vent est indiqué à 3h comme il convient.

5 Vulturn(us) magis calid(us) qua(m) frigidus : Vulturnus est plus chaud que froid. Ce vent-là, le vulture, est inconnu du dictionnaire.

6 Euroster nubes provocat : Le vent du SSE provoque les nuées. Il est appelé euroster ou euronotus. Il est bien placé à 5h.

7 Auster calid(us) et humidus : L'auster est chaud et humide. Bien sûr, ce vent du Sud est posé à 12h.

8 Austerafricanus pluvias facit : L'auster d'Afrique provoque les pluies.

9 Africu(s) calid(at) (et) pluv(it) : Le vent du SO (Afrique) chauffe et fait pleuvoir.

10 Favo(nius) frigid(at) humi(at)que : Le zéphyr refroidit et humidifie.

11 Corus tonitrua facit : Le Caurus provoque les coups de tonnerre.

12 Circius vectorugios facit : Le vent du NO provoque les ??? Le mot n'est pas dans le dictionnaire.

Je n'ai pas réussi à lire les écritures du centre, en-dehors de Europa, Africa, et Paris. Je laisse à d'autres...

Il y a en Tunisie un site romain qui montre une vaste rose des vents (2 mètres environ de diamètre) avec le nom de chacun. Mais je n'ai pas la photo. Peut-être quelqu'un de la Commission l'aura pour la fournir à l'heureux propriétaire du beau cadran ?

Sur la face méridionale, j'aurais tendance à traduire "Vigilate" par "prenez garde". Saint Matthieu nous rappelle que nous ne connaissons ni le jour ni l'heure de notre mort,

donc que les bons chrétiens doivent se tenir prêts à chaque moment de leur vie ».

° R. Trotignon écrit : *« L'instrument semble lié à une activité maritime. La face supérieure est une rose des vents avec indication des noms de vents en latin. Je tacherai d'envoyer des indications plus précises ultérieurement ».*

Il complète donc : *« Comme je l'indiquais dans mon dernier mail, la face supérieure est une rose des vents. Voici en partant du haut dans le sens des aiguilles d'une montre les noms des vents :*

1 - SEPTENTRIO, 2 - AQUILO, 3 - HELLESPON, 4 - SUBSOLARUS, 5 - VULTURNUS, 6 - EUROAUSTER, 7 - AUSTER, 8- ? 9 – AFFRICUS, 10 – FAVONIUS, 11- CORUS, 12 – CIRCIUS.

Mon dictionnaire latin "Gradus ad Parnassum" précise que 1 et 2 sont des vents du nord, 4 et 5 des vents du sud-est, 6 un vent d'est, 7 un vent du sud, 9 un vent du sud-ouest méditerranéen, 10 un vent d'ouest, 11 et 12 des vents du nord-ouest.

Les noms sont suivis de commentaires, exemple: CORUS TONITRUA FACIT (le vent corus est bruyant), AQUILO VARIABILIS SINE PLUVIA (l'aquilon est variable sans pluie) etc...

Il est probable que la tige centrale portait une petite girouette (solide ou en textile) ce qui permettait de lire directement quel était le vent qui soufflait.

Ces noms de vents d'origine latine (on les trouve chez Lucrèce) ont été utilisés durant tout le Moyen-âge et au-delà. La petite carte centrale représente les continents y compris l'Amérique dans le style des cartes T-O fréquentes au Moyen-âge. Et il y a en plus le méridien de Paris... Pour cette raison, je me demande si l'objet ne serait pas relativement récent imitant un style moyenâgeux, un peu genre reconstitution à la Viollet-le-Duc!

La face avant est un cadran lunaire. Les indications lunaires sont précieuses pour déterminer les marées. Je tacherai de répondre ultérieurement sur ce cadran ».

° P. Gagnaire demande des renseignements complémentaires dont voici les réponses :

« J'ai retrouvé ce cadran dans un grenier d'une maison dans les Vosges à DARNEY 88260. Je ne suis pas certain que ce soit son lieu d'origine, il pourrait avoir été déplacé et venir en fait de la région de Nancy. J'essaie d'identifier les blasons familiaux qui pourraient nous en dire plus.

- Je vous joins des photos plus rapprochées de la face supérieure pour que vous puissiez mieux lire les phrases en latin (voir page suivante).

- Je ne pense pas que la pointe au milieu de cette face soit une poignée, cela me paraît trop fin, n'a-t-elle pas un rôle pour les données qui l'entourent, ces phrases sont elles justes des sentences théoriques ?

- J'ai également fait une photo de plus près du style de la face verticale pour que vous puissiez bien voir sa forme.

- Il ne s'agit pas de peinture dans les gravures, il doit s'agir de restes du "miron" que j'ai utilisé pour nettoyer le bloc (l'huile de coude n'a elle pas laissé de trace...). Au départ, il était complètement noir et illisible, les gravures apparaissant à peine.

- Je n'ai pas identifié les blasons familiaux, j'ai tenté de trouver sur internet des sites susceptibles de m'aider à le faire pour l'instant en vain, si vous connaissez une solution pour les identifier cela m'intéresse beaucoup. Il ne s'agit pas de blasons connus de ma famille, cela

m'aiderait sans doute à retracer le cheminement du cadran pour arriver dans notre grenier familial , pour l'instant c'est un mystère ?

- Je note bien que les 48° de latitude Nord correspondent bien à DARNEY (88), lieu de découverte de l'objet,

- Encore une question si je peux me permettre, avez vous une idée de l'âge de cet objet, qui pouvait confectionner de tels cadrans apparemment complexes, Mr CASTELNAU l'attribue à un religieux ? »



Photographies jointes au courriel de réponse

Etude et synthèse de Paul Gagnaire

1°) Face verticale méridionale



Cadran vertical méridional.

Lignes horaires en 6, 12, 6 en chiffres arabes ;

Arcs de déclinaison aux dates des changements de signes zodiacaux, 7 courbes pour 12 dates. Signes du zodiaque près des bords verticaux latéraux. A droite, signes du 21/12 au 21/6, en descendant. A gauche, signes du 21/6 au 21/12, en montant.

Sur la photo, le style semble être triangulaire, avec une boule pour activer les arcs. Son pied est entouré d'un croissant versé dont les cornes se joignent.

Sous l'encadrement supérieur, la devise, en latin, avec les abréviations usuelles : « Vigilate quia nescitis diem neque horam. Matth.25 ». soit : « Veillez car vous ne savez ni le jour ni l'heure ». Comme l'indique « Matth.25 », cette maxime est tirée de l'Évangile selon saint Matthieu, chapitre 25. Elle sert de conclusion à la parabole des vierges sages et des

vierges folles.

En dessous de l'hyperbole du solstice d'été, figure un motif religieux composé d'une couronne circulaire avec 32 rayons en pointes triangulaires, alternativement ondés et sagittés. Dans la zone intérieure, le signe IHS (Jesus hominum salvator = Jésus, sauveur des hommes) modifié en ceci que le H a été surchargé des lettres VM (Virgo Maria).

Au-dessus du sigle, une croix aux quatre bras égaux et en forme de fleur stylisée.

En dessous du sigle, un cœur avec, plantés en haut, les trois clous de la Passion, emblème de la Compagnie de Jésus.

2°) Face verticale occidentale



Cadran occidental, donc déclinant de 90° vers l'ouest.

Lignes horaires du soir, de 1 à 8 numérotées en chiffres arabes. La ligne 8 est réduite à un point sur l'horizon, ce qui ferait placer le cadran vers 48° de latitude Nord.

Lignes des heures italiques (qui décomptent le temps depuis le coucher du Soleil), numérotées de 7 à 12, en chiffres arabes. Cette numérotation est incorrecte ; il faudrait numéroté de 18 à 24/0, ou bien de -6 à 0, pour manifester le temps qui reste jusqu'au coucher du jour et non celui qui a déjà couru depuis le coucher de la veille. Rappelons qu'au solstice d'hiver les jours durent seulement 8 heures, sous nos latitudes, tandisqu' au solstice d'été, ils en durent 16.

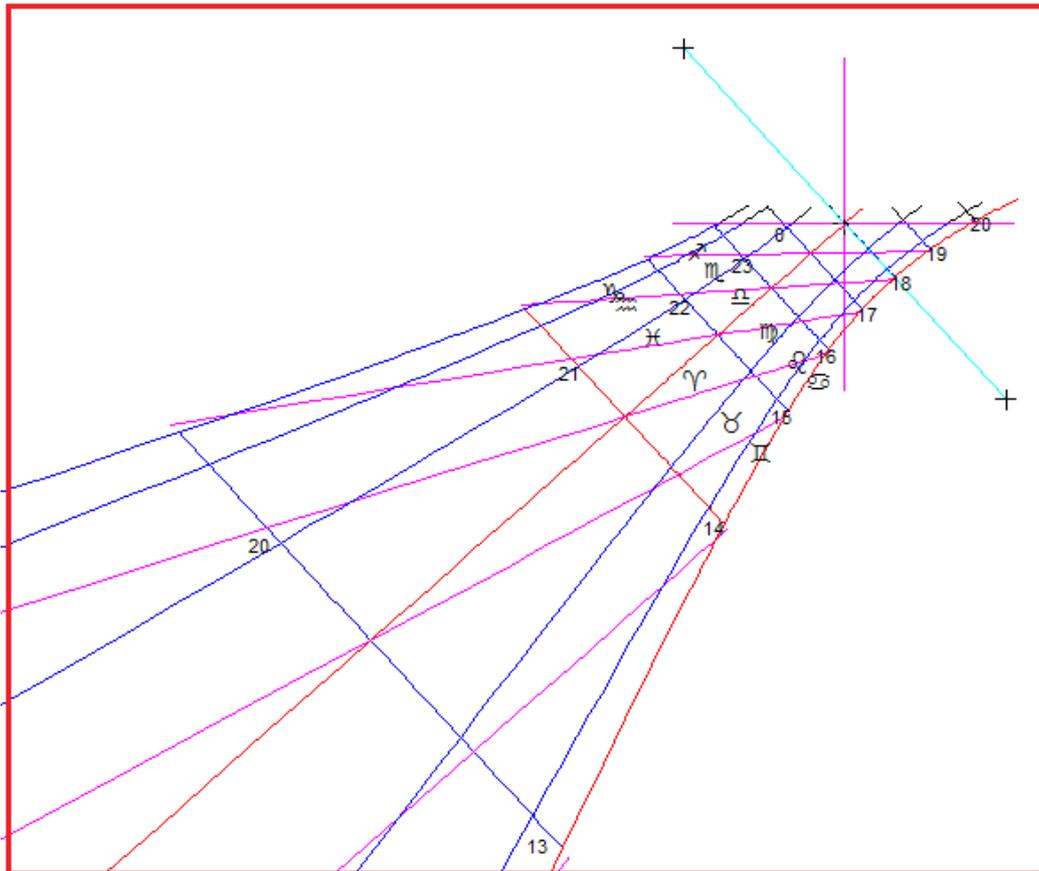
Les sept arcs de déclinaison usuels avec les signes du zodiaque et les indications des saisons, en latin, sous la forme : Hy (hiems = hiver) ; Ver (= printemps) ; Autu (= autumnus = automne) ; Aestas (=été).

Dans l'angle inférieur gauche, un rapporteur avec des graduations tous les 15° , numérotées 15, 30, 45, 60, 75, 90. Un rayon tiré depuis le coin de l'encadrement, passe vers la graduation (non tracée) 48° et se confond avec la droite des équinoxes, ce qui valide l'hypothèse de la latitude adoptée.

Style droit bien implanté sur l'intersection de l'heure 6 avec l'horizon.

Page suivante le tracé et sa numérotation exacte à l'aide du logiciel Solarium de P-J Dallet. Arcs, heures de temps vrai et heures italiques en violet de 18 à 0/24 (19 et 18 n'ont pas

été numérotées).



3°) Face verticale orientale



Cadran oriental, donc déclinant de -90° vers l'Est.

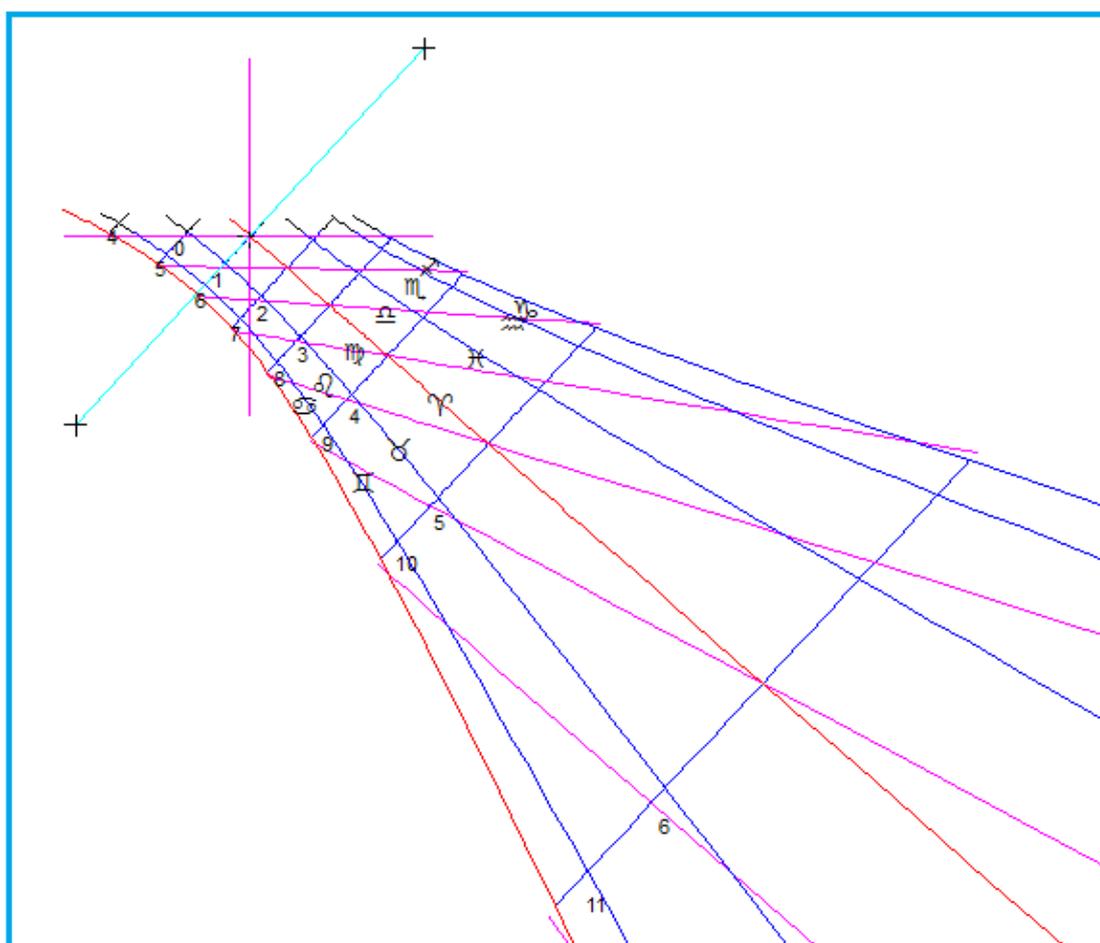
On en peut dire exactement les mêmes choses que pour le cadran occidental, sauf les

trois différences suivantes :

- a) Les lignes horaires sont celles du matin et vont de 4 à 11.
- b) Les lignes babyloniennes (qui décomptent le temps depuis le lever du Soleil), sont numérotées de 12 à 5. Cette façon de faire est fautive ; la fin de la première babylonienne est à numéroté 1 et celle qui est confondue avec l'horizon n'est pas numérotée, sinon ce serait zéro. La numérotation correcte serait de (zéro omis) 1 à 7.
- c) Les deux zones où figurent les signes du zodiaque sont encadrées par deux autres zones où figurent les initiales des mois : I, F, M, A, M, I, puis I, A, S, O, N, D.

Le même rapporteur aligne également un rayon vers la graduation 48°.

Ci-dessous le tracé et sa numérotation exacts, par Solarium de P.-J. Dallet ; Arcs, heures de temps vrai, babyloniennes, en violet, de 0 à 6, ainsi numérotées.



4°) Face verticale septentrionale

Blasons : sur cette face du cadran figurent, accolés, les blasons de deux époux.

A gauche, celui de Claude-Marcel Rémy (1575 - 1631), Conseiller d'Etat et Procureur général de Lorraine fils de Nicolas Rémy (1525 - 1612) (anobli en 1583) et de Ann-Christenn Marchand.

Survivancier de son père, à 24 ans, en 1599, entre en fonctions en 1606

A droite, celui de son épouse Louise de Lisle, fille de Jean de Lisle (anobli en 1572) et de Marie Barnet.



Claude-Marcel Rémy porte « écartelé en sautoir, au 1 et 4 d'or ; au 2 d'azur au griffon passant contourné d'argent ; au 3 d'azur au griffon passant d'argent ». On peut aussi formuler, moins bien, en « deux griffons affrontés d'argent ». Plusieurs figurations de ce blason remplacent les griffons par des serpents ailés ; mammifères dans un cas, reptiles dans l'autre : la différence n'est pas mince.

Louise de Lisle porte « d'azur au chevron d'or, chargé de trois croix pommetées de gueules, accompagnées de trois têtes de licorne d'argent ». Son écu est « en losange », comme il est usuel pour les femmes.

Cette identification des blasons a été obtenue par le propriétaire lui-même :

« Grâce à un héraldiste Lorrain, j'ai pu identifier mes blasons. Armoiries de couple :

Claude Marcel Remy, conseiller d'état et procureur général de Lorraine et son épouse Louise de Lisle, fille de Jean de Lisle, conseiller d'état et lieutenant général du bailliage de Bassigny.

Remy : Ecartelé en sautoir d'or et d'azur à deux griffons (ou deux serpents ailés) affrontés d'argent. (famille anoblie en 1583)

de Lisle : d'azur au chevron d'or, chargé de trois croix pommetées de gueules accompagné de trois têtes de licorne d'argent. (famille anoblie en 1572)

Cela me permet de dater ce cadran du début du XVIIe siècle, la date du mariage de ce couple serait en 1631 ! »

Claude-Marcel Rémy et son père, Nicolas, furent des personnages hors du commun, dans le duché de Lorraine où sévissait, aux XVIe et XVIIe siècles, la plus terrible chasse aux sorcières de toute l'Europe. D'innombrables sites leur sont consacrés, où l'on entre par leurs

Données géographiques et météorologiques

1°) la zone circulaire centrale, représente une demi-sphère terrestre où l'on a dessiné les formes de l'Europe, de l'Asie, de l'Afrique et des Amériques, telles qu'on se les représentait autrefois, avec leurs noms latins, Pars Europa, Pars Asia, Pars Africa, Americae. Le continent antarctique est nommé Terrae Magellanicae pars. Le tout est entouré de mers et d'océans bouchardés à points serrés.

2°) toute la zone autour de ce planisphère est divisée en 4 secteurs angulaires de 90 degrés chacun, comportant des mentions, en latin, relatives aux vents et à leurs effets, à raison de trois vents par secteur.

Une série d'excellentes photos permet de lire sans ambiguïté les inscriptions suivantes que nous donnons en sens horloge et depuis le Nord, soit par la première inscription du secteur Nord-Est. Nous avons reconstitué les mots dont une lettre est surmontée d'une sorte d'accent circonflexe grec qui signale l'omission d'une lettre, souvent traditionnelle, mais parfois par manque de place. Nous avons mis l'exposant ², par facilité, pour figurer le signe en forme de point d'interrogation, sans le point, qui termine certains mots et qui invite à les compléter, généralement par un verbe ou un adjectif, ce qui peut engendrer certaines ambiguïtés. Par exemple le mot « sicc² » peut devenir « siccit » ou siccus » soit « il dessèche » ou bien « il est sec ». Le lecteur peut parfaitement choisir l'option que nous-même avons éliminée.

1°) secteur Nord-Est

- a) Septentrio frigid² et sicc² = le vent du Nord est froid et sec
- b) Aquilo variabilis sine pluvia = le vent Aquilon est variable et sans pluie
- c) Hellesponti² aesti²oia dessicat = le vent de l'Hellespont dessèche les pâturages

2°) secteur Sud-Est

- d) Subsolan², calid² et sicc² ; suavus = le vent Subsolanus est chaud, sec et délicieux
- e) Vultur² magis calid² quam frigidus = le vent Vulturinus est plus (souvent) chaud que froid
- f) Euroauster nubes provocat = le vent Euroauster fait arriver les nuages

3°) secteur Sud-Ouest

- g) Auster calid² et humidis = le vent Auster est chaud et humide
- h) Austroafric² pluvias facit = le vent Austroafricus fait (venir) la pluie
- i) Africus calid² et pluvios² = le vent Africus est chaud et pluvieux

4°) secteur Nord-Ouest

- j) Favon² frigid² et humid² = le vent Favonius est froid et humide
- k) Corus tonitrua facit = le vent Corus engendre les coups de tonnerre
- l) Circius ventorum giros facit = le vent Circius engendre des tourbillons de vent

Cette face horizontale est équipée d'un gnomon vertical dont le rôle pourrait bien être de former la hampe d'une girouette, fil, ruban ou petit drapeau, flottant au vent dont il montrerait alors le nom et le sens.

6°) Face équatoriale septentrionale

Convertisseur luni-solaire.

La couronne extérieure est subdivisée en 29 et $\frac{1}{2}$ secteurs pour représenter la durée moyenne de la lunaison. Elle est fixe. Au centre, un disque porte une graduation en 24 secteurs égaux dont seulement 16 ont été tracés et numérotés de 4 à 12 et de 1 à 8.



Ils mesurent, à raison de 15° chacun, la durée d'une heure solaire. Cette face a été construite dans le plan équatorial (face été) justement pour que chaque heure vaille 15° angulaires.

Le disque est rotatif et présente une fenêtre ronde dont le mouvement fait apparaître des images des différentes phases de la Lune. On fait apparaître l'image de la phase dans la fenêtre et un curseur s'aligne sur le jour correspondant. On peut aussi faire le contraire si l'on connaît le jour de la Lune, sachant que l'instant inaugural du jour 1 est la conjonction avec le Soleil, ou Nouvelle Lune. Ensuite, la Lune prend, chaque jour, un retard sur le Soleil que les gnomonistes arrondissent à 48 minutes. Ainsi, à l'instant de la PL, la Lune a pris 12 heures de retard, ce qui, sur un instrument gnomonique gradué en deux fois 12, ne se voit pas.

Une fois le disque mis en place, l'ombre du gnomon indique l'heure solaire. Par exemple, sur la photo, on voit que l'aiguille du curseur est alignée un peu au-delà du jour 16, donc la Lune retarde de 48 à 50 minutes sur le Soleil et le disque rotatif a bien aligné son heure 1 très près du XII solaire (virtuel, en bas du cadran). Donc quand l'ombre de la Lune tombera sur ce XII, il sera presque 1 heure au Soleil ou, plus justement dit 1 heure du matin.

Remerciements

« Merci pour votre précieuse aide, celle de Mr GAGNAIRE et des autres personnes ayant fourni des commentaires.

Je vais poursuivre mes recherches pour connaître plus sur l'histoire de cet objet.

Concernant sa position, il est pour l'instant chez moi dans le Var, il retournera à terme dans notre maison familiale près de DARNEY ».

Avec l'accord du propriétaire ce bloc gnomonique figurera dans notre inventaire dans la catégorie "cadran privés".

En dernière minute, ce dernier cherche à le vendre.





Le cadran de Kratzer

Jacques Lehébel & Renée Péron

Nous décrivons ici un essai de reconstitution d'un mystérieux cadran solaire représenté sur deux tableaux du XVI^e siècle : « Portrait de Nicholas Kratzer » et « Les Ambassadeurs », œuvres du peintre allemand Hans Holbein. Il s'agit d'un cadran solaire de type équatorial universel.

Avant-Propos

Au XVI^e siècle le peintre allemand *Hans Holbein* représentait sur deux tableaux un instrument qui a longtemps plongé dans la perplexité de nombreux observateurs. On sait maintenant qu'il s'agissait d'un cadran solaire de type équatorial universel.

L'idée de re-créer ce type particulier de cadran solaire est née quand, en visite à la National Gallery de Londres, Martial, un adhérent de Méridienne¹, s'arrêtait devant un imposant tableau de Hans Holbein le jeune. Aucun doute n'était possible : il avait devant lui l'illustration de la première réunion de l'association Méridienne, en 1533 ! Ce tableau, intitulé *Les Ambassadeurs*, était bien la preuve que l'association, dont tout le monde pensait qu'elle était née à Nantes en 2005, était beaucoup plus ancienne... Méridienne, qui s'apprêtait alors à participer à *Astrolys*, festival d'astronomie organisé chaque année dans la petite commune vendéenne de la Chapelle aux Lys, décidait de réserver la primeur de cette importante découverte historique aux visiteurs. De toute évidence *Art et Astronomie*, thème retenu pour l'édition 2015, imposait de réaliser une présentation du tableau et une re-création du cadran solaire.

Restait à réunir la documentation...

Dans les faits le travail de re-création s'est appuyé sur deux articles en ligne. La rubrique *Les Ambassadeurs* de Wikipédia permet l'observation en bonne résolution des deux "portraits" du cadran peints par Holbein².

Dans le second, extrait de la revue québécoise *Le Gnomoniste*, André E. Bouchard étudie les énigmes posées par les objets figurant dans le tableau d'Holbein et présente un schéma extrait du livre de John North *The Ambassadors' Secret*.

Les autres documents, notamment le livre de John North, rédigés en anglais et que nous avons tous obtenus tardivement ont permis de confirmer certaines de nos hypothèses et intuitions que l'expérience avait déjà validées ou démontées. Et en cela, ils ont été très utiles...

¹ L'association Méridienne a été créée en 2005 à Nantes afin d'étudier, de préserver et de faire connaître le patrimoine scientifique nantais. Elle est présente lors des Journées du patrimoine, de la Fête de la science, de l'exposition *Voyages planétaires*, du festival *Astrolys*, et de plusieurs rassemblements de gréments traditionnels. Son activité s'organise selon trois pôles essentiels :

- Un atelier de re-créations d'instruments de navigation, d'astronomie et de mesure du temps dans le respect des objets traditionnels et de manière à pouvoir être utilisés aujourd'hui.

- Un atelier de parcours scientifiques.

- Une préoccupation permanente pour la sauvegarde du patrimoine scientifique.

Pour en savoir plus : <http://www.meridienne.org>

² Le cadran figure sur *Les Ambassadeurs* et sur le *Portrait de Nicholas Kratzer*.

Sur les deux tableaux une tige métallique² fixée verticalement sur le disque horaire semblait être le style du cadran. Mais sa position excentrée nous intriguait. D'autant plus que le disque était gravé en 24 heures alors que les cadrans solaires ne comportent généralement aucune indication des heures de nuit (et pour cause...). Ce cadran serait-il aussi un cadran lunaire ? Cela en ferait un spécimen digne de figurer dans des œuvres d'Holbein. Cette hypothèse n'a résisté ni à nos recherches ni à l'expérimentation.

Une autre hypothèse faisait de cette tige métallique³ un tube fin qui en rendant possible la visée précise du Soleil ou de l'Étoile Polaire permettait de déterminer la latitude du lieu d'utilisation sans autre instrument que le cadran lui-même. Cela en faisait un appareil plus complet que les autres cadrans équatoriaux et en justifiait l'utilisation. Il semble que cette proposition validée par l'expérimentation apporte une nouveauté dans la description et l'utilisation de l'instrument.

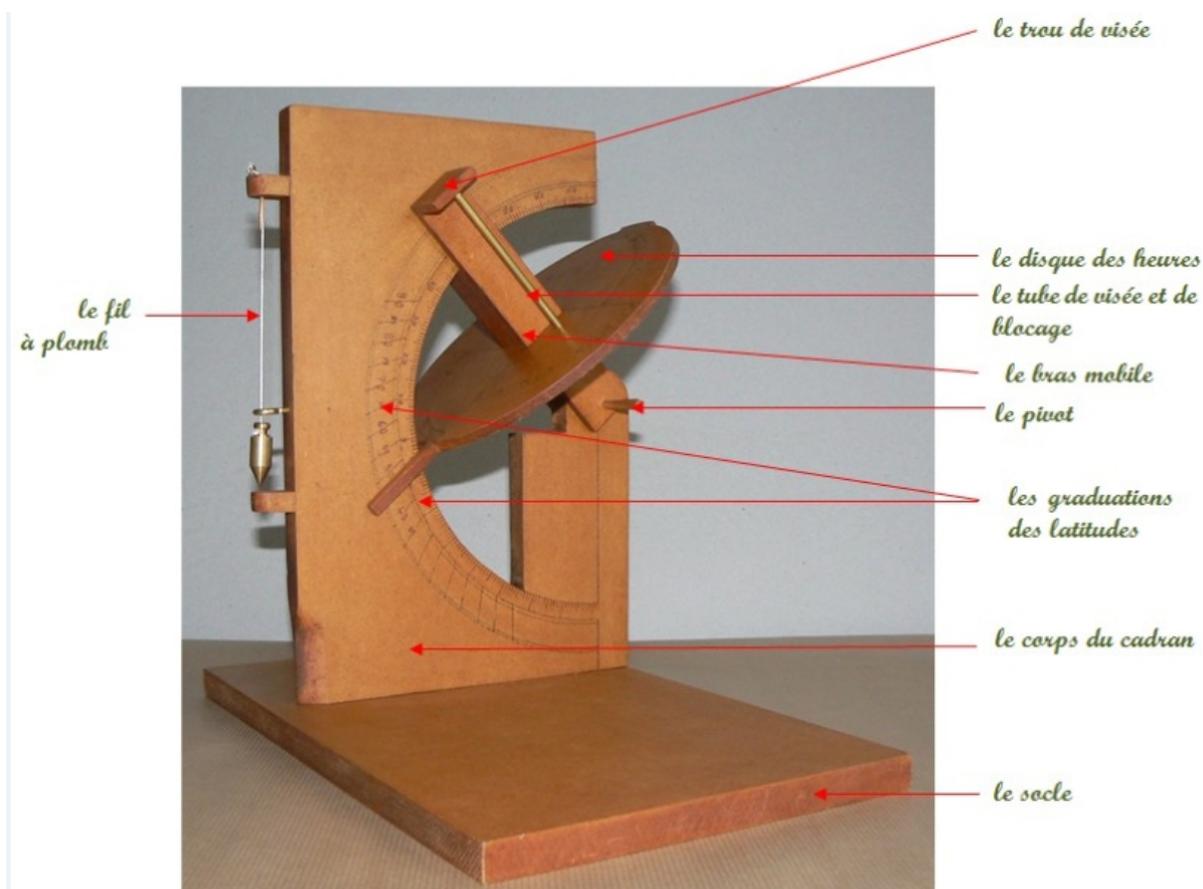


Fig.1 : La cadran solaire équatorial de Kratzer réalisé et photographiée par l'association méridienne.

I) Historique du cadran de Kratzer

Holbein⁴ a représenté pour la première fois le cadran solaire dans un tableau daté de 1528 et intitulé *Portrait de Nicholas Kratzer*, aujourd'hui conservé au musée du Louvre. Nicholas Kratzer³, astronome, mathématicien et cadranier allemand, ami d'Holbein est peint

³ Voir dans la partie "construction du cadran" le paragraphe "le disque des heures".

⁴ Holbein (dit le jeune) Hans (1497 – 1543) peintre et graveur allemand. Peintre officiel du roi d'Angleterre Henri VIII de 1536 à sa mort.

en train de travailler. Le cadran est placé dans une niche d'un mur. Le disque des heures est posé sur la table de travail.

Le deuxième tableau, réalisé en 1533, est intitulé *Les Ambassadeurs*. C'est une des œuvres les plus célèbres d'Holbein et peut-être la plus mystérieuse. Il est présenté à la National Gallery de Londres. Le cadran est posé sur l'étagère supérieure d'un meuble, le disque des heures est posé à côté. Dans *Les Ambassadeurs* Hans Holbein fait le portrait en pied de deux jeunes hommes ambassadeurs du roi François I^{er} auprès du roi d'Angleterre. Avec ces personnages sont représentés des objets symboliques de leur puissance, de leurs connaissances scientifiques et des arts. Parmi les instruments scientifiques figure un objet à propos duquel de nombreuses questions ont été posées et se posent encore : *le cadran solaire dit de Kratzer*.

Il n'est attesté nulle part que Kratzer⁵ est l'inventeur de ce cadran. Il était plutôt connu pour ses

constructions de cadrans solaires polyédraux comme celui qu'il a dans la main sur son portrait. Nous avons choisi de donner à ce cadran le nom de Kratzer car c'est sur son portrait qu'il apparaît pour la première fois.

II) Construction du cadran

1) Agencement du cadran d'après les tableaux

D'une hauteur hors tout qu'on peut estimer à 30 cm, le cadran est confectionné en bois. Les deux tableaux permettent de voir les deux faces du

corps du cadran et de préciser les détails. Le corps du cadran est formé d'une pièce



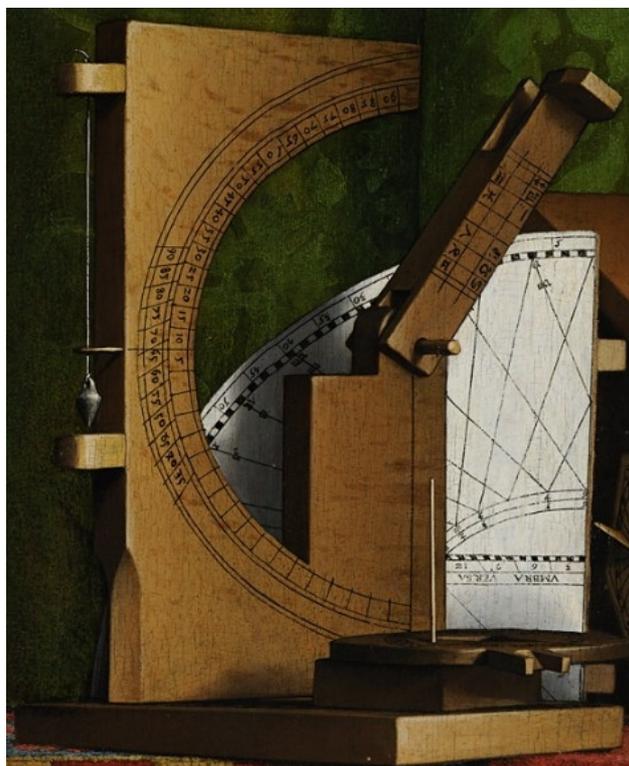
Fig. 2 : Portrait de Nicolas Kratzer (1528) Hans Holbein le jeune, Tempora sur bois, 83 x 67 cm, Musée du Louvre (Paris)



Fig. 3 : Les Ambassadeurs (1533) Hans Holbein le jeune, Huile sur panneau de chêne, 207 x 209 cm, National Gallery (Londres).

⁵ Kratzer Nicolaus ou Nicholas (v. 1487 – ap. 1550). Astronome et horloger allemand, au service du roi Henri VIII d'Angleterre.

rectangulaire partiellement évidée en demi-disque, mais dans sa partie inférieure est conservé un support sur lequel un bras est articulé. Les deux faces du cadran et le bras sont gradués. L'ensemble est fixé perpendiculairement sur une base rectangulaire, à environ 1/3 de la longueur de cette base. Dans les deux tableaux le disque des heures, sur lequel est piquée une tige métallique, est posé à plat sur un support carré.



▲ Fig. 4 : Le cadran des « Ambassadeurs ».



Fig. 5 : Le cadran du « Portrait » et son disque. ►

2) Façonnage

Le cadran de Méridienne a été construit en medium. Toutes les dimensions sont données à titre indicatif et demandent à être adaptées et ajustées.

2-1) Le corps du cadran

La découpe du corps du cadran doit permettre le mouvement du disque des heures. L'évidement en demi-cercle doit donc être ajusté au rayon du disque augmenté de l'épaisseur d'un petit redent⁶. La forme du support permet à la fois la rotation de l'ensemble bras-disque et sa butée sur la position 0°. L'axe de rotation est percé précisément à la rencontre de la droite verticale 90° et de la droite horizontale 0°.

Les graduations visibles sur les *Ambassadeurs* font de cet instrument un cadran universel, pouvant être utilisé sous toutes les latitudes. Elles varient de 0° à 90° et permettent de placer le bras articulé et le disque à la position convenable selon la latitude du lieu.

⁶ Voir le paragraphe "le disque des heures".

Sur le tableau d'Holbein toutes les graduations sont décalées de 5°, l'inscription correspondant à la position horizontale du bras (Équateur, latitude 0°) étant notée 5. Cela n'est pas une erreur du peintre mais tout simplement un décalage permettant de lire la latitude sur le bord du bras.



Fig. 6 : Recto du cadran ; les graduations des latitudes ; valeurs décalées et graduations obliques.



Fig. 7 : Verso du cadran ; les graduations.

Des graduations obliques tracées tous les 5° permettent de vérifier le positionnement correct du disque. Elles sont perpendiculaires aux droites passant par l'axe de rotation et les degrés de latitude de 5° en 5°.



▲ Fig. 8 : Le bras est en position verticale. Le 0 de 90° est visible sur le bord.

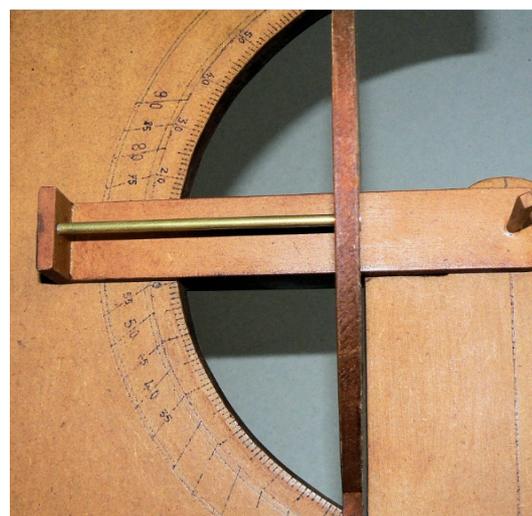


Fig. 9 : Le bras est en position horizontale. Le 0° est visible sur le bord. ►

2-2) Le fil à plomb

La tranche du cadran opposée à l'axe de rotation supporte un fil à plomb fixé à une pinnule. Une pinnule inférieure, sur laquelle est sans doute tracé un repère, permet de s'assurer de la verticalité de l'ensemble. Un cavalier métallique peut maintenir le fil pendant les déplacements.

Fig.10 : Le fil à plomb permet de régler la verticalité. ►

2-3) Graduation des latitudes

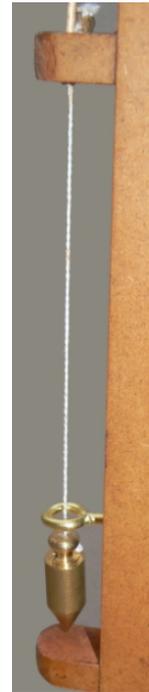
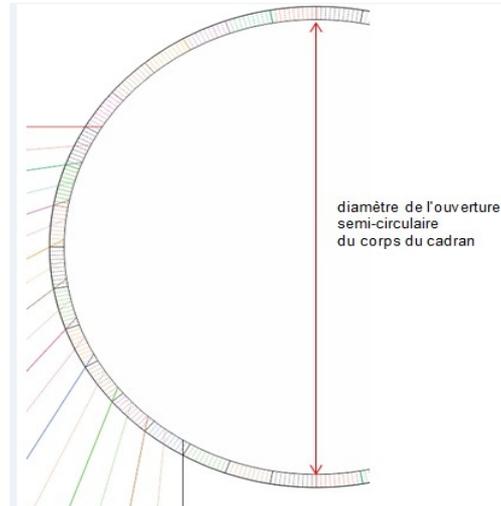


Fig. 11 : La graduation des latitudes

2-4) Le bras articulé

De section carrée il mesure environ 15 cm de long et est terminé à chaque extrémité par un enfourchement dont la largeur interne correspond à l'épaisseur du corps du cadran. La fourche inférieure permet la rotation du bras. Ses deux dents doivent être percées sur leur axe médian d'un trou pour le passage du pivot. La fourche supérieure guide le mouvement du disque. Sa face visible sur *Les Ambassadeurs* porte, perpendiculairement à son extrémité supérieure, une petite pinnule percée d'un trou fin. Sur les tableaux, de chaque côté du bras, une échelle régulière des divisions du Zodiaque astrologique, repérées par les signes est tracée à partir de chacune des faces du disque.



▲ Fig. 12 : La fourche inférieure et le pivot.



Fig. 13: La pinnule percée d'un trou fin. ►

Les signes du printemps et de l'été sont placés au-dessous du disque, ceux de l'automne et de l'hiver sont placés au-dessus. Cette échelle permet de déterminer par l'ombre du disque à midi solaire à quel moment de l'année se fait l'observation. Ces positions dépendent de la déclinaison du Soleil. Sur ce cadran sont représentées les constellations zodiacales actuelles avec les dates correspondantes.



Fig. 14 : Les constellations zodiacales.

2-5) Calcul pour tracer les graduations sur le bras du cadran (Figure 15)

La hauteur de l'ombre du disque sur le bras du cadran dépend de la date. Cette mesure a lieu à midi solaire. Le tracé se fait de part et d'autre du disque en fonction de la date. R correspond au rayon d'un quart de cercle gradué.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2				déclinaison				
3				du Soleil			le Soleil entre (ou est)	
4							dans la constellation du	symbole de la
5	R en cm	$h = R \tan \delta$	Date	δ en °		h en cm	(données 2015) :	constellation
6								
7	7,4		22-déc	23,433	S	3,21	Sagittaire	♐
8			20-janv	20,125	S	2,71	Capricorne	♑
9			16-févr	12,345	S	1,62	Verseau	♒
10			11-mars	3,73	S	0,48	Poissons	♓
11			20-mars	0,177	S	0,02	Poissons	♓
12			18-avr	1,81	N	0,23	Bélier	♈
13			14-mai	18,615	N	2,49	Taureau	♉
14			21-juin	23,436	N	3,21	Gémeaux	♊
15			21-juil	20,472	N	2,76	Cancer	♋
16			11-août	15,275	N	2,02	Lion	♌
17			17-sept	2,268	N	0,29	Vierge	♍
18			23-sept	0,06	S	0,01	Vierge	♍
19			31-oct	14,088	S	1,86	Balance	♎
20			23-nov	20,328	S	2,74	Scorpion	♏
21			30-nov	21,63	S	2,93	Ophiucus	♐
22			18-déc	23,382	S	3,20	Sagittaire	♐
23								

Fig. 15 : Calculs de la hauteur de l'ombre pour quelques dates choisies en fonction des constellations zodiacales

2-6) Le disque des heures

Pour un cadran de 30 cm de haut, le rayon du disque doit mesurer environ 10 cm. Il comporte une petite fourche d'environ 3 cm de long dont les dents sont écartées d'une distance

égale à l'épaisseur du corps du cadran. Entre les dents un petit renfort biseauté permet de consolider la fourche. Diamétralement opposé à la fourche est façonné un petit redent de quelques millimètres d'épaisseur, visible sur le *Portrait*.

Au centre du disque un trou carré est façonné de telle sorte que deux de ses côtés sont parfaitement parallèles au diamètre passant par le milieu de la fourche et celui du redent. Ce carré est découpé aux dimensions exactes de la section du bras, de sorte qu'il puisse s'y engager et que le disque coulisse sans jeu. La position du disque sur le bras doit permettre le mouvement de rotation de l'ensemble bras-disque. Elle doit être marquée sur le bras de chaque côté du disque pour pouvoir le remettre en place correctement après démontage. La fourche sert de guide à la rotation qui se fait autour du pivot. Celui-ci doit être effilé de sorte qu'une pression permet de bloquer l'ensemble en position. Le disque est percé d'un trou dans lequel peut s'engager une pièce métallique. Quand le disque est en position horizontale les trous de la pinule et du disque doivent être rigoureusement à la verticale l'un de l'autre.

Sur un cadran solaire de type équatorial, la lecture de l'heure se fait grâce à l'ombre d'un style centré sur un disque régulièrement gradué en degrés, 15° correspondant à une heure. Ici les graduations sur le disque ne sont pas circulaires, comme c'est le cas pour les autres cadrans équatoriaux. Ainsi qu'on le voit sur *le Portrait* les graduations sont tracées par quart de cercle, chaque quart de cercle ayant pour centre un angle du carré. Le style de ce cadran est, selon le moment de la journée, une arête du bras articulé. La lecture se fait donc pour une durée de six heures sur un quartier gradué, puis sur le suivant... La même face du disque des heures est représentée sur les deux tableaux. Mais on peut logiquement penser que comme sur tout cadran solaire équatorial on retrouve sur le verso du disque les mêmes graduations, superposables à celle du recto. Ainsi ce cadran peut fonctionner toute l'année.

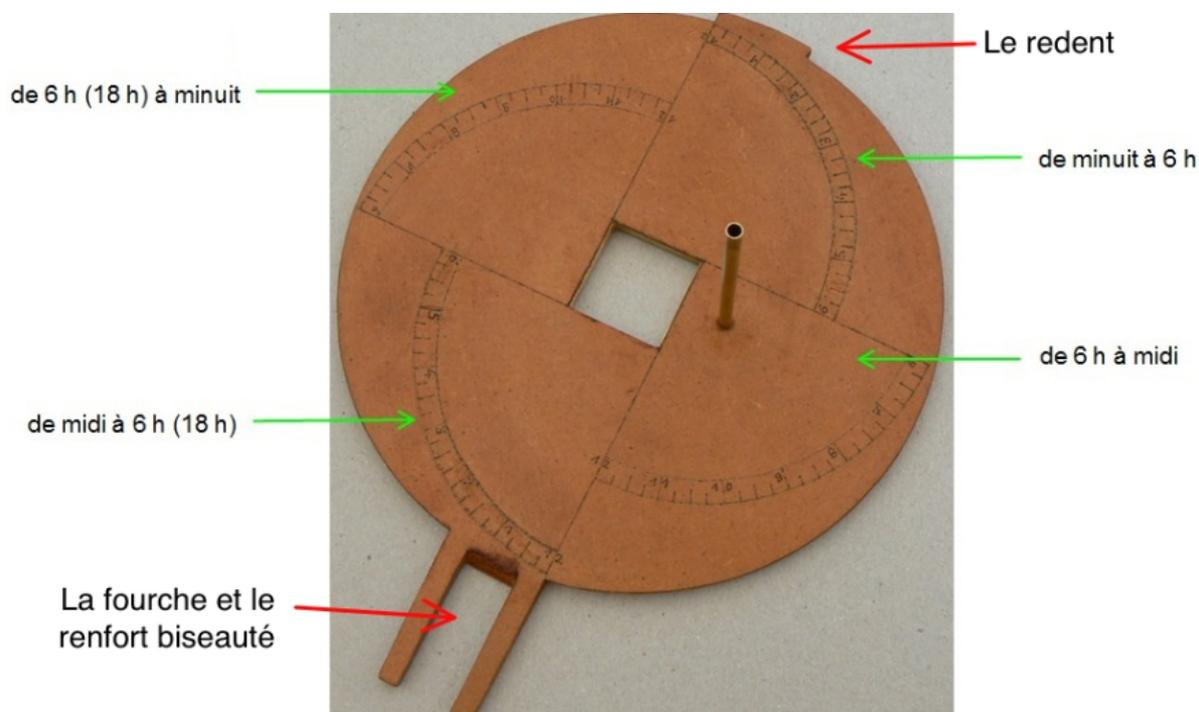
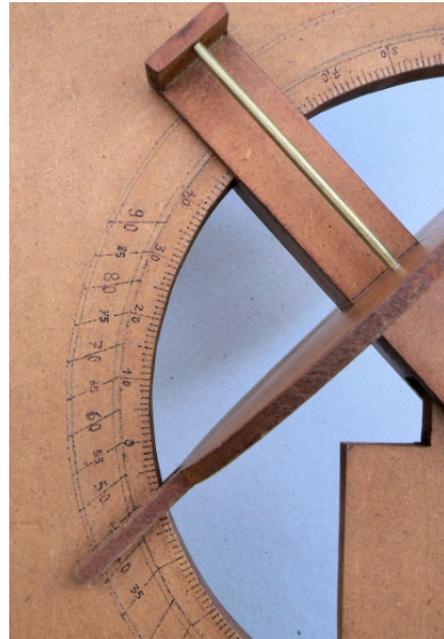


Fig. 16 : Le disque des heures et ses graduations.

2-7) Montage du disque sur le bras

Le blocage du disque sur le bras est assuré par une pièce métallique qui traverse le trou de la pinnule et celui du disque. L'utilisation d'un tube fin plutôt que d'une tige permet le passage de la lumière du Soleil pour faire une méridienne, ou de viser l'Étoile Polaire pour déterminer la latitude du lieu d'utilisation et régler le cadran. Dans les trous de la pinnule et du disque il est possible de fixer des petits tronçons de tube dans lesquels un tube d'un diamètre immédiatement supérieur et de longueur adéquate vient s'emmancher. Sa butée sur la pinnule et le disque permet un positionnement précis et ne change en rien la qualité de la visée.

Fig. 17 :Le cadran est réglé à la latitude de Nantes.
Le bras et les dents du disque sont alignés sur 47°.
Le tube est bloqué entre la pointe et le disque. ►



La hauteur méridienne du Soleil est donnée par une petite tache de lumière sur le pivot. Pour la lecture l'une ou l'autre des échelles du cadran peut être utilisée. Mais si on utilise celle du verso du cadran il faut tenir compte de la moitié de l'épaisseur du bras.

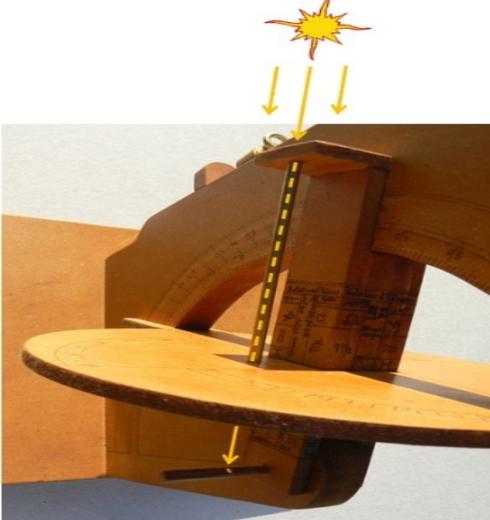
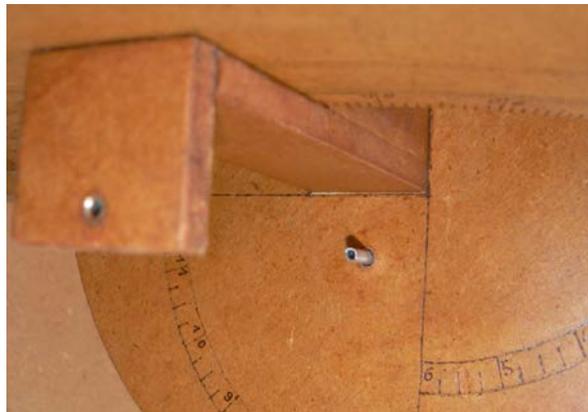
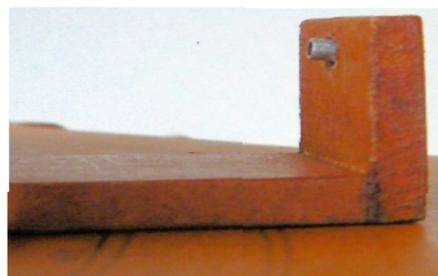


Fig 19b : Les petits morceaux de tube supports du tube de laiton.
Image pivotée de 90°. ►



◄ Fig. 18 :La tache lumineuse sur le pivot.

Fig. 19a : Les petits morceaux de tube supports du tube de laiton. ▲



III) Utilisation du cadran

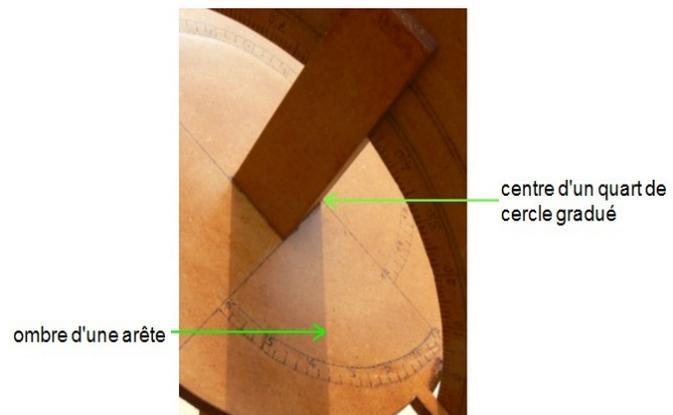
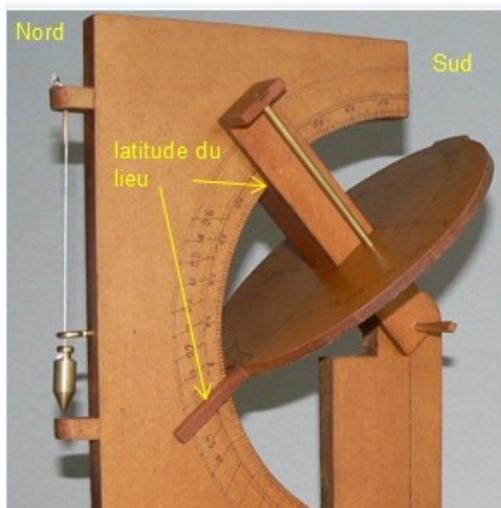
1) Lecture de l'heure

- Mettre le disque des heures à la bonne latitude. Le disque doit être bien positionné sur le repère du bras.

- Positionner le cadran dans la direction Nord-Sud à l'aide d'une boussole.

- Lire l'heure solaire sur le bon quart de cercle.

Pour avoir l'heure légale, voir <http://www.meridienne.org/index.php?page=heure>



◀ Fig. 20 :Le réglage du cadran.

Fig. 21 :La bonne ombre pour la lecture de l'ombre. ▲

2) Déterminer la latitude

Ce cadran est universel. Il permet de lire l'heure sous toutes les latitudes. La latitude se détermine par deux méthodes, que le cadran rend possibles.

1) La latitude par l'Étoile Polaire.

Cette méthode ne peut être utilisée que dans l'hémisphère Nord. Il suffit de viser la Polaire par le tube et de relever sa hauteur sur l'échelle graduée. De nos jours, la latitude équivaut à la hauteur de cette étoile.

2) La latitude par la hauteur méridienne du Soleil.

À midi solaire, orienter l'extrémité du tube vers le Soleil de telle façon que les rayons passant par le tube fassent une tache lumineuse sur le pivot. Lire la hauteur du Soleil sur l'échelle graduée.

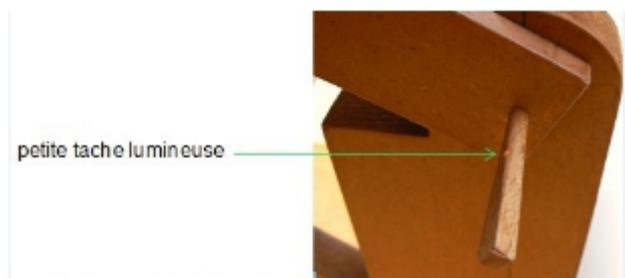


Fig. 22 : La petite tache lumineuse sur le pivot.

Calculer la latitude (<http://www.meridienne.org/index.php?page=latitude-longitudeque>).

Bibliographie et webographie

BOUCHARD André E, *L'analyse du tableau "Les Ambassadeurs" de Holbein le jeune...* Le Gnomoniste, volume XVII, numéro 2. Juin 2010. Commission des Cadrans solaires du Québec. <http://cadrans-solaires.scg.ulaval.ca/v08-08-04/quidnovi/XVII-2-p12-19.pdf>.

DEKKER Elly et LIPPINCOTT Kristen, *The scientific instruments in Holbein's Ambassadors : a re-examination*. Journal of the Warburg and Courtauld institutes, LXII. 1999.

DRINKWATER Peter, *The Dialling Instruments depicted in 'The Ambassadors'*. British Sundials Society. Bulletin 15. Volume 94.1. 1994.

MILLS Allan. *Dialling Instruments in Holbein's Painting 'The Ambassadors'*. British Sundials Society. Bulletin 95. Volume 27 (iii). 2015.

HERVEY Mary F.S., *Holbein's Ambassadors : The Picture and the Men*. George Bell and sons. Londres. 1900. https://archive.org/details/gri_33125001712401.

NORTH John David, *The Ambassadors' Secret : Holbein and the world of the Renaissance*. Bloomsbury Academic. Londres. 2005.

STEBBINS Frederick, *The astronomical instruments in Holbein's "Ambassadors"*. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Vol. 56. 1962. <http://adsabs.harvard.edu/full/1962JRASC..56...45S.F.A>.

WOLF Norbert, *Holbein*. Taschen. Cologne. 2004.

SITE WEB : https://fr.wikipedia.org/wiki/Les_Ambassadeurs

Canon de Midi

Relever sur le catalogue Alain Brioux d'octobre 2015 :

Paris, Palais Royal, 155, Charles Chevalier, c. 1850, diamètre : 25 cm, marbre, laiton, verre.

Cadran composé d'un socle de marbre blanc circulaire, sur lequel sont fixés un canon en laiton, un gnomon et une loupe réglable.

Sur le marbre est incisé un cadran en chiffres romains : de I à XII.



En état de fonctionnement. Optique d'origine. (Réf 63960}



Boussoles solaires

André Marchal

Présentation de deux boussoles solaires conçues par A. Marchal ¹.

Boussole solaire MARCHAL

Donner un nom à un objet déjà existant et connu peut sembler prétentieux. Mais pourquoi pas si cet objet est nouveau dans sa conception ?

C'est le cas de cette boussole solaire dont le diagramme est totalement différent de celui du compas universel ABRAMS bien connu. Malgré sa rusticité, sa simplicité, elle peut rendre les mêmes services : donner une direction à suivre, déterminer les points cardinaux et indiquer l'heure.

Son inconvénient est d'être « particulière », c'est-à-dire d'avoir un diagramme pour une seule latitude. Cet inconvénient est levé en utilisant plusieurs diagrammes. Mais elle a aussi des avantages dont sa protection aux intempéries et une tige gnomon parfaitement immobilisée qui rendent l'objet utilisable en toutes circonstances et sans boîte de transport.

Voyons en détail cette boussole solaire MARCHAL.

Description.

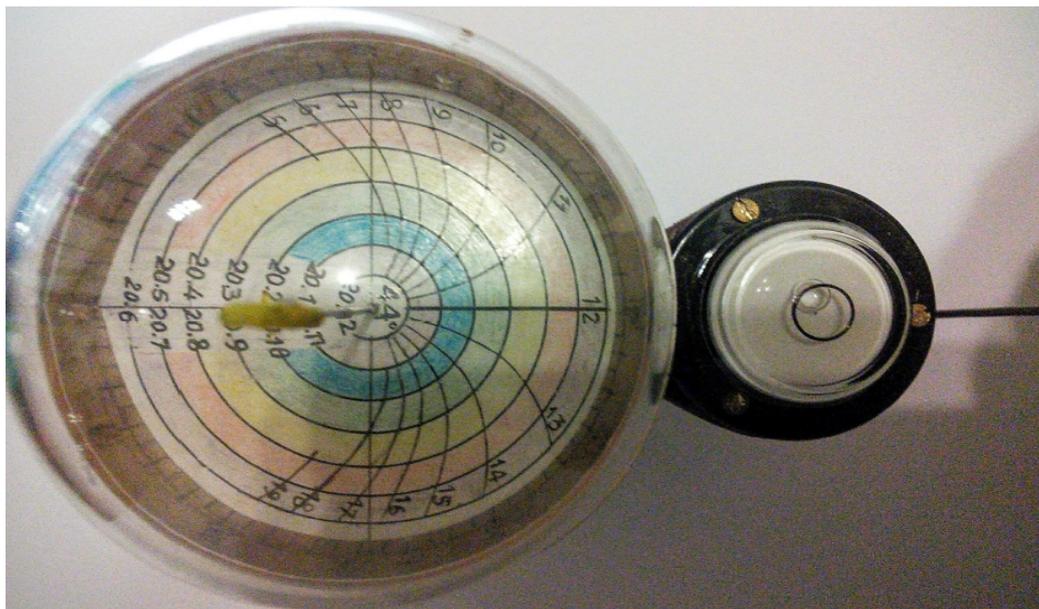
Nous avons une table circulaire avec nivelle sphérique. Plaqué à cette table un diagramme fait de cercles concentriques et de courbes en gerbe, élève en son centre une tige verticale qui vient traverser le haut d'une demi-sphère transparente de protection qui immobilise le haut de la tige-gnomon (voir photos).



¹ Du même auteur : Fabrication d'une boussole solaire en référence à l'expédition SAVIEM de 1978 en Afrique dans *Cadran Info* n° 25.

Principe et utilisation.

L'ombre d'une tige verticale transmet la direction du soleil sur le diagramme circulaire tracé en fonction des azimuts, des dates et des heures solaires. Connaissant deux de ces éléments, il est facile de déterminer le troisième après avoir nivelé l'instrument. Il est utilisable posé ou à bout de bras pour une orientation ou pour lire l'heure. *Mais attention*, en déplacement d'orientation, comme avec le compas ABRAMS, à chaque 1/4 d'heure il faut redéfinir l'azimut solaire du Sud (avec date et heure) afin de corriger l'angle de direction.



Commentaires.

Très simple à calculer et à fabriquer, l'objet est utilisable en portable ou en fixe. Ayant un diagramme pour une seule latitude, pour différentes latitudes il est nécessaire de posséder plusieurs diagrammes qui seront superposés et inter-changés selon les besoins. Ainsi pour toute la France, 3 diagrammes suffiront : LAT 40°/LAT 45°/LAT 50°. Donc à la fabrication de la boussole il faudra prévoir la possibilité de soulever et de sortir la demi-sphère de protection pour le changement de disque. La tige gnomon en traversant le haut de la sphère assure son maintien à la verticale de la table nivelée. La précision horaire est maximale au solstice d'été entre 11 h et 13 h soit +/- 10 mn à l'estime.

Boussole magnétique héliohoraire

Il s'agit d'une adaptation gnomonique d'une "boussole magnétique boîtier".

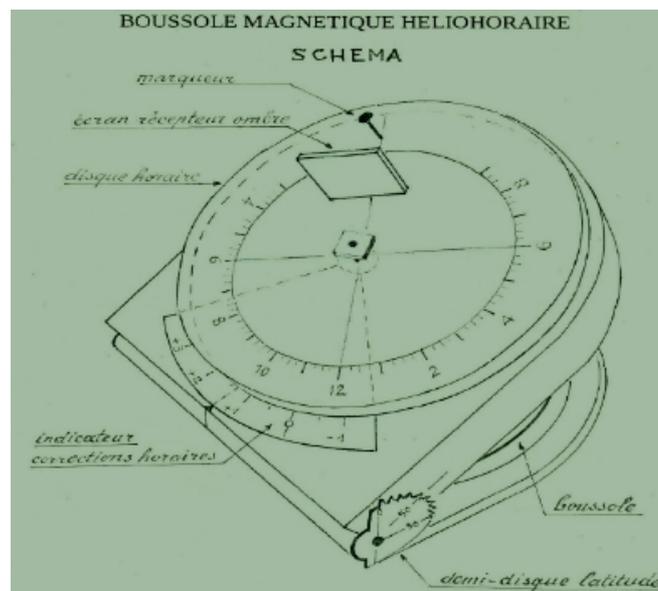
Composition :

- Un disque épais portant des gravures horaires sur lequel sont plantés un marqueur et un écran récepteur d'ombre. Disque qui pivote autour d'une vis fine fichée dans le boîtier.

- Un indicateur mobile en bordure du disque pour passer de l'heure solaire à l'heure civile.
- Un demi-disque cranté fixé sur l'axe d'ouverture du boîtier pour le réglage de la latitude.

Utilisation

- Régler la correction horaire (1 heure ou 2 heures +/- longitude +/- équation temps).
 - Ouvrir le boîtier à la latitude du lieu.
 - Orienter la boussole au Sud (à l'horizontale).
 - Tourner le disque pour amener l'ombre du marqueur au centre de l'écran récepteur lequel donne une indication approximative de la déclinaison solaire.
- Sur le disque, l'heure civile est donnée par le zéro de l'indicateur de corrections.



Documents numérisés et archivés à la CCS, concernant les boussoles solaires :

Titre	Article	Origine
Sun compass	Maintenance manual universal sun compass	The Abrams instrument Co
Boussole solaire	Un instrument inattendu	
BS Abrams par A.Marchal	Fabrication et utilisation	A. Marchal
Cadran boussoles	Invention de M. Lâiné	WEB
Cadran de navigation ou compas solaires	Différents compas	WEB
Compas Solaire_ABRAMS	Photos	D. Collin
Compas	Description modèle Howard MKIII	WEB
Field_Navigation_2004	Différents compas	WEB
Greenwich MM	Description du Cole Universale sun compass MK3	MMM Collection record
Howard	Description du modèle Howard	WEB
IMG_20150906_164116~5.1	Photo	
La Boussole Solaire Universelle Abrams	Manuel de maintenance boussole solaire universelle	Abrams instrument Co (1943)
Principe d'un cadran boussole		P.J Dallet
SUNCOMPASSINSTRUCTIONSa	Description modèle Howard MKIII	
THE SUNDIAL GOES TO WAR web	Descriptions de différents type de boussoles solaires	
TM5-9422_01111943	War departement maintenance manuel	Abrams instrument Co (1943)



Lino Ventura vérifie le cap dans le film *Un taxi pour Tobrouk* (1960)

Photo communiquée par J-M. Ansel



Les heures de prières sur les quadrants astrolabiques maghrébo-andalous

Eric MERCIER

Dans un premier temps, il est rappelé le principe et le mode d'emploi des quadrants astrolabiques musulmans. Puis, on compare les tracés des courbes de prières relevés sur 7 quadrants astrolabiques issus de l'occident musulman, avec le tracé théorique déduit d'un modèle numérique original. Cette comparaison permet de déduire les conventions utilisées qui apparaissent sensiblement différentes de celles utilisées sur les astrolabes planisphériques de même origine.

I) INTRODUCTION

Dans un article précédent (Mercier 2015), j'ai montré que les heures de prières, telles qu'elles étaient représentées sur les astrolabes planisphériques maghrébo-andalous, répondaient à des conventions sensiblement différentes de celles qui sont utilisées sur les cadrans solaires tunisiens. Dans cet article, je vais poursuivre cette étude en explorant un autre champ de la gnomonique appliquée à la religion dans l'occident musulman. Je vais envisager cette fois-ci les quadrants astrolabiques musulmans. Comme dans l'article précédent, la détermination des anciennes conventions de calcul se fait par calage d'un modèle informatique graphique et comparaison avec les instruments historiques.

II) ORIGINE ET TERMINOLOGIE

Les quadrants musulmans reposent sur le principe d'un pliage de l'astrolabe planisphérique (Fig. 1).

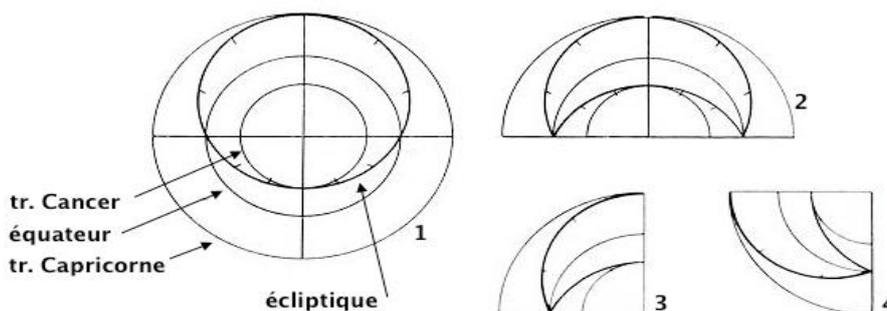


Fig. 1: Le principe de pliage en 4 de la projection planisphérique de l'astrolabe (d'après Rohr et Janin 1975, complété).

(1) : l'astrolabe planisphérique; (2) et (3): pliage en 4 de l'astrolabe planisphérique; (4) rotation pour présenter la position d'utilisation.

Il semble que les historiens des sciences aient longtemps pensé que le premier à avoir l'idée de ce pliage soit Profeit Tibbon (dit Profatius) (1236-1304), un savant de Montpellier de culture juive, qui rédigea son manuscrit vers 1288 (Pouille 1964, Rohr & Janin 1975). Ce pliage a permis à Profatius d'inventer le «quadrant nouveau médiéval» qui est un instrument

universel (utilisable à toutes les latitudes) (Dutarte 2006, p. 214). Si, comme cela était admis, le quadrant astrolabique musulman est dérivé de l'invention de Profatius, c'était suite à des adaptations notables car ce sont deux instruments assez éloignés et ils sont respectivement : spécifique à une latitude et universel. Mais on sait maintenant que cette filiation est fautive : le quadrant astrolabique musulman est plus ancien et correspond à un type d'instrument issu de la science arabe. En effet, King (2014, p. 78) a mentionné la découverte, dans les années 70, à Istanbul, d'un manuscrit égyptien du XIIe qui décrit ce type de quadrant ! On notera que l'auteur anonyme de ce manuscrit ne revendique pas l'invention de l'instrument qui est donc probablement plus ancien encore.

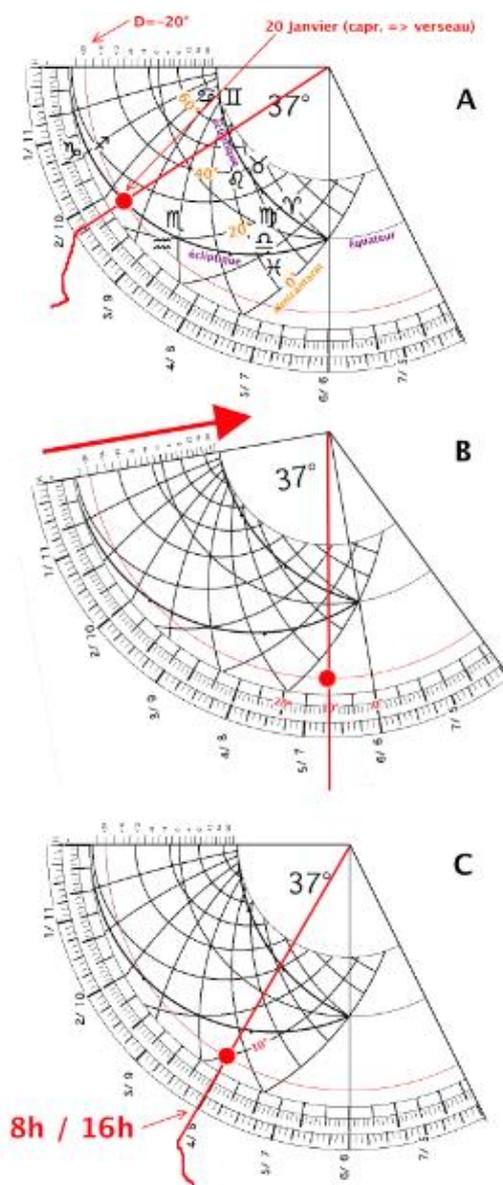
En conséquence, attribuer aux quadrants astrolabiques musulmans l'appellation de «quadrant de Profatius», comme le fait systématiquement la bibliographie anglo-saxonne, y compris très récente (Cowham 2014, site web du History Sciences Museum...), a probablement toujours été un peu abusif¹ car il ne s'agit pas du même instrument; la découverte du manuscrit du XIIe rend maintenant cette appellation complètement erronée.

III) DESCRIPTION ET MODE D'EMPLOI

Contrairement à l'astrolabe planisphérique, le quadrant astrolabique musulman ne bénéficie que d'une littérature de référence réduite et son mode d'emploi est difficilement accessible. Dans les lignes qui suivent je vais essayer de le décrire rapidement et de montrer, à l'aide d'un exemple, comment établir l'heure égale de l'instant de l'observation (fig. 2).

La comparaison entre les figures 1-4 et 2 - A permet de repérer sur cette dernière l'écliptique avec son calendrier du zodiaque (6 signes sur chaque branche). On reconnaît également les almicantarats numérotés de 0° à 60° et, perpendiculairement, le réseau d'azimut (non numéroté). En position périphérique sur le rayon supérieur, on note une échelle de déclinaison ; le 0° correspond à l'équateur. Le limbe accueille un nombre varié d'échelles, trois dans le cas illustré.

Fig. 2 : Exemple, pour le 20 Janvier et une hauteur du soleil de 10°, de la détermination de l'heure (explication: voir texte). ►



¹ King (2014), p. 227 en arrive à la même conclusion tout en étant plus sévère. Selon lui, cette erreur daterait d'un texte de F. Maddison de 1957 et elle aurait ensuite été reprise systématiquement par les auteurs modernes anglo-saxons. Ajoutons que Rohr et Janin (1975) commettent la même erreur.

De l'extérieur vers l'intérieur :

- (1) une échelle horaire divisée selon les conventions actuelles. Du fait du piage, cette échelle est commune au matin et à l'après-midi
- (2) une échelle en degrés,
- (3) une échelle horaire divisée en secteur de 20 minutes selon l'ancienne habitude musulmane. Cette échelle est surtout utile pour comparer avec les instruments originaux qui la possèdent tous.

Nous allons envisager la détermination de l'heure avec cet instrument en prenant l'exemple d'un 20 Janvier, en fin d'après-midi. La première étape consiste à régler, à la date du jour, la position de la perle qui est mobile sur la cordelette fixée au centre de l'astrolabe planisphérique virtuel (point de convergence des rayons). Pour ce faire, il y a deux méthodes (fig. 2-A) :

- (1) soit utiliser l'échelle de déclinaison si l'on connaît la déclinaison de jour (-20°),
- (2) soit utiliser le calendrier zodiacal de l'écliptique (passage Capricorne / Verseau).

Ce réglage serait le même pour le 21 Novembre. Puis on mesure la hauteur du soleil en orientant l'instrument vers le Soleil, et en l'inclinant de façon à ce que l'ombre d'une des pinnules touche la seconde (fig. 2-B). La cordelette lestée par un plomb, fonctionne alors en fil à plomb et permet de lire la hauteur recherchée sur l'échelle des degrés.

Puis enfin, en tenant la cordelette tendue, on cherche la position telle que la perle soit positionnée sur l'almicantarats correspondant à la hauteur (fig. 2-C). La lecture de l'heure se fait alors directement sur l'échelle horaire. Le choix final dépend, bien sur, du fait que l'on soit le matin ou l'après-midi.

IV) REPRESENTATION DES PRIERES

La connaissance de l'heure n'était pas la préoccupation première des gnomonistes musulmans, il s'agissait avant tout de connaître les instants bornant les périodes favorables aux prières. Ces instants sont rappelés dans la figure 3 extraite de Mercier (2015) auquel on se référera pour une présentation plus complète.

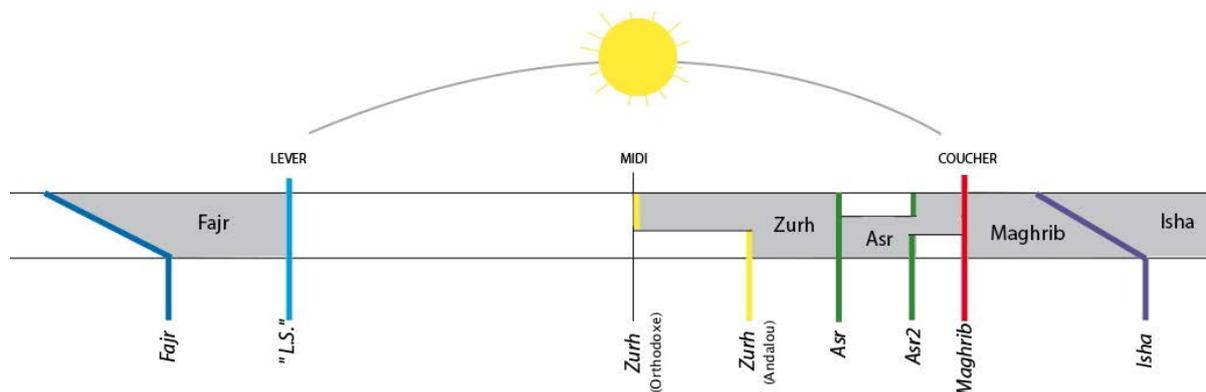


Fig 3: Les prières de l'Islam (d'après Mercier 2015) ; les couleurs des moments de début et fin seront homogènes dans tout l'article, aux superpositions dues aux pliages près. Le début et la fin de certaines prières fluctuent fortement selon l'époque et l'endroit considérés.

De façon à établir quelles conventions ont été utilisées par les facteurs de quadrants astrolabiques musulmans au cours des siècles passés, j'ai réalisé un logiciel qui dessine le quadrant lui-même et les différentes options de tracé des courbes de prières (fig. 4) ; on y observe donc :

- (1) le Zuhr orthodoxe : non différencié mais qui correspond à la ligne horaire de 12h ;
- (2) le Zuhr andalou ;
- (3) le Zuhr calculé tel que Janin (1977) a cru le reconnaître sur certains instruments tunisien. Dans l'article précédent (Mercier 2015), j'ai montré que cette proposition était erronée, je n'ai conservé le dessin ici que par souci d'homogénéité
- (4) & (5) Asr et Asr2 (Asr second) ;
- (6) le Lever du Soleil et Maghrib confondus avec l'almicantarat 0° ;
- (7) Isha et Fajr qui devraient correspondre à un (ou deux) almicantarat(s) négatif(s) (dans la représentation choisie ici : almicantarat unique à -18° ; fig. 4). En fait cette représentation n'est jamais retenue par les facteurs de quadrants astrolabiques musulmans. En effet, plutôt que de représenter l'instant de Fajr et d'Isha, c'est la durée des intervalles Fajr/Lever du Soleil et Maghrib/Isha qui sont indiquées. Ces intervalles sont matérialisés par la distance entre la ligne horaire 6 h et des courbes spécifiques (voir fig. 4).

Une autre solution, qui consiste à dessiner ces courbes spécifiques de façon à ce que les intervalles soit matérialisés par rapport à la ligne horaire 12 h, peut être retenue. Cette seconde solution, très fréquente sur les quadrants ottomans tardifs, ne semble pas avoir été utilisée en occident musulman.

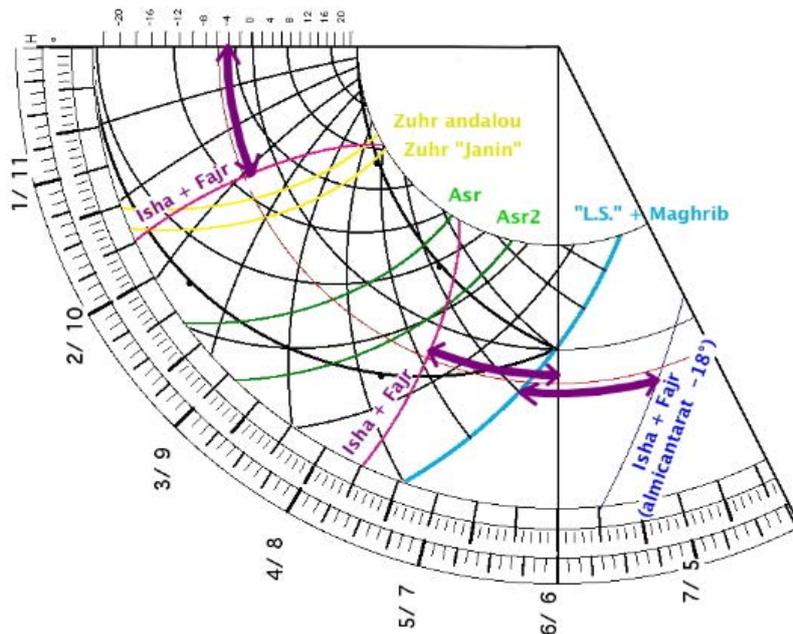
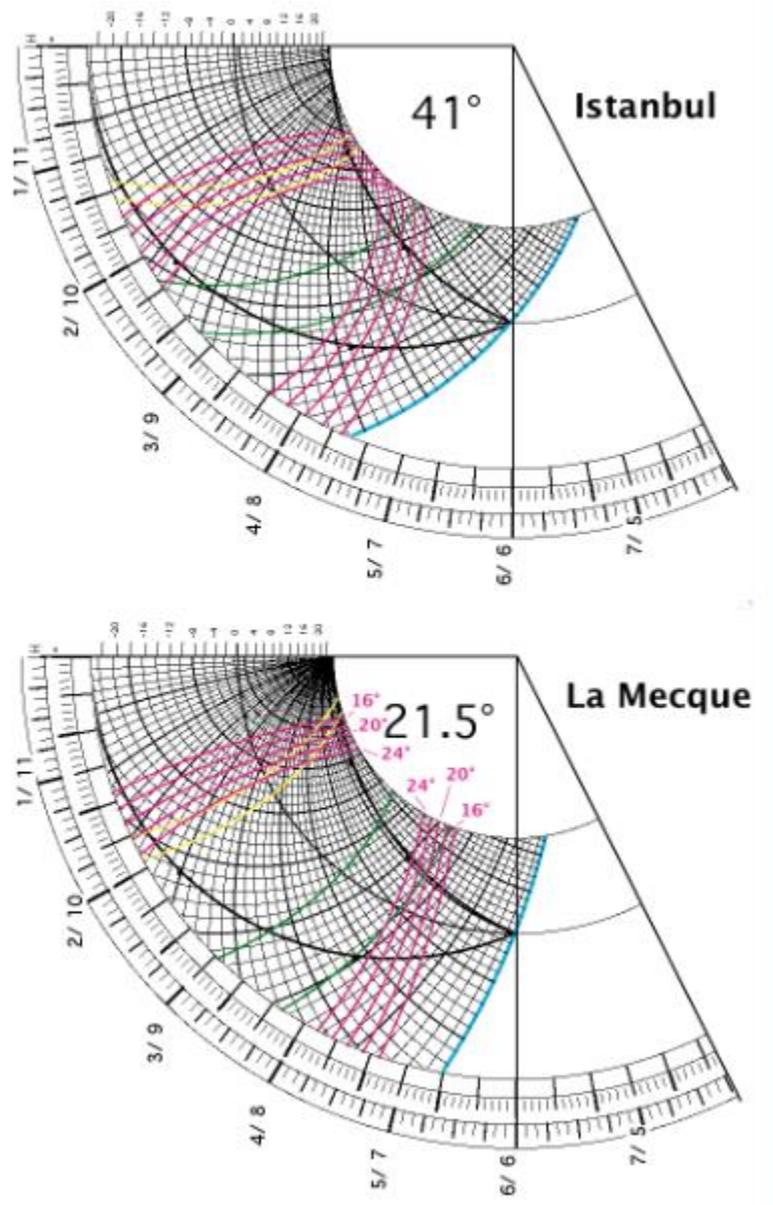


Fig. 4: Exemple pour la latitude de 37° (Tunis) des différents tracés possibles des courbes de prières.

Pour déterminer les conventions utilisées par les facteurs des quadrants astrolabiques musulmans historiques, je vais comparer le dessin obtenu par modélisation avec l'image des instruments originaux. Pour réaliser la modélisation il faut connaître la latitude choisie pour l'instrument. Cette latitude influence beaucoup le dessin des courbes de prières (fig. 5). Comme cela a déjà été signalé, il est facile de déterminer la latitude pour laquelle l'instrument

a été conçu, il s'agit du complémentaire de l'almicantarats qui intercepte l'échelle de déclinaison à 0°.

Fig.5 : Modèles de quadrant pour Istanbul et La Mecque. On remarque que, selon la latitude, les tracés de prières (en couleur) interceptent les autres lignes (tropiques, équateur, écliptique) à des endroits très différents.



V) LES PRIERES SUR LES QUADRANTS ETUDIÉS

Il n'y a que peu de quadrants astrolabiques musulmans issus de l'occident musulman qui soient conservés dans les collections publiques ou privées. Le premier quadrant que je vais étudier ici est celui de la Bibliothèque Nationale de France (Paris) (Janin, 1977). C'est un instrument non daté et non signé, de facture relativement récente (dixit Janin 1977) et conçu pour Tunis. Il apparaît comme assez mal réalisé ; on note notamment que la déclinaison 0° ne

correspond pas à l'équateur (fig. 6). Autres imperfections : le Zuhr andalou est représenté par une droite² et Asr est dessiné avec presque un 1/4 d'heure de retard.

En ce qui concerne les prières de la nuit (Isha et Fajr) elles sont représentées par deux courbes respectivement à -16° et -18° .

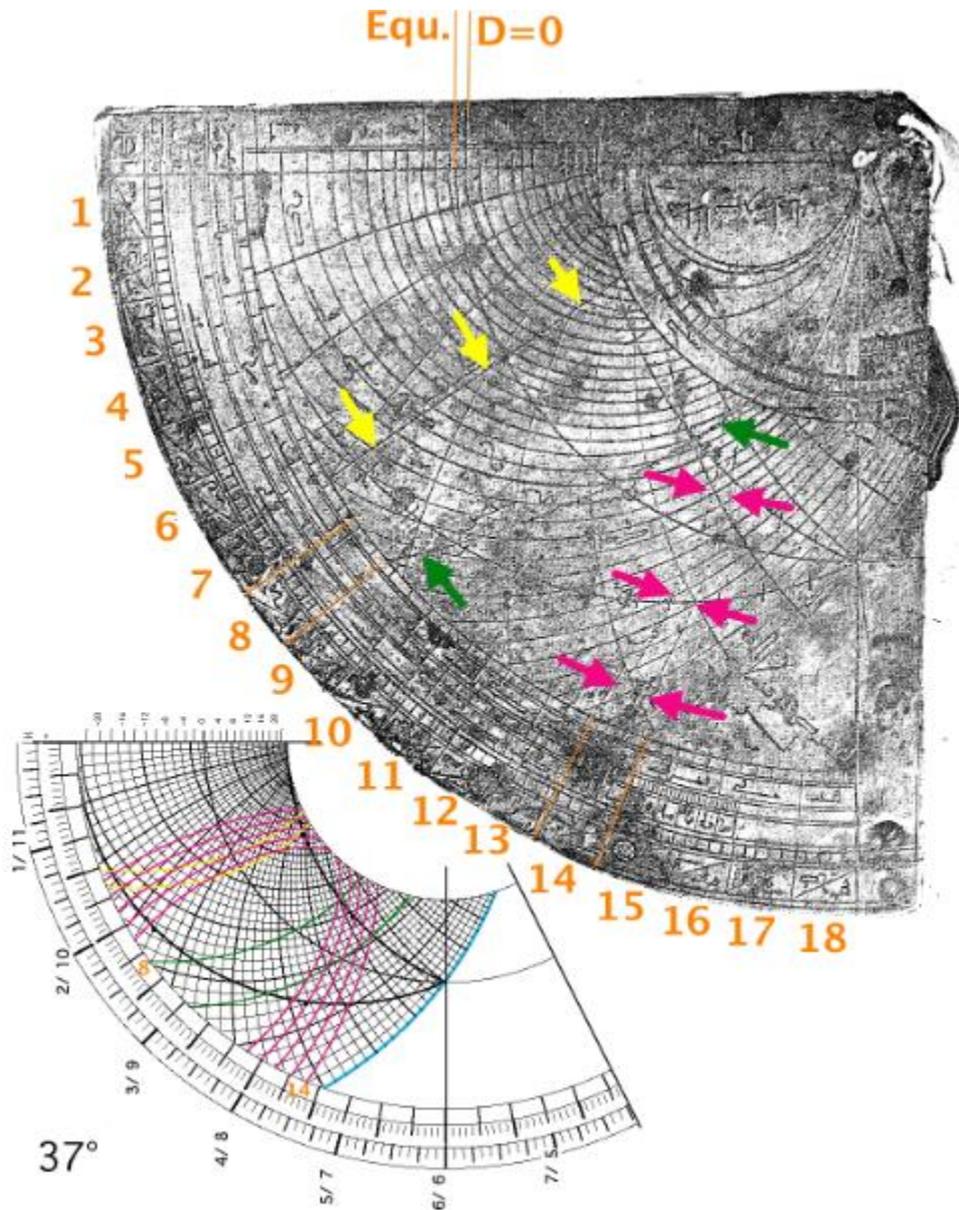


Fig.6 : Comparaison entre le quadrant de la BNF (Janin 1977) et le résultat de la modélisation.

Il existe au moins trois autres quadrants réalisés pour Tunis (fig. 7). Aucun d'entre eux ne présente de courbe de Zuhr, alors que Asr est à chaque fois mentionné. Les prières de la

² Je ne vois absolument pas comment Janin (1977) a pu tirer argument de cette droite sur cet instrument particulier, pour conclure que Zuhr était, en Tunisie, calculé selon la règle : (ombre = Hm + 0,33 G) plutôt que par la règle classique : (ombre = Hm + 0,25 G) ; voir Mercier (2015).

nuits (Isha et Fajr) sont absentes une fois (Fig. 7, B), une fois avec les mêmes valeurs qu'à la *bnf* (Fig. 7, C) et une fois avec des valeurs plus importantes (-18° et -20°; Fig. 7, A).

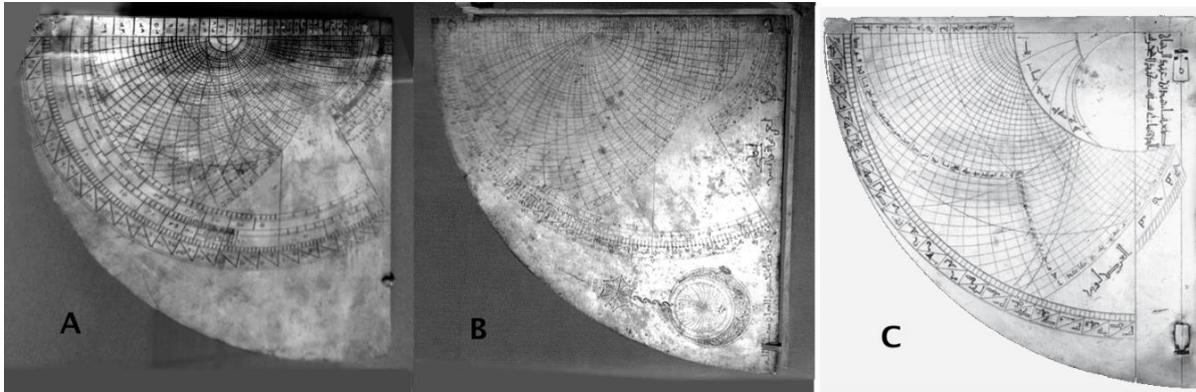


Fig. 7 : Autres quadrants calculés pour Tunis: A, en exposition au Musée du Bardo (Tunis) XIXème ; B, Musée du Bardo (Tunis) 1852 (Souissi & Chapoutot 1995, p. 51) ; C, Musée archéologique national de Madrid 1450 (King 2014 p. 78).

J'ai repéré, dans la bibliographie, trois autres quadrants maghrébo-andalous, venant tous du Maroc (Fig. 8). Sur ces instruments le *zuhr* andalou est indiqué, ainsi que *Asr* et les prières de la nuit. Pour ces dernières les conventions sont variées (voir tableau de la Fig 9 qui synthétise l'ensemble des quadrants maghrébo-andalous analysés).

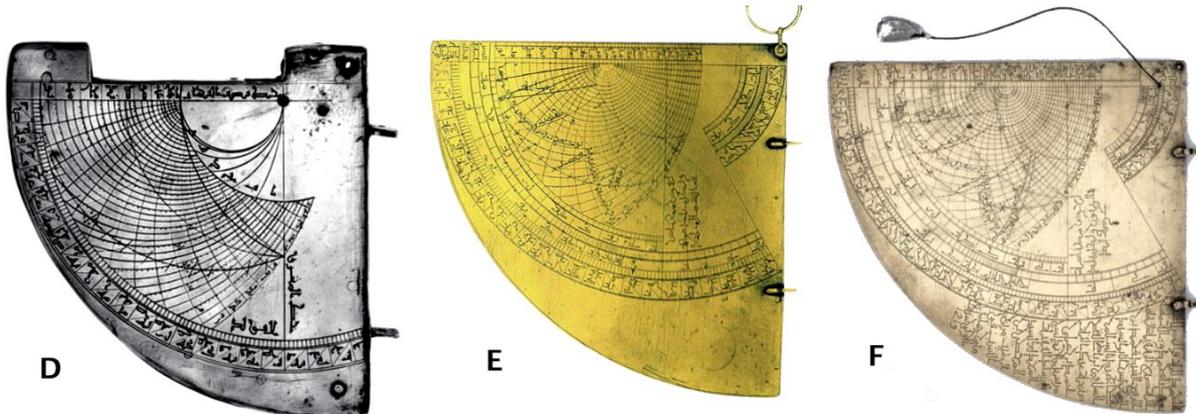


Fig. 8: Quadrants marocains: D : collection privée, XVIe (King 2014 p. 232); E : Institut du Monde Arabe XVIIème (Dutarte 2006); F : Musée d'Histoire des Sciences Oxford 1804 (site web; remarque : actuellement le fil plombé n'est pas implanté au bon endroit).

VI) DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Lors des recherches préliminaires à cet article, je n'ai trouvé une illustration exploitable que pour 27 quadrants islamiques. Environ 50% sont des instruments tardifs (XIX, XXe) en bois et papier d'origine ottomane, 25% sont orientaux (Syrie, Perse ...) et donc le reste

maghrébo-andalous. Il s’agit en fait d’instruments rares et toujours très largement minoritaires dans les grandes collections d’astrolabes musulmans (Musées d’Oxford, Greenwich...). Contrairement à ce qu’affirment certains auteurs, et vu leur rareté, il est très peu probable que ces instruments aient remplacé les astrolabes planisphériques dès le XVIe dans le monde arabo-musulman.

	Lieu de conservation	réf. Biblio.	Origine	Date	latitude	Zuhr and.	Asr	Asr2	Ishaa	Fajr	remarque
Fig. 6	Bibliothèque Nationale de France	Janin (1977)	Tunis	19 ème ?	37°	X sous forme de droite	retard ±1/4 heure)		16° / 6h	18° / 6h	
Fig. 7A	Musée du Bardo	(en exposition)	Tunis	19 ème	37°		X		18° / 6h	20° / 6h	
Fig. 7B	Musée du Bardo	Annabi et al (1995) p. 71	Tunis	1852	37°		X				
Fig. 7C	Musée archéologique National Madrid	King (2014) p.78	Tunis	1450	37°		X		16° / 6h	18° / 6h	
Fig. 8D	Coll. Privée	King (2014) p.232	Meknès	16ème	34°	X (mal tracé)	X		18° / 6h	18° / 6h	Gravure des courbes de prières très discrète (tardive ?)
Fig. 8E	IMA paris	Dutarte (2006) p. 214	Maroc	17ème	33°	X	X		16° / 6h	16° / 6h	
Fig. 8F	MHS Oxford	site web	Meknès	1804	33°	X	X		16° / 6h	18° / 6h	

Fig. 9 : Références et représentation des prières sur les 7 quadrants étudiés.

En ce qui concerne les prières sur les quadrants issus de l’occident musulman, on note (fig. 9) une forte hétérogénéité :

- zuhr andalou n’est représenté que sur environ la moitié des instruments alors que Asr est présent sur tous ;
- les prières de la nuit sont dessinées avec des hauteurs angulaires très variables et surtout souvent différentes entre Isha et Fajr ;
- Asr2 est toujours absent, ainsi que les prières non canoniques spécifiques à l’occident musulman (duha et tahib). En fait, seuls deux de ces instruments (Fig. 8E et 8F) présentent une courbe supplémentaire qui correspond à la durée d’une heure temporaire³.

Si l’on compare les caractéristiques des prières selon les trois sources archéologiques dont on dispose (fig. 10), on constate des fortes différences. En dépit du fait que les aires géographiques, les époques, la taille des échantillons, et la précision des données⁴ ne soient pas identiques, on a le sentiment d’être en face de plusieurs traditions différentes. Le contraste entre les astrolabes planisphériques et les deux autres instruments est particulièrement marqué. Qu’est-ce que cela signifie-t-il ? L’hypothèse la plus évidente est de supposer que ces 3

3 Pour mémoire, signalons que les instruments ottomans, en bois et plus tardifs, verront se développer une profusion de courbes supplémentaires (voir par exemple Rohr et Janin 1975).

4 Par exemple, la valeur des angles des prières de la nuit est déterminable avec une précision faible sur les cadrans solaires à cause des aberrations géométriques en bordure des photos, alors que sur les astrolabes et les quadrants, la précision est relativement satisfaisante.

types d'instruments étaient calculés par des «corporations» différentes ayant chacune leurs traditions religieuses et scientifiques.

Cela reste bien sûr à étudier et à éventuellement confirmer.

	Cadrams solaires	Astrolabes planisphériques	Quadrants astrolabiques
	Tunisie	Occident musulman	Occident musulman
	XI-XIX	XI-XIX	XV-XIX
Duha , Tahib	<i>rare</i>		
Zuhr andalou	<i>présence variable</i>	<i>systématique</i>	<i>présence variable</i>
Asr2	<i>au XVII</i>	<i>au XI</i>	
Isha	<i>angle variable</i>	<i>-18°</i>	<i>-16° à -18°</i>
Fajr	<i>angle variable</i>	<i>-18°</i>	<i>-16° à -20°</i>
angles Isha et Fajr	<i>parfois différents</i>	<i>toujours égaux</i>	<i>souvent différents</i>

Fig.10 Comparaison des prières et de leurs caractéristiques selon les 3 types d'instruments étudiés du point de vu des heures de prières.

Références bibliographiques

- ° Cowham M. (2014): A study of the Quadrant, 65 p. publication à compte d'auteur.
- ° Dutarte (2006) : Les instruments de l'astronomie ancienne, Vuibert edt. 293 p.
- ° Janin L. (1977) : Quelques aspects récents de la gnomonique tunisienne ; Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°24, 1977. pp. 207-221.
- ° Mercier E. (2015) : Les heures de prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous. Cadran-infos n° 32, p. 77 – 88.
- ° King D.A. (2014): In synchrony with the heavens , volume 2 Brill edt, 1066 p.
- ° Rohr R.R.J. & Janin L. (1975): Deux astrolabes-quadrants turcs. Centaurus, 19 : 108 – 124.
- ° Souissi M. Chapoutot M.: (1995), «Les mathématiques et l'Astronomie entre Ifriqiya et Maghreb», Itinéraire du savoir en Tunisie, Les temps forts de l'Histoire tunisienne, coordonné par H. Annabi, M. Chapoutot et S. Kamarti, Paris, p.64 – 71.



Les heures de prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous.

Dans son article publié dans Cadran Info n° 32, Eric Mercier mentionnait page 81, « une base de données (BDD) en annexe et détaillant, outre les caractéristiques pertinentes des instruments et des tympanes, les heures de prières représentées et les paramètres de calcul déduits grâce à la méthode proposée». Oublié d'être jointe dans Cadran Info n°32 (version numérique), vous trouverez cette BDD dans l'annexe de ce présent numéro.

⇒  **Dans la version numérique, en annexe :** ° Fichier : "BDD_annexe 1 CI 32.pdf" correspondant à l'article *Les heures de prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous*.



Le R.P Mermet et les cadrans solaires

Jean Rieu

La vie religieuse du R. P. Mermet est relativement bien connue, mais son intérêt pour l'Astronomie et les cadrans solaires est souvent ignoré. C'est à partir d'un travail de recherche sur les cadrans inventés par l'abbé Guyoux (1793-1869), curé de Montmerle-sur-Saône pendant près de quarante ans, que des cadrans dont on ignorait l'origine ont pu être attribués au R. P. Mermet.

Deux éléments sont venus conforter cette hypothèse : la découverte d'un cadran et de documents à Saint-Germain-Laval (42260) et celle, au musée de l'institution Saint-Thomas d'Aquin, à Oullins (69600), d'un cadran de l'abbé Guyoux modifié très probablement par le R. P. Mermet.

Ces informations ont permis de mieux comprendre comment ce dernier avait procédé pour réaliser des cadrans que l'on retrouve en des lieux qui lui étaient familiers.

Brève histoire du R. P. Mermet (1812-1882)

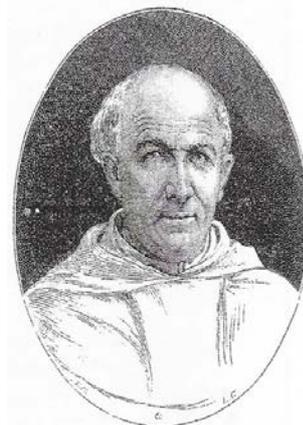
Pierre, Alexandre, (Dominique, en religion) Mermet était né le 2 avril 1812 à la Courrierie de l'ancienne Chartreuse de Silve- Bénite, à Oyeu (38690), près du lac Paladru. Il fut encouragé à entrer dans la vie religieuse par ses oncles, tous deux prêtres : l'un curé de Virieu et l'autre supérieur du séminaire de La Côte Saint-André, dans l'Isère. Il y fut d'ailleurs confirmé en juillet 1827 et il y commença ses études.

A cette époque, des mouvements dans l'Eglise attiraient des jeunes gens vers Lamennais (Hugues, Félicité, Robert de Lamennais, né à Saint-Malo en 1782) qui, au manoir de la Chesnaie, à Plesder (35720), près de Dinan, voulait libérer l'Eglise des doctrines gallicanes. Partisan d'un catholicisme libéral et social, Lamennais quitta ses fonctions ecclésiastiques en 1833 pour se consacrer à la vie politique jusqu'à sa mort, à Paris, en 1854.

A la Chesnay, Pierre Mermet avait rencontré le P. Lacordaire (1802-1861) et c'est certainement sous l'influence de ce dernier qui pensait que « la parole d'un prédicateur n'est que d'un jour, celle d'un instituteur est celle de tous les jours et de toutes les heures », que la vocation d'enseignant de Pierre Mermet s'est forgée.

Il se retrouva donc en Bretagne de 1832 à 1839. Il y fut professeur à Malestroit, à Ploërmel et à Dinan avant de rejoindre le grand séminaire de Rennes pour y être ordonné diacre en 1840, juste avant de retourner dans sa région natale. Il fut ordonné prêtre à Lyon, le 19 décembre 1840, à l'âge de 28 ans.

A Oullins, l'école Saint-Thomas d'Aquin dirigée par l'abbé Dauphin existait depuis 1833.



Le P. Mermet
(communication N. Sénéclauze)

A partir de 1840 et pendant dix ans, Pierre Mermet y fut un excellent professeur de mathématiques et de physique.

C'est en 1850 que la loi Falloux autorisant l'enseignement catholique secondaire a marqué le départ d'une nouvelle aventure. Dès 1852, le P. Lacordaire et l'abbé Dauphin décrètent que le collège d'Oullins doit passer aux mains du tiers Ordre enseignant des Dominicains créé à cet effet. Le 24 octobre 1852, le P. Lacordaire recrute ses premiers disciples : les abbés Mermet, Cédor, Captier et le séminariste Mouton qui sont envoyés en noviciat au couvent d'études des Dominicains de Flavigny-sur-Ozerain, en Bourgogne.

Ensuite, le R. P. Mermet revient à Oullins pour diriger l'institution jusqu'aux événements de 1870 qui furent très douloureux pour lui et qui le marquèrent jusqu'à sa mort.

Le R. P. Mermet et les cadrans solaires.

Il fut un très bon enseignant de sciences. « Ses élèves et ses collègues habitués à voir les sciences mathématiques et physiques traitées avec une sorte de dédain s'étonnèrent de voir qu'on pouvait présenter d'une manière aussi intéressante des questions où l'imagination n'avait aucune part » (Lécuyer 1883).

Il n'est donc pas surprenant qu'il se soit intéressé aux questions de la mesure du temps et de la détermination de l'heure. Il faut rappeler qu'à cette époque, l'heure nationale n'existait pas. Chaque ville, chaque village avait sa propre heure. « Voir midi à sa porte » signifiait littéralement qu'il était midi lorsque le Soleil passait au méridien du lieu. Ainsi, la durée du matin était égale à celle de l'après-midi. L'heure était donnée par les cadrans solaires. Dans les villages et les institutions religieuses, les cadrans solaires donnaient l'heure solaire vraie locale.

Mais, pour accorder l'heure donnée par les horloges et celle donnée par le Soleil, il fallait apporter des corrections à l'heure solaire pour les faire coïncider. Ces corrections sont appelées « équation du temps ». Elles étaient connues depuis longtemps et mises sous la forme d'une courbe en huit (méridienne du temps moyen) par Grandjean de Fouchy, vers 1730. A chaque instant - en fait, pratiquement, chaque jour - correspond une correction dont l'amplitude peut varier jusqu'à environ un quart d'heure, en plus ou en moins.

Les cadrans solaires sur les façades sont les plus courants, mais ils ne permettent pas cette correction. Toutefois, certains comportent sur la ligne de midi une courbe en forme de huit qui réalise la correction seulement autour de midi.

C'est l'abbé Guyoux, curé de Montmerle sur-Saône, qui, vers 1825-30, eut l'idée de construire un cadran capable de faire cette correction à tout instant. À cette fin, il réalisa un cadran solaire équatorial sur lequel il installa un cadre mobile comportant une lentille destinée à focaliser l'image du Soleil sur une plaque portant la courbe de l'équation du temps. Au moyen de cet appareil, il devenait alors possible d'obtenir l'heure solaire moyenne du lieu à tout instant de la journée, et avec une précision de l'ordre de la minute.



CS de l'abbé Guyoux, château de Lachal (1831).

L'abbé Guyoux a construit une quarantaine de tels cadrans qu'il a installés dans des institutions religieuses et des riches propriétés, dans un rayon d'une cinquantaine de kms autour de Montmerle. Nous en avons découvert plus de trente et en avons fait restaurer quelques uns. Certains ont voyagé (Genève, Neuchâtel, Oxford), d'autres ont disparu.

Le cadran de l'abbé Guvoux daté de 1843 et trouvé au musée de l'institution Saint Thomas d'Aquin, à Oullins, laisse à penser que c'est le R. P. Mermet qui l'a modifié. Ce cadran signé Guyoux comporte une plaque bombée à la place de la plaque plane d'origine et sur laquelle se trouve la courbe de l'équation du temps. L'objectif de cette modification était d'obtenir en toute saison une image du Soleil plus nette qu'avec une plaque plane.

Il est donc probable que le R. P. Mermet ait connu l'abbé Guyoux - ou tout au moins ses cadrans -. En effet, l'abbé Guyoux faisait réaliser la pièce principale de ses cadrans - la couronne équatoriale de 450 ou 600 mm (suivant le modèle) - par une fonderie de cloches de bronze, à Lyon. Il faisait aussi imprimer les notices de ses cadrans par une imprimerie de Lyon. Il fréquentait le curé d'Ars et Marcellin Champagnat, fondateur des frères maristes. Pour toutes ces raisons, le R. P. Mermet devait connaître l'abbé Guyoux et l'originalité de ses travaux.

De plus, un ingénieur parisien, P. Fléchet, qui avait connaissance des travaux de Guyoux, avait pris des brevets en 1861 sur des améliorations des cadrans Guyoux

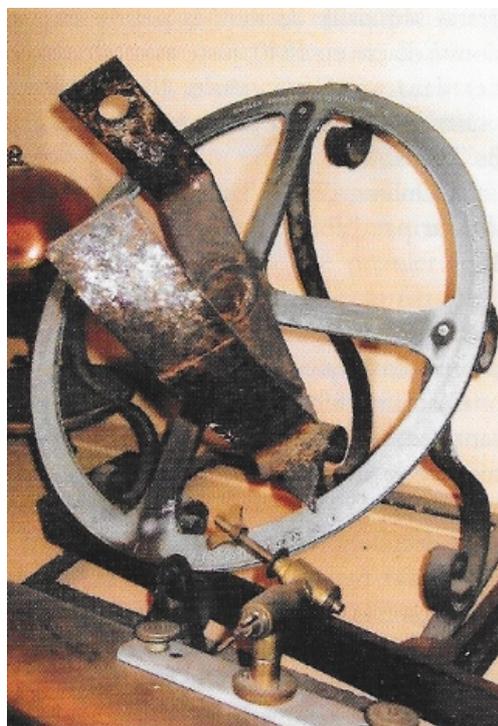
(sans même citer l'inventeur initial). L'un des objets de ce perfectionnement consistait précisément à remplacer la plaque plane de la courbe de l'équation du temps par une plaque bombée. Il s'agit donc de la même idée que celle que le R. P. Mermet avait essayée sur le cadran Guyoux, du musée d'Oullins.

On ignore si le R.P. Mermet et P. Fléchet se connaissaient. Toutefois, il est par fois question de brevets que le R. P. Mermet aurait déposés. Mais aucune trace n'en a été trouvée auprès de l'institut National de la Propriété Industrielle, entre 1791 et 1883. Il se peut donc que le R. P. Mermet ait bien fait une demande de brevets, mais que l'antériorité des brevets de Fléchet ne lui ait pas permis de les obtenir.

Les cadrans du R. P. Mermet

Par rapport aux cadrans de l'abbé Guyoux, ceux du R. P. Mermet sont d'une facture plus élaborée. La couronne est en bronze plus épais et graduée sur sa surface latérale, avec midi à la partie supérieure où se trouve un index qui peut être déplacé pour faire, en plus, la correction de longitude. La couronne porte d'un côté un bras, support d'une lentille inclinable et, en face, une plaque bombée avec la courbe de l'équation du temps. C'est tout cet ensemble solidaire qui peut tourner pour amener l'image du Soleil sur la courbe en huit, alors que sur les cadrans

Guyoux, la couronne est fixe et c'est le cadre qui comporte la lentille et la plaque de l'équation du temps qui



CS de l'abbé Guyoux modifié par le R.P. Mermet (Musée du lycée Saint Thomas d'Aquin, Oullins).



CS du R.P Mermet à Saint-Germain-Laval 1877.

seul, peut tourner.

Le premier cadran du R.P. Mermet qui fut découvert est celui de Saint-Germain-Laval. Grâce aux documents manuscrits conservés par ses propriétaires, il a été possible de connaître les relations entre le R. P. Mermet et Félix Thiollier, l'un de ses fidèles anciens élèves et propriétaire du château à cette époque. Dans ces lettres, il est question de plusieurs autres cadrans que le R.P. Mermet avait fait réaliser et qu'il se proposait d'installer.

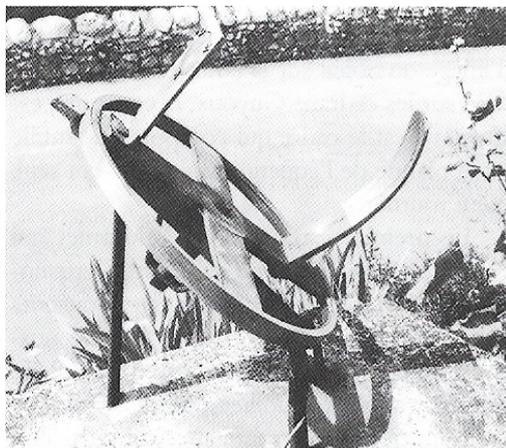
Il y en avait un autre à Voreppe, chez Monsieur Louis Christolhomme qui, peintre, caricaturiste et grand voyageur (1908-1996), l'avait sans doute trouvé dans le jardin de la cure du village et remis en état. Malheureusement, ce cadran a été volé le 23 juillet 1989.

Un autre cadran se trouve actuellement dans le jardin de la mairie au Pin (38730), un troisième à Châbons (38690). Il y en aurait un troisième aux alentours. Actuellement, ils ne sont pas sur leurs sites d'origine qui étaient les jardins des curés de l'époque. Ces jardins ont disparu et les cadrans ont été sauvés, soit par les municipalités, soit par des particuliers ou des Associations.

Bien qu'ils soient en assez bon état, aucun n'est pour l'instant correctement positionné, ni orienté. Nous avons proposé nos services pour les remettre en fonctionnement.

A Montagnieu (38110) en 1936, un hommage particulier a été rendu au R. P. Mermet par le père Bernard Kart (1875- 1950), avec l'aide de Monsieur Joseph Chevalier, qui a construit une composition gnomonique métallique composée d'une douzaine de cadrans solaires sur les faces et sur la table d'un prisme octogonal, surmontés d'un cadran de type Mermet. Cet hommage est inscrit sur la table de l'appareil : « Cadran solaire mobile du R. P. Mermet G. P., d'Oyeu ».

Malheureusement, cet ensemble exceptionnel est actuellement en assez mauvais état et mériterait une sauvegarde urgente, à défaut d'une restauration et d'une installation en un lieu un peu plus protégé.



CS du R.P. Mermet de Voreppe ; photo J et R. Mermet.



A gauche :
CS du R.P. Mermet
à Châbons.

A droite :
CS du père Bernard
Kart à Montagnieu.

Mais la chose la plus surprenante a été, grâce à Monsieur Pierre Labat Ségalen, gnomoniste de Brest, de découvrir récemment deux cadrans de type Mermet dans le Morbihan : l'un à Josselin (56120), l'autre sur l'île de Groix (56590). Monsieur Pierre Labat Ségalen a pu voir celui de Josselin, mais le second aurait, disparu.

Celui de Josselin se trouve dans la maison de retraite de la congrégation des frères Jean-Marie de Lamennais. Par rapport aux cadrans décrits précédemment, ce cadran possède la même couronne et la même ferronnerie, mais il ne comporte pas de lentille inclinable, remplacée par un simple œilleton, et sa plaque de l'équation du temps est plane. Pour l'instant, nous n'avons aucune indication sur la date de sa fabrication : soit avant, soit après celles des cadrans de Rhône-Alpes.

CS du R.P. Mermet à Josselin. ►



La première hypothèse est qu'il aurait été construit à l'époque où l'abbé Mermet était en Bretagne (1832-1840) et y enseignait déjà les mathématiques et

la physique. Ce cadran, inspiré de ceux de l'abbé Guvoux, mais plus simple que les autres (pas de lentille et plaque plane), pourrait être une première ébauche. Cette hypothèse ne nous satisfait pas totalement car la couronne est déjà de la facture complexe et élaborée des autres cadrans et a probablement été moulée et usinée à Lyon. De plus, le cadran ne semble pas être l'œuvre d'un jeune amateur de mécanique.

Nous pensons plutôt qu'il s'agit d'un modèle simplifié que le R. P. Mermet aurait pu offrir à ses amis bretons, après s'être rendu compte que le mécanisme de la lentille inclinable n'était pas indispensable (les anciens cadrans de Clavius et ceux du pasteur Hahn ne comportaient qu'un œilleton) et que la plaque bombée, difficile à réaliser, n'apportait pas au dispositif une précision supplémentaire sur la lecture de l'heure. Mais il se peut, aussi que le R. P. Mermet, ait transmis à l'un de ses élèves son goût pour l'astronomie et que les cadrans bretons aient été construits par son successeur. Il faudrait donc en savoir un peu plus sur les dates des cadrans de Josselin et de Groix et sur les relations du R. P. Mermet avec ses anciens collègues bretons pour pouvoir élucider la présence de tels cadrans en Bretagne.

Conclusion

Le R. P. Mermet a eu une vie bien remplie. Il a vécu cette période où l'Eglise a été secouée par des mouvements qui ont conduit à lui donner son aspect plus social et plus libéral. Il a vécu les débuts de l'enseignement secondaire catholique et sa vocation d'enseignant a trouvé pleinement l'occasion de se concrétiser.

Comme un certain nombre de religieux de cette époque, le R. P. Mermet s'est passionné pour les sciences, en général, et pour l'astronomie, en particulier. Il s'est intéressé à la mesure du temps et aux cadrans solaires ces instruments beaucoup plus simples et fiables que les horloges mécaniques.

Ses talents manuels (il pratiquait aussi la sculpture et la menuiserie) l'ont amené à

réaliser des cadrans solaires inspirés de ceux de l'abbé Guyoux dont l'invention a certainement fait faire un progrès considérable pour la conception des cadrans solaires capables de donner l'heure à la minute près. Dans la mesure où l'abbé Guyoux n'avait cherché ni à faire breveter, ni à publier largement sa découverte - il s'est contenté, à la demande du département de l'Ain, d'exposer son cadran à l'Exposition Nationale de 1839 -, seuls ceux qui le connaissaient ont reconnu l'intérêt de son invention.

Si P. Fléchet a cru bon de prendre des brevets sans mentionner Guyoux, d'autres comme l'abbé A. Berthiaud (1827-1909), curé de Péronnas, où le R. P. Mermet ont certainement bien connu l'abbé Guyoux : leurs cadrans sont une sorte d'hommage qu'ils lui ont rendu ; « Imitation is the sincerest way of flattery ».

Il doit exister encore d'autres cadrans du R. P. Mermet. Si des lecteurs en connaissent dans leur voisinage, merci d'en informer l'auteur de cet article. Et si des chercheurs qui s'intéresseraient à la vie du R.P. Mermet découvrent, à travers sa correspondance ou ses écrits, ou d'autres archives, des éléments qui expliqueraient pourquoi ses cadrans sont en chaque lieu, ils pourraient contribuer utilement à l'histoire des cadrans solaires.

Enfin, notre souhait est que l'on prenne conscience que les cadrans solaires de cette époque sont de véritables pièces du patrimoine qui présentent un très grand intérêt historique, scientifique et pédagogique. Il faut, à tout prix, les sauvegarder et, dans le meilleur des cas, les faire restaurer et fonctionner.

Dernière Minute :

° Un cadran Mermet vient d'être découvert dans la région de Saint-Chamond, dans une propriété qui fut celle de Jules Victor Ginot (1836-1916). Ce dernier fut président de la Société d'Agriculture, Industries, Sciences, Arts et Belles Lettres de la Loire.

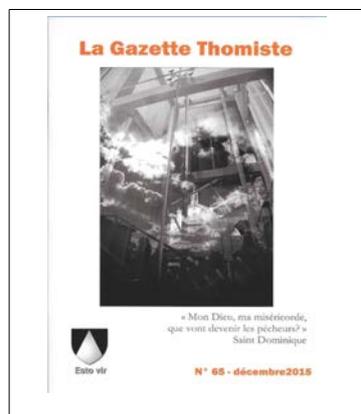
° La municipalité de Montagnieu a accepté le devis de l'association Iguerande pour la restauration du cadran du Père Kart. Paul Gagnaire et Jean Rieu conseilleront l'artisan qui réalisera le travail.

Remerciements :

Monsieur Philippe Blanc, directeur de l'institution Saint-Thomas d'Aquin, à Oullins.

Monsieur Paul Gagnaire, de la Société Astronomique de France.

Monsieur Pierre Labat Ségalen, Madame et Monsieur Noël Sénéclauze.



Cette article a été publié dans la « Gazette Thomiste n° 66 de décembre 2015.

Notre collègue et auteur, Jean Rieu Ingénieur Civil des Mines, Docteur ès-Sciences Professeur émérite des Ecoles des Mines, Société Astronomique de France ; a accepté sa remise en page et sa publication dans ce présent Cadran Info.





Décoration du cadran de Lindos

Denis Schneider

Approche sur la décoration du cadran canonial des Hospitaliers à Lindos sur l'île de Rhodes.

Karlheinz Schaldach a écrit un article très intéressant au sujet du cadran de Lindos sur l'île de Rhodes paru en mars 2015 dans le BSS Bulletin¹. Il lui revient le mérite d'avoir retrouvé dans les réserves de l'acropole de Lindos le cadran décrit par l'archéologue danois Kinch au début du XXe siècle comme étant gréco-romain et qu'avait dessiné sa femme (Ph.1).

En le retournant de 180°, K. Schaldach a compris qu'il s'agissait d'un cadran canonial (Ph.2).



▲ Photo 1 : la reproduction est inversée

◀ Photo 2 : Document pivoté de 180°

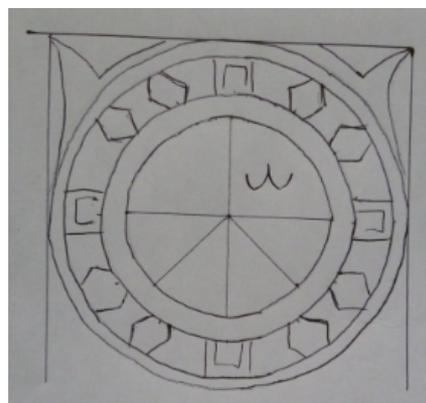
Après avoir été chassés de Jérusalem (1187), puis de Syrie (1291), puis de Chypre, les Hospitaliers conquièrent l'île de Rhodes en 1307 sous l'autorité du grand maître de l'Ordre Foulques de Villaret qui renforça les fortifications de l'île à Rhodes et à

Lindos, sur d'anciennes acropoles. En 1312, Foulques de Villaret reçoit l'adjudication des biens de l'Ordre du Temple.

Sa luxure et son despotisme firent que les chevaliers voulurent l'assassiner en 1317 ; il réussit à s'enfuir dans la forteresse de Lindos à 30 km au sud et dut démissionner en 1319.

¹ A medieval sundial from Lindos on the island of Rhodes par Karlheinz Schaldach dans *British Sundial Society Bulletin* n° 27(i) March 2015.

C'est probablement lui qui a fait sculpter ce cadran canonial richement décoré, seul grand maître à avoir séjourné à Lindos. La chapelle byzantine est du XIIIe siècle et donc antérieure à l'arrivée des chevaliers mais elle a été remaniée pour devenir la chapelle Saint-Jean-Baptiste qui jouxte le château des chevaliers. On ne connaît pas de cadran canonial byzantin à quatre secteurs ; leur origine est latine.



Reste l'interprétation symbolique de la décoration dans l'anneau qui l'entoure (Ph.3) : douze dents, quatre carrées au bout des diamètres vertical et horizontal et huit ressemblant à des losanges arrondis. Croix des chevaliers mêlée aux huit béatitudes christiques ?

Mes tentatives auprès d'une spécialiste italienne sont restées pour l'instant sans réponse.



Wikipedia...et la gnomonique.

Notre Président me transférait en juillet dernier un mail de William Ellison, ressortissant britannique vivant en Gironde et s'intéressant à la décoration des églises romanes de l'Entre-Deux-Mers. Il avait croisé à cette occasion ce qu'il apprit être un cadran canonial demandant l'accès à leur inventaire. Je lui fournissais la liste des canoniaux girondins qu'il compléta quelque peu. Il me joignit le lien pour lire son article sur « cadran canonial » dans Wikipedia. Celui-ci n'était pas sans reproche.

J'en profitais pour regarder « Cadran solaire » dans Wikipedia ; dans la typologie, les cadrans canoniaux ne figuraient pas !...et bien des types de cadrans solaires ne faisaient l'objet d'aucune explication. Par contre en allant en bas de l'article, à « Catégorie : Cadran solaire », je retombais sur l'article de W. Ellison à propos des canoniaux ! Lors de notre entretien téléphonique où il admettait qu'il convenait de modifier nombre de points, il me signalait qu'il avait mis sur Wikimedia Commons* les 117 canoniaux qu'il avait photographiés en Gironde. Ce département est très riche puisque nous en connaissons 157 répartis sur 77 églises...

Sûr que la Gironde sera passée au peigne fin car J-B. Faivre, architecte, en est l'autre chasseur.

D.Schneider

* <http://www.webastro.net/forum/showthread.php?t=32317>





Encore Saint Julien

Michel Ugon

Pas de remise en cause des résultats des études précédentes parues dans les Cadran Info N° 19 et 32, mais corrections de quelques erreurs dans l'analyse. A remplacer la liste comportant les signes du cadran M1 et les tableaux avec les signes astrologiques ainsi que le paragraphe d'analyse de M5.

Rassurez vous, je ne vais pas remettre en cause les résultats des études précédentes faites avec Paul Gagnaire et parues dans les Cadran Info N° 19 et 32, mais comme le dit notre Président, Philippe Sauvageot : "c'est l'avancement normal de tout chercheur que de rebondir sans cesse", aussi je me dois de corriger certains paragraphes notamment celui de M5 car je me suis aperçu de quelques erreurs dans l'analyse de ce cadran astrologique d'ascendants en étudiant une autre table de la même époque.

Sans vouloir me disculper, je voudrai rappeler que Denis Savoie¹ disait que "le destinataire de ces cadrans devait être en mesure d'apprécier certaines subtilités gnomoniques autres que la simple indication du temps solaire". Ainsi je demanderai au lecteur averti de bien vouloir remplacer les tableaux avec les signes astrologiques ainsi que le paragraphe d'analyse de M5 par celui ci-après. En effet, nous utilisons maintenant l'insertion de caractères spéciaux au lieu d'une police dépassée (la partie modifiée est soulignée par une barre verticale):

"rebondir sans cesse" Philippe Sauvageot

Pour le cadran M1 et ses maisons astrologiques, il n'y a rien de changé excepté la liste comportant les signes :

Cancer – Cancer(♋)

Lion-(♌) – Gémeaux(♊)

Vierge(♍) – Taureau(♉)

Balance(♎) – Bélier(♈)

Scorpion (♏)– Poisson(♓)

Sagittaire(♐) – Verseau(♑)

Capricorne – Capricorne (♑)très allongé)

¹ Denis Savoie ; Entre autre : Ancien Président de la Commission des Cadres Solaires de la SAF, auteur de "La Gnomonique moderne" Edition SAF et "La Gnomonique" Edition Les Belles Lettres.

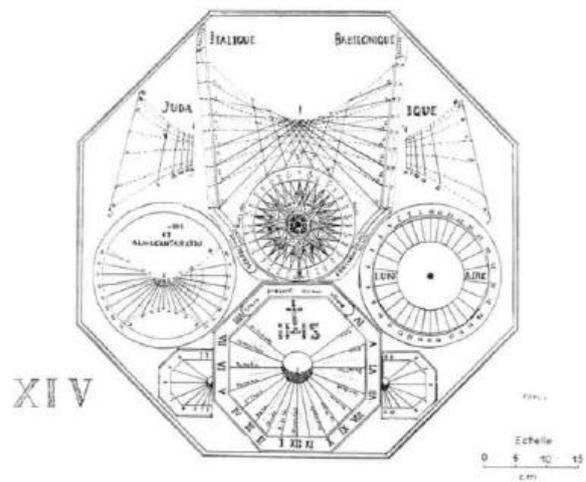
Nouvelle analyse de M5 :

Nous croyions au début qu'il s'agissait d'un cadran d'heures sidérales comportant deux séries de 6 courbes qui sont naturellement tangentes aux arcs diurnes des solstices.

Ce cadran aurait permis de connaître la position des astres confirmant la vocation astrologique de l'ensemble. Il n'existe en France, à notre connaissance, qu'un autre cadran d'heures sidérales au Lycée Louis-le-Grand à Paris. On peut noter ici qu'un tel cadran n'apparaît pas sur la table gnomonique du château de Rosanbo en Lanvellec en Bretagne, table datée 1744, qui ressemble beaucoup à celle de St Julien et dont on ne possède plus que le cliché et le croquis ci-dessous car elle a été volée en 1988. Cette table de Rosanbo est un octogone en schiste de 70 cm de diamètre. Elle possède aussi plusieurs cadrans : un italique, un babylonique, un judaïque, un correcteur lunaire, un cadran d'heures temporaires, un de hauteur et d'azimut, ainsi qu'une rose des vents.



La table du Château de Rosanbo
(photo : JP Cornec).



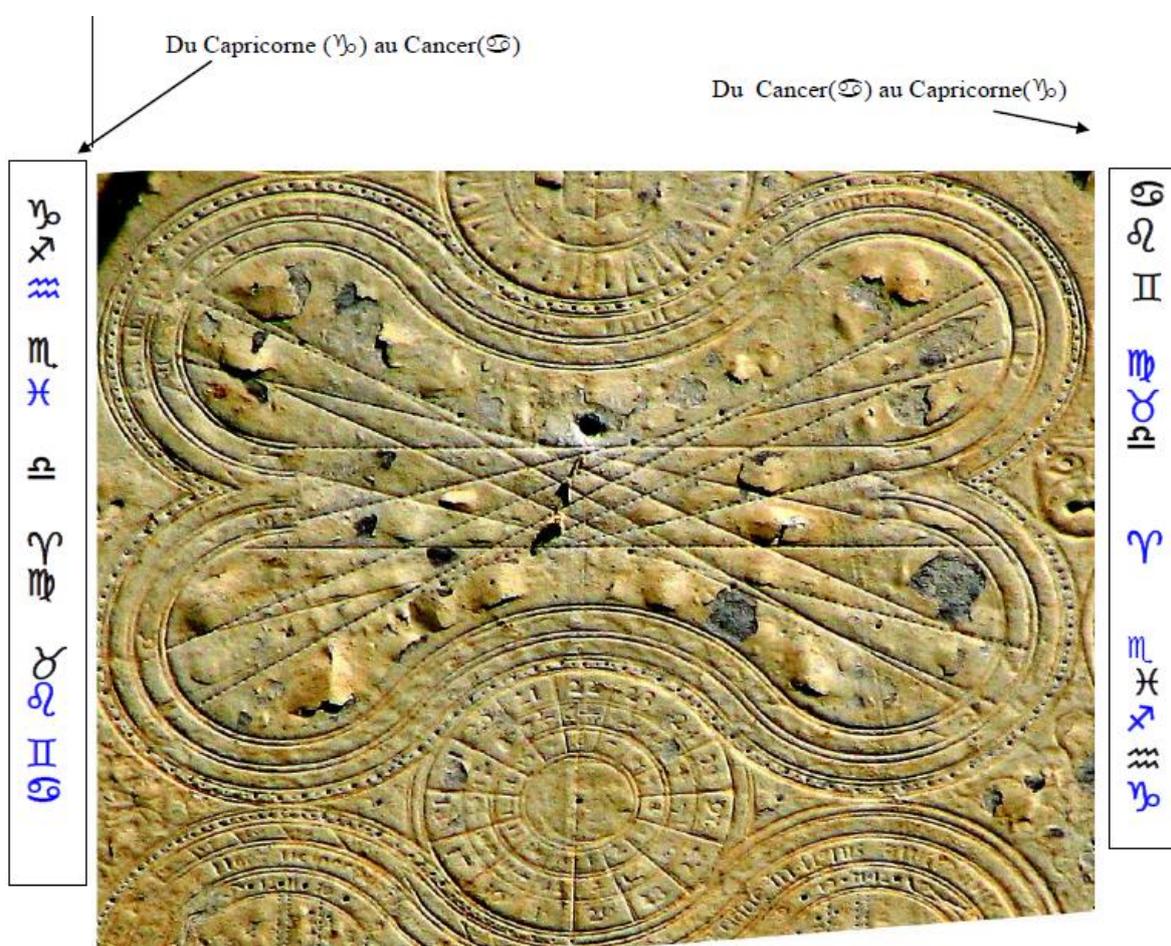
Denis Savoie a beaucoup travaillé sur les cadrans astrologiques et nous a orienté vers un cadran astrologique d'ascendants. (Voir son article « Lignes d'ascendant, maisons célestes et heures planétaires en gnomonique » Cadran Info n° 17.) On remarque d'abord les deux lignes parallèles du Bélier et de la Balance, puis de chaque côté les lignes d'ascendants à pente croissante jusqu'au solstice supérieur puis à pente décroissante. L'ordre des signes est celui du zodiaque. Dans la bordure du lobe inférieur gauche on voit le signe de la Vierge, puis on devine celui du Bélier, et la troisième ligne se termine sur le signe du Taureau. La quatrième semble marquée par le signe du Lion et la cinquième par le signe des Gémeaux.

Dans le lobe supérieur gauche, on devine de haut en bas ce qui pourrait être les signes du Capricorne, du Sagittaire, du Verseau, du Scorpion puis des Poissons.

A l'analyse, il s'est donc confirmé qu'il s'agissait bien d'un cadran astrologique d'ascendants. Dans les bordures, je suis arrivé à reconstituer les signes zodiacaux classiques aux extrémités des lignes d'ascendants. Sur le cliché ci-après j'ai indiqué latéralement et dans le prolongement de chaque ligne, les signes reconstitués qui figurent dans la bordure intérieure à l'aide des caractères spéciaux de type "wingdings".

Comme le disait Denis Savoie "Il existe de fait très peu de cadrans solaires où sont portées ces indications astrologiques... et on doit donc s'attendre à ce que le nombre de praticiens qui maîtrisaient la réalisation de telles indications soit aussi très restreint". Cette remarque est toujours valable car nous cherchons encore aujourd'hui l'auteur d'une telle merveille et nous hésitons entre deux moines minimes qui sont passés à l'abbaye de Pourrières, à moins que ce ne soit une œuvre collective. Ce cadran M5 est subdivisé en deux parties afin de mieux distinguer les lignes d'ascendant allant du solstice d'hiver à celui d'été puis celles allant en sens inverse. Ici, il s'agit encore d'un cadran horizontal ou l'on a tracé toutes les lignes sur le même cadran. En noir apparaissent les signes de la période considérée, et en bleu ceux de l'autre période qui peuvent être lus dans la bordure opposée.

Il est donc clair que la lecture de ce cadran demandait une certaine maîtrise, notamment pour éviter une erreur de ligne.



Dimensions de M5 avec bordures: hauteur env 22cm ; largeur env 35cm
(d'après dessin de C. Arnaud).

J'ai tout d'abord agrandi la partie centrale de ce cadran en redressant la perspective de façon à obtenir un angle presque droit entre la médiane et les deux lignes parallèles.

Ensuite, j'ai calculé la position théorique des point Q et W, (Q : intersection équatoriale-médiane et W : centre du cercle diviseur) en fonction de la distance des deux parallèles des solstices et de la latitude φ . Ces points permettent de tracer l'éventail horaire du lieu.

- Le soleil étant à l'équinoxe ($\delta = 0^\circ$), j'ai calculé les heures d'intersection de chaque ligne d'ascendant avec l'équatoriale du lieu.

Enfin, j'ai mesuré ces heures solaires (HS Eq) d'intersection sur le cliché pour trois latitudes : Paris ($48^\circ 84'$) ; Saint Julien ($43^\circ 4'$) et Perpignan ($42^\circ 7'$).

J'ai obtenu alors les résultats résumés dans le tableau suivant :

Ligne	HS/Eq Paris	Lecture Paris	HS/Eq StJul.	Lect St Julien	HS/Eq Perp.	Lect. Perpignan
♈-Bélier	6H	6H	6H	6H	6H	6H
♉-Taureau	6H57	6H45	7H07	6H55	7H08	6H55
♊-Gémeaux	8H12	7H55	8H30	8H30	8H32	8H40
♋-Cancer	10H01	9H40	10H23	10H20	10H25	10H30
♌-Lion	12H29	12H	12H47	12H40	12H49	13H
♍-Vierge	15H14	16H	15H24	15H30	15H25	16H10

Avec cette méthode, moins la ligne d'ascendant est inclinée sur l'équatoriale et plus on a de précision. De plus, le tableau montre que l'on a une assez bonne sensibilité sur la latitude puisque $0,7^\circ$ d'écart donne une différence de 40 minutes en été. Je pense que l'on peut atteindre assez facilement une précision de 15 minutes sur la lecture de la ligne de la Vierge, ce qui se traduit par une précision de l'ordre de $0,3^\circ$ sur la latitude, voire mieux.

Le résultat semble clair :

M5 a été construit pour une latitude comprise entre $43^\circ,1$ et $43^\circ,7$.

Ceci est à rapprocher du cadran circulaire D3 qui a aussi été construit pour cette gamme de latitudes.

De là à conclure que cette table a bien été faite pour St Julien (ou proche d'Aix-en-Provence : soit Pourrières), il n'y a qu'un pas !

Grâce aux dessins de C. Arnaud réalisés fin 2007 (voir ci-dessous) et aux clichés 227 et 236, on peut commencer à traduire certains mots (sans malheureusement comprendre complètement les phrases) du texte latin de la bordure supérieure :

« **En tibi quae...pursant ca icina signa c ?os . neque indicat incitis cuinidis (x) ???? notu** »

Les termes ? sont illisibles et ceux entre parenthèses sont supputés. Traduction de P. Gagnaire (termes latins en caractères gras) :

En tibi = Et voici, pour toi... Voici pour toi...

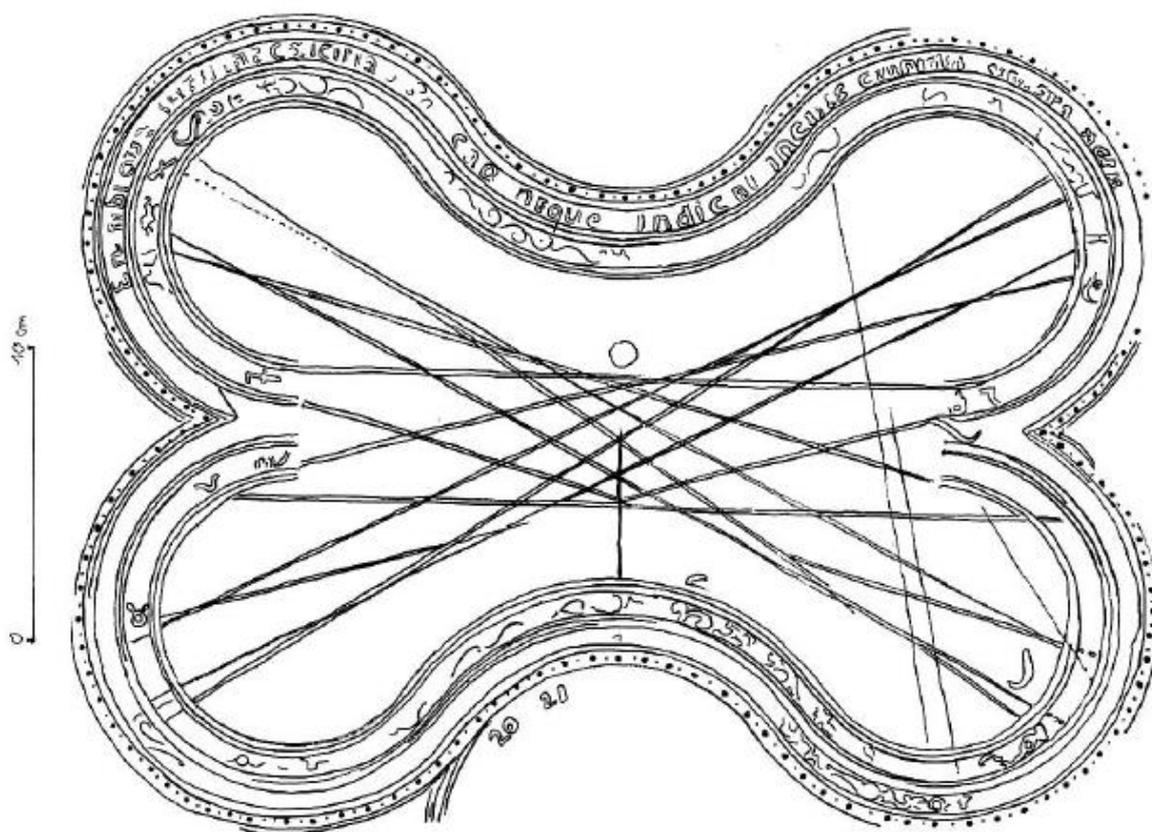
Signa...cad... = signes tombants...déclinants...descendants (verbe Cado/Cadere : Sol

Cadens = soleil couchant)

neque = et ne pas ...et afin de ne pas

indicat = il indique
incitis (de **incitus**) = rapide (brièvement)
cuinidi... = (**cuinidi** est la même chose que **quinidi**) se rapprochant (?) de
quinideni = tous les 15 jours...par tranche de 15 jours.

Il pourrait s'agir ici d'une sorte de mode d'emploi.



Toujours grâce au dessin de C. Arnaud ref 80103M5, il m'a paru nécessaire de refaire le même exercice le 10 avril 2008. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après.

Les résultats sont moins marqués que sur les précédentes mesures, notamment pour le Lion,

Le dessin reproduit semble moins précis que le cliché redressé. Toutefois, sur les lignes de la Vierge et des Poissons, on peut encore attribuer l'avantage à Saint Julien.

Nous conservons donc la même conclusion : cette table a été conçue pour une latitude assez voisine de St Julien (peut-être de l'Abbaye de Pourrières).

Ligne	HS/Eq Paris	Lecture Paris	HS/Eq StJul.	Lect St lien	HS/Eq Perp.	Lect. Perpignan
♈-Bélier	6H	6H	6H	6H	6H	6H
♉-Taureau	6H57	6H50	7H07	7H10	7H08	7H10
♊-Gémeaux	8H12	8H	8H30	8H35	8H32	8H45



Table gnomonique de 1662

Paul Gagnaire & Michel Ugon

Analyse d'une table gnomonique à multiple tracés de cadrans classiques et astrologiques, daté 1662.

C'est par l'intermédiaire de notre Président, Philippe Sauvageot, que nous avons réalisé cette nouvelle étude. Il s'agit d'une table gnomonique horizontale en ardoise datée 1662 et selon notre habitude, nous désignerons tout d'abord les sept motifs de cette table comme suit :

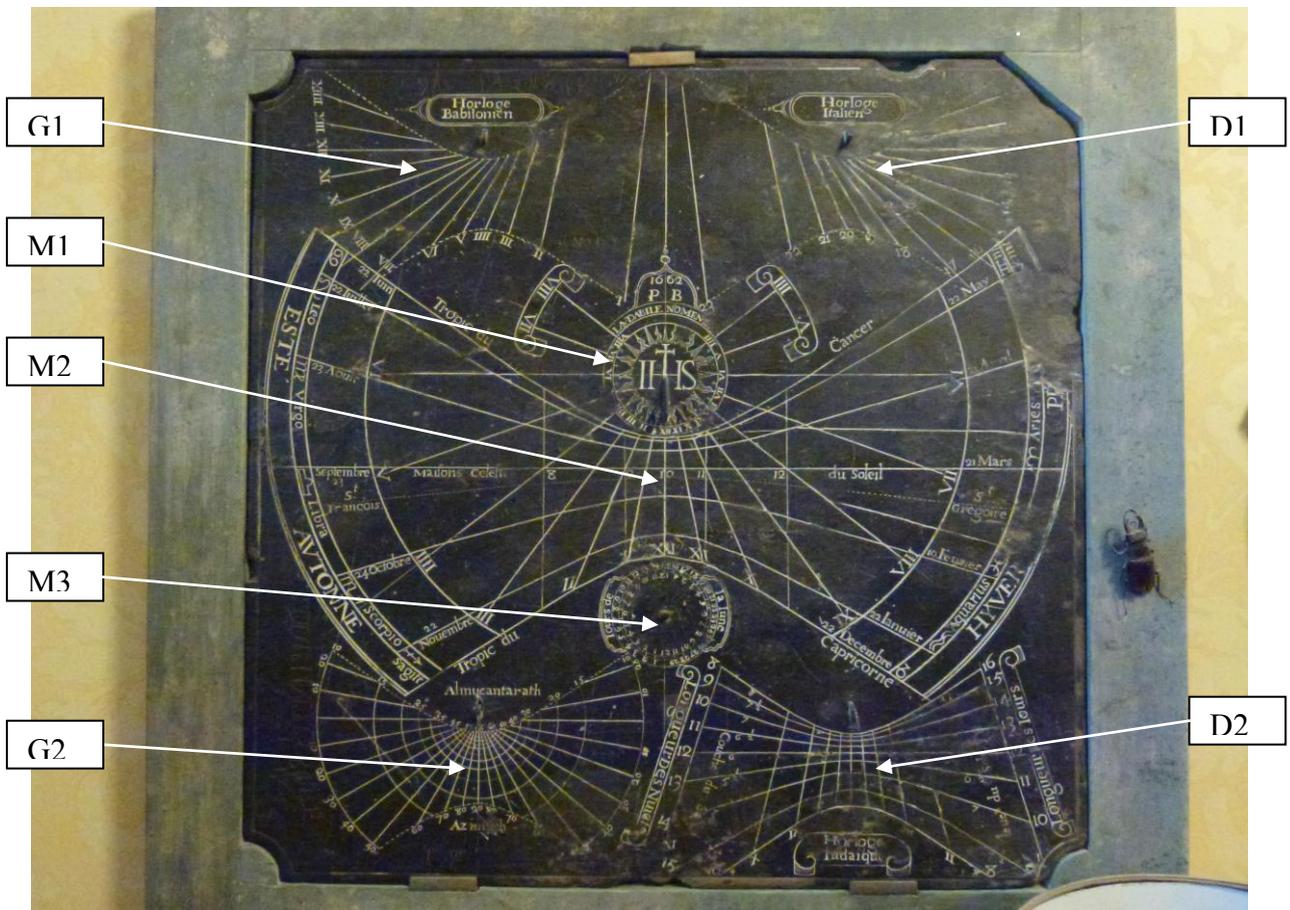


Figure 1 : désignation des motifs de la table

Cette table a été grandement influencée par l'astrologie comme c'était souvent le cas à cette époque. Elle comprend donc sept motifs dont six sont des cadrans solaires : l'étude précisera la nature des trois cadrans du milieu M1 à M3 tandis que D1 et G1 sont respectivement des cadrans Italiques et Babyloniques classiques, le motif G2 est comme le nom "Almucantarath" l'indique un cadran des cercles de hauteur et D2 un cadran d'heures Judaïques. Rappelons d'abord ce que Bedos de Celles disait déjà en 1760.

"On n'est plus aujourd'hui dans le goût d'embarraffer les Cadrans folaires, & d'y jeter la confusion, en les chargeant d'une quantité de lignes, telles que les Azimuts, les heures Italiques, Babyloniques, Judaïques..."

Malgré tout, il nous faut reconnaître que tous ces motifs vont nous être très utiles car ils vont nous permettre de préciser la valeur de la latitude pour laquelle cette table a été conçue. Ainsi lançons nous dans l'analyse de cette table exceptionnelle qui a gardé tous ses gnomons, ce qui est rare, même si certains n'ont pas gardé leur taille d'origine, comme nous le verrons.

1) Commençons par l'étude de **M1** dont l'image est la suivante ;



Figure 2 : image de M1

Sur ce cliché on distingue nettement la date de réalisation 1662 avec les initiales PB qui sont probablement celles du concepteur-réalisateur. Ce cadran comporte également des indications latines classiques "LAVDABILE NOMEN (DNI)" ou DNI est l'abréviation de Domini ("*Il faut louer le nom du Seigneur*") ainsi que le sigle IHS habituel surmonté d'une croix piétée sur la traverse du H. Le centre du cadran est situé au pied de la croix.

Nous en profitons, au passage, pour rappeler que dans nos notations les parenthèses indiquent soit des informations supposées ou effacées soit des traductions.

On voit sur cette image que le style triangulaire rectangle polaire classique central est conservé avec une position symétrique qui est caractéristique des cadrans orientés plein sud, ce qui n'est pas étonnant pour cette table horizontale.

Il apparaît que les lignes horaires de ce cadran font également partie de M2, mais sont consacrées aux heures du matin VII, VIII et du soir V, IIII qui sont au-delà de la ligne horizontale 6H-18H marquée VI de chaque côté.

Au passage nous notons que la ligne de 16 H est marquée IIII ainsi qu'il était d'usage à cette époque (et non pas IV). Les cadrans M1 et M2 sont donc liés par le même éventail horaire.

Le style triangulaire de M1 :

Ce style subsistant a la forme d'un triangle rectangle dont la base fait 27 mm avec un angle voisin de 45° qui ne doit pas être éloigné de la latitude du lieu pour lequel la table a été conçue. En effet, nous pouvons noter que la pointe du triangle est émoussée, et nous verrons que cette "érosion" se traduit par une latitude approchée.

2) Le cadran central M2

Comme nous le disions précédemment, ce cadran horizontal orienté au sud est couplé au cadran M1 qui se trouve immédiatement au-dessus, et ils partagent quatre lignes horaires, deux le matin et deux le soir.

Il s'agit du cadran le plus complexe de la table car il comporte plusieurs tracés comme on va le voir. Tout d'abord considérons la figure 3 ci-dessous qui est un cliché extrait de la figure 1 précédente.



Figure 3 : vue des cadrans M1, M2 et M3

Les lignes horaires de M2 :

Ces lignes horaires sont caractéristiques d'un cadran horizontal classique. Elles sont repérées symétriquement par les chiffres romains VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, I, II, III, IIII, V, VI.

Sur un cadran horizontal les angles H' des lignes horaires avec la ligne de midi sont donnés par la relation :

$$\text{tg}H' = - \sin\varphi \cdot \text{tg}H$$

ou φ est la latitude et H l'angle horaire considéré (pour la démonstration, voir annexe 1). Nous avons d'abord vérifié la symétrie des angles par rapport à la ligne de midi, puis, afin d'avoir une approche de la latitude, nous avons comparé les angles respectifs mesurés à ceux calculés pour différentes valeurs sur M1 et M2. C'est ainsi que nous avons dressé maints tableaux comparatifs pour obtenir celui que nous donnons ci-après et calculé pour la latitude de $47^{\circ}25'$ (soit $47^{\circ},41'$) :

Ligne horaire - H	Angle H	H' calculé	Angle H' mesuré
12h	0°	0°	0
13h	15°	11°,16	11°
14h	30°	23°,03	23°
15h	45°	36°,36	37°
16h	60°	51°,8	52,5°
17h	75°	70°	70°
18h	90°	90°	90°
19h	105°	110°	110°
20h	120°	128°	128°

Même en tenant compte d'une certaine imprécision des mesures nous voyons que l'écart entre les valeurs mesurées et calculées s'amenuise au fur et à mesure que l'angle tabulaire de chaque ligne augmente, et pouvons aussi noter que la valeur de 47°25' est légèrement supérieure à la valeur relevée sur le gnomon triangulaire de M1 (> 45° environ) et nous verrons plus loin si cette valeur est confirmée.

Les courbes de dates de M2 et leurs indications :

Le cadran M2 contient huit hyperboles de date, la quatrième ligne centrale est droite et correspond aux équinoxes (notés 23 septembre et 21 mars).

Nous nous sommes efforcés de déterminer avec la meilleure précision possible les dates de déclinaison solaire correspondant aux deux saints (Saint François et Saint Grégoire) par différentes méthodes, (mesures sur cliché, extrapolation, coordonnées polaires, hauteur du Soleil au méridien, coordonnées rectangulaires sur les points méridiens...) afin de prendre la valeur qui nous semblait être la meilleure. Sans rentrer dans les détails, il ne faut pas cacher que cela nous a pris un certain temps jusqu'à ce que nos résultats convergent vers la même valeur, légèrement supérieure à -4°, pour un style droit de 29,4 mm et une latitude de 47°,5. C'est ce qui nous a fait adopter pour l'hyperbole en pointillés une déclinaison solaire de -3°51' environ. A cette déclinaison correspondent deux dates en 1662 qui tombent respectivement les 5 octobre grégorien pour St François d'Assise (en automne) et le 12 mars grégorien pour St Grégoire le Grand (en hiver). Ces deux saints ont sans doute été choisis à dessein pour la paroisse de conception qui reste à trouver.

La lecture de ces courbes de dates donne alors le tableau suivant :

N° hyperbole	Désignation lue	Ecriture gauche	Signe gauche	Ecriture droite	Signe droit
1	Tropic du Cancer	22 juin	♋		
2		22 juillet	♌ Leo	22 May	♊ Gemini
3		23 Aou(te)	♍ Virgo	2(1) A(vril)	()
4	Maifons Celeft(es) du Soleil	Septembre 23	♎ Libra	21 Mars	♈ Aries
5 (pointillés)		St François - 5 octobre		St Gregoire- 12 mars	
6		24 Octobre	♏ Scorpio	19 Fevrier	♋ ()
7		22 Novembre	♐ Sagitt	22 Janvier	♊ Aquarius
8	Tropic du Capricorne			22 Decembre	♑

L'indication des signes zodiacaux n'est qu'une tradition historique, aussi on remarque que les dates sont légèrement différentes de celles connues aujourd'hui qui apparaissent dans le tableau ci-après avec les déclinaisons solaires correspondantes :

N° hyperbole	Déclinaison solaire - δ	Signe	Date table	Date actuelle
1	+23°,44	Cancer - ♋	22 juin	21 juin ⁽¹⁾
2	+20°,15	Gémeaux - ♊	22 mai	21 mai
2	+20°,15	Lion - ♌	22 juillet	23 juillet
3	+11°,47	Vierge - ♍	23 août	23 août
3	+11°,47	Taureau - ♉	2(1) avril	20 avril
4	0°	Balance - ♎	23 septembre	23 septembre ⁽⁴⁾
5	-11°,47	Scorpion - ♏	24 octobre	23 octobre
5	-11°,47	Poissons - ♐	19 février	19 février
6	-20°,15	Sagittaire - ♐	22 novembre	22 novembre
6	-20°,15	Verseau - ♑	22 janvier	20 janvier
7	-23°,44	Capricorne - ♑	22 décembre	21 décembre ⁽²⁾
4	0°	Bélier - ♈	21 mars	20 mars ⁽³⁾

(1) solstice d'été dans l'hémisphère nord

(3) équinoxe de printemps

(2) solstice d'hiver

(4) équinoxe d'automne

Les signes astrologiques de M2 et les saisons :

Ces signes qui apparaissent dans le tableau des courbes de dates ci-dessus sont relativement classiques à cette époque de réalisation et l'on sait aujourd'hui qu'au signe du Cancer devrait correspondre également l'écrevisse (Tropique d'été) tandis que la constellation manquante d'Ophiucus (ou Serpenteaire) traversée par le Soleil du 29 novembre au 18 décembre devrait se situer entre le Scorpion et le Sagittaire, mais ce fait établi de l'Astronomie semble toujours méconnu et ignoré aujourd'hui par les fervents d'astrologie.

La bordure extérieure du cadran indique les quatre saisons : ESTE, AVTONNE, HYVER et PR(INTEMPS) comprenant chacune trois signes astrologiques.

Les maisons célestes de M2 :

Comme le dit Denis Savoie : « *la notion de maison céleste est purement astrologique et remonte à Ptolémé. C'est une division de la sphère céleste locale en douze secteurs égaux de 30° appelés "maisons", numérotées de I à XII à partir de l'horizon Est dans le sens contraire au mouvement diurne. Cette division du ciel s'appelle domification. La présence du Soleil dans une maison céleste a une grande importance dans l'établissement de l'horoscope. Il y a deux systèmes de maisons célestes utilisés en gnomonique, le premier est celui de Campanus de Novare (1220-1296) qui divise le plan Est-Ouest en secteurs de 30°. Le second est celui de Régiomontanus (1436-1476) qui divise l'équateur céleste en douze parties égales* ».

Notons que seulement six des douze maisons peuvent être tracées, ce sont les maisons diurnes situées au-dessus de l'horizon. La maison VII commence au lever du Soleil ; la maison X commence lors du passage du Soleil au méridien ; la maison XII finit au coucher du Soleil...

Dans un cadran horizontal, les lignes sont perpendiculaires à l'axe Est-Ouest et symétriques par rapport au méridien Nord-Sud. Avec cinq lignes perpendiculaires à la droite d'équinoxe.

Sur la table, les maisons sont notées : "Maisons Célestes 8 9 10 11 12 du Soleil".

L'étude de ces lignes s'est faite en mesurant leur distance par rapport au plan méridien et en les comparant à une progression en tg M, caractéristique des maisons célestes de Campanus de Novare sur un cadran horizontal, car elles sont définies en découpant le premier vertical en secteurs égaux de 30° et l'on sait que la mesure de la hauteur du style droit a donné 27 mm environ donc les lignes verticales observées sont symétriques par rapport à la

méridienne et correspondent à $M=60^\circ$ (entrée dans la maison 8) et 30° (entrée dans la maison 9).

Objet	Maison 8	Maison 9	Maison 10
Angle M	60°	30°	0°
tgM	1,732	0,5773	0
Calcul	30	10	0
Mesure sur cliché	15,6 mm	5,2 mm	0

L'entrée dans la Maison 10 commence lors du passage du Soleil au méridien, tandis que les entrées dans lignes extrêmes 7 et 13 sont rejetées à l'infini.

Comme on mesure une largeur de 2x52mm sur le cliché, pour une largeur réelle de 502 mm, cela correspond à une distance réelle par rapport au plan méridien de $15,6 \times 251/52 \cong 75$ mm. Cette distance doit être égale à $a \cdot \text{tg} M$ dans le système de Campanus de Novare et $a \cdot \text{tg} M / \cos \phi$ dans celui de Régiomontanus (voir démonstration en annexe 2). Comme le premier cas ci-dessus donne un résultat incohérent, il faut considérer que l'on est en présence d'un cadran utilisant la méthode de Regiomontanus et écrire :

$$a \cdot \text{tg} M / \cos \phi = 75$$

$$\text{avec } \cos \phi = 27 / (a^2 + 27^2)^{1/2} \text{ en considérant les mesures faites sur place.}$$

L'équation ci-dessus devient :

$$a^4 + 729 a^2 - 1366875 = 0$$

On trouve ainsi que : $a \cong 29,32$ et $\text{tg} \phi \cong 1,086225$ d'où $\phi \cong 47^\circ,36$

Nous constatons que cette valeur est cohérente avec la valeur trouvée précédemment.

Puisque nous ne savons pas comment le concepteur a déterminé et tracé les lignes de ce cadran, et compte tenu de l'imprécision des mesures, nous prendrons, pour l'instant, une approximation moyenne, soit $47^\circ,44$ (soit $47^\circ 26'$).

3) Le motif M3 :

La figure 4 montre un extrait de ce motif qui indique "Jours de la lune" dans la bordure extérieure. Il comporte deux cercles concentriques au centre desquels se situait une rondelle de bronze indiquant le jour du mois et l'heure. Le disque central est marqué par les heures de 1 à 12, deux fois, et le disque extérieur est noté de 1 à 29.

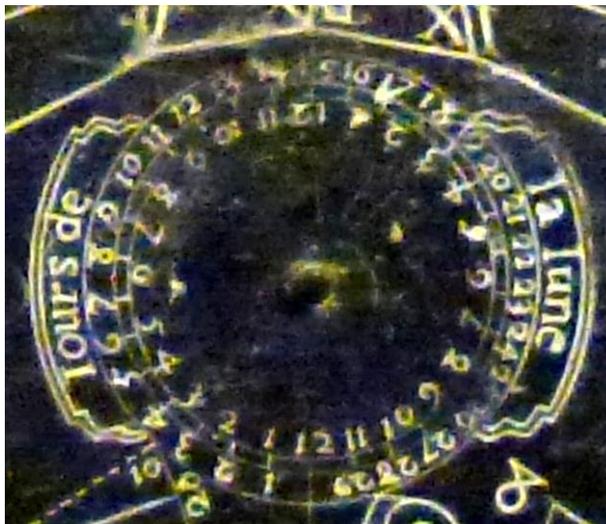


Figure 4 : le motif M3

Nous avons déjà rencontré un tel motif dans des études précédentes (notamment à St Mars-sous-Ballon), car il était relativement courant à cette époque : Il s'agit d'un **convertisseur lunaire**.

Un convertisseur lunaire permet de connaître l'heure solaire correspondant à l'ombre du style sur le cadran central au clair de Lune.

La couronne extérieure donne les jours du mois lunaire gradués de 1 à 29,5 dans le sens horaire. On sait que les mouvements de la Lune sont très complexes, car elle est soumise essentiellement à l'action de deux corps : la Terre et le Soleil, et le chiffre de 29,5 correspond à la révolution synodique (ou lunaison moyenne) retenue au XVIIe siècle, c'est-à-dire le temps qui sépare deux conjonctions successives de la Lune avec le Soleil. On sait aujourd'hui qu'une lunaison peut durer de 29,29 à 29,84 jours, chaque jour correspondant à un retard angulaire journalier moyen par rapport au Soleil $R_L = 360^\circ/29,5 \cong 12^\circ,203$. Cet angle R_L est appelé « angle lunaire » et peut donc varier de 48 à 49 minutes d'heure.

Il est donc clair que la couronne est liée à la lecture de l'heure la nuit, lorsque la Lune donne une ombre du style sur M2.

Voici le résultat du calcul de la position des graduations lorsque la couronne centrale indique les jours de lunaisons :

Ici la couronne centrale est celle d'un convertisseur lunaire.

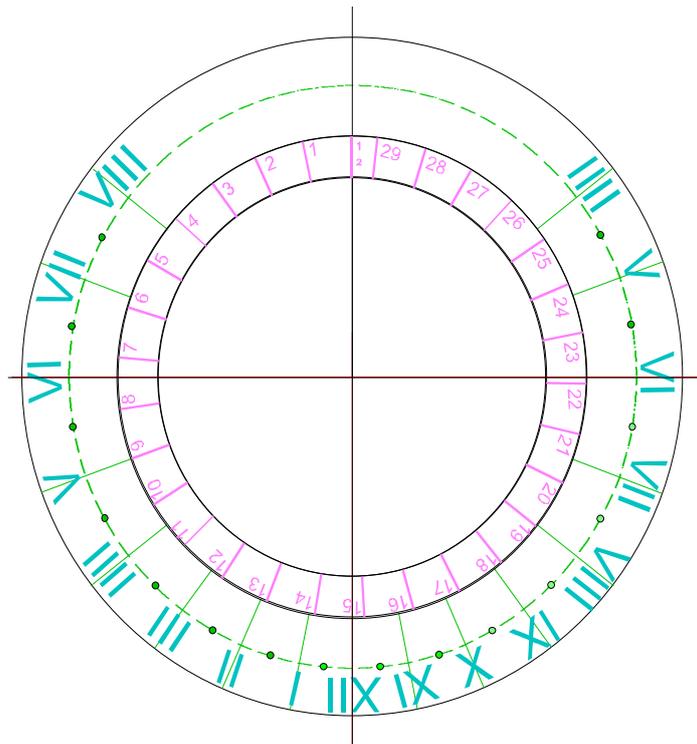


Figure 5: principe du convertisseur lunaire

Les graduations correspondent à un écart équi-angulaire de R_L . Or, dans le mouvement simplifié retenu à l'époque, l'ascension droite de la Lune s'écarte chaque jour de celle du soleil de l'angle lunaire R_L . On en déduit que l'heure solaire H est donnée par la relation linéaire

$$H \equiv (h + 24a/29,5) \pmod{24}$$

h étant l'heure de l'ombre lunaire lue sur le cadran
 a étant l'âge de la Lune

Ainsi, lisant l'heure h au clair de Lune et connaissant son âge, on calcule simplement l'heure solaire. Le tableau suivant en donne quelques résultats. (avec $4 < h < 16$)

a	H	
0	h	Nouvelle Lune (NL)
7,375	$(h + 6)$	Premier quartier (PQ)
14,75	$(h + 12) \bmod (24)$	Pleine Lune (PL)
22,125	$(h + 18) \bmod (24)$	Dernier Quartier (DQ)
16	$(h + 13) \bmod (24)$	\cong PL

Mais cette relation linéaire n'a pas échappé aux gnomonistes qui ont évité tout calcul en réalisant un abaque permettant de lire directement H. Ce type de « convertisseur lunaire » était courant aux XVIIe et XVIIIe siècles et se composait de deux couronnes concentriques. Une couronne externe fixe, graduée de 1 à 29,5, et une couronne interne mobile divisée en 2x12 heures : 12 heures du matin et 12 heures du soir graduées comme le montre la figure ci-dessous.

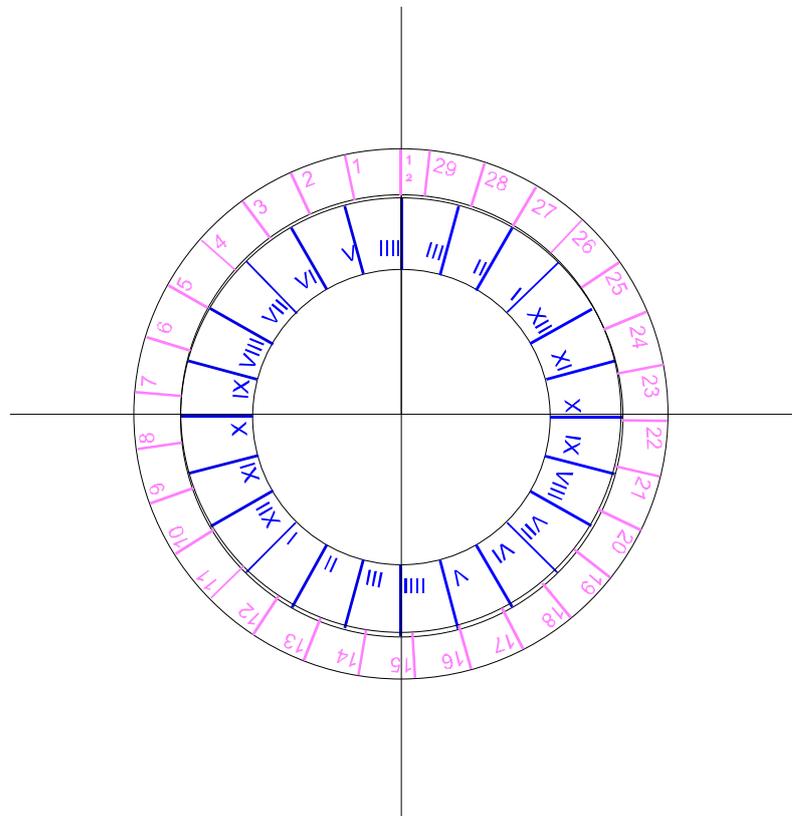


Figure 6 : cas du convertisseur lunaire recalculé

En faisant tourner cette couronne de telle sorte que l'heure lue sur le cadran coïncide avec la Nouvelle Lune (NL), il suffisait de lire directement l'heure solaire H en face de l'âge de la Lune. L'exemple figuré ci-dessus montre la position des couronnes pour une lecture nocturne de IIII heures à 16 jours de la NL : en face de la graduation 16 on lit V heures du soir, ce qui correspond aux 17 heures données par la formule (dernière ligne du tableau). Il s'agit d'un cas limite proche du lever de la Pleine Lune en été.

Le lecteur pourra vérifier aussi que $H = 2$ heures pour $h = 13$ heures.

Pour connaître l'âge de la Lune, on utilisait souvent une méthode empirique fondée sur ses divers aspects, comme l'indique R. Rohr dans son ouvrage de 1965 rappelé ci-après :

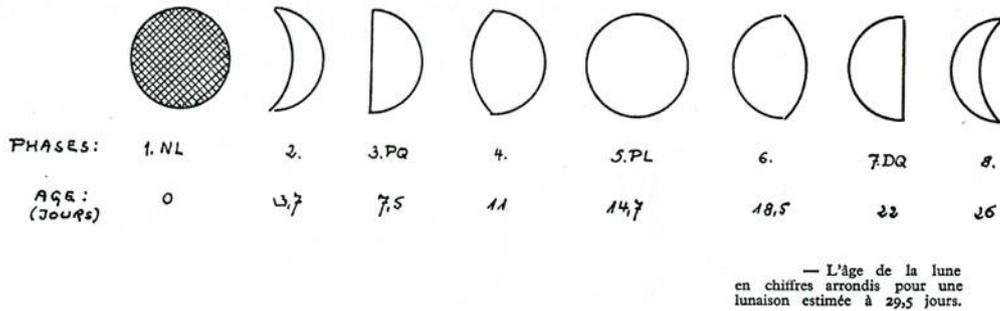


Figure 7 : détermination de l'âge de la Lune

Mais pour appliquer cette méthode, reconnaissons qu'il fallait une certaine habitude et que la précision atteinte était très discutable. Pour un meilleur résultat, on utilisait la méthode des épactes (voir encadré ci-après) qui était exposée dans beaucoup d'ouvrages de l'époque, mais il est préférable d'utiliser les éphémérides.

Sur l'épacte

Tout d'abord, une définition de dictionnaire :

« **épacte** : nom féminin (1119) venant du grec epaktai hēmerai qui signifie : *jours intercalaires*. L'épacte est un nombre qui exprime l'âge de la Lune au 31 décembre de chaque année et qui indique combien il faut ajouter de jours à l'année lunaire pour qu'elle soit égale à l'année solaire »

L'épacte du calendrier julien était donc la différence entre les calendriers solaires et lunaires.

En 1582, la réforme grégorienne a supprimé dix jours au calendrier ce qui entraîna un ajustement du calendrier lunaire. L'épacte devint l'âge de la Lune au 1^{er} janvier de chaque année, c'est-à-dire le nombre de jours entre la dernière nouvelle Lune de l'année précédente et ce 1^{er} janvier.

Avec 12 mois de 29,5 jours, l'année lunaire possède 354 jours, l'épacte julienne ajoute 11 jours (modulo 30) chaque année pour égaler à peu près l'année solaire de 365 jours.

Il est admis que c'est Méton, astronome grec du V^e siècle avant notre ère, qui a mis en évidence la période de 19 ans au bout de laquelle des phases de la Lune retrouvent un cycle quasiment identique par rapport à l'année solaire (cycle de Méton : 432 av JC- d'après J.Ozanam 1694). En fait, l'épacte reprend successivement les mêmes valeurs en ajoutant une unité tous les 19 ans. Cette correction n'est qu'une approximation qui entraîne un jour de retard sur l'âge véritable de la Lune tous les trois siècles environ.

A chaque année on associe donc un nombre de 1 à 19 appelé nombre d'or car ces nombres étaient gravés en or sur la place publique d'Athènes. L'an 1 de l'ère chrétienne a pour nombre d'or 2.

Ce nombre d'or, qui ne dépend que de l'année, détermine l'épacte dont la connaissance permet de calculer l'âge moyen de la Lune dit « âge ecclésiastique » à un ou deux jours près.

Depuis 1582, l'épacte grégorienne peut servir à déterminer approximativement l'âge de la Lune à une date donnée. Comme on considérait des mois égaux de 30 jours, il fallait additionner le quantième à l'épacte et lui ajouter le nombre de mois écoulés depuis une référence. Si ce mois de référence est janvier, il faut tenir compte des années bissextiles qui,

comme on sait, ajoutent un jour en février tous les quatre ans (sauf pour les années séculaires). Par contre, pour une année donnée, la règle de calcul de l'épacte et son nombre d'or ne change pas entre mars et fin février de l'année suivante, à cause du décalage des années bissextiles qui s'opère le 1^{er} mars. Cette remarque conduit donc à compter les mois à partir de cette date, cependant, on peut noter de légères différences suivant les auteurs selon que l'on tient compte du mois considéré ou non. Nous retiendrons les règles suivantes :

Une première étape consiste à calculer le nombre d'or « n » pour l'année « a » par la formule suivante : $n \equiv a + 1 \pmod{19}$

Ensuite, le calcul de l'épacte dépend des années considérées, car pour suivre au mieux les mouvements de la Lune réelle on retranche un jour chaque année non bissextile et on ajoute un jour tous les 300 ans.

Ceci abouti aux formules regroupées dans le tableau ci-dessous :

Siècle	Epacte
$16^e \leq 1582$	$e \equiv 11n \pmod{30}$
>1582 et 17^e	$e \equiv 11n - 10 \pmod{30}$
De 1700 à 1899	$e \equiv 11n - 11 \pmod{30}$
De 1900 à 2199	$e \equiv 11n - 12 \pmod{30}$

Exemples :

Pour l'année 1662 on trouve $n = 9$ et $e = 29$

L'âge de la Lune est donné par $A = e + m + j \pmod{30}$

m étant le décompte de mois depuis le 1^{er} mars et j le quantième.

Ainsi, le 1^{er} mars 1662, $m = 1$ et $A = 0$, l'âge de la Lune est 1, c'est à dire un jour après la Nouvelle Lune (l'épacte et l'âge de la Lune correspondent à ceux donnés dans les livres de l'époque, notamment ceux de Pierre de Sainte Marie Magdeleine parus entre 1645 et 1680).

Pour l'an 1769, $n = 3$ et $e = 22$: NL le 4 juillet

Pour l'année 2016, on a $n = 3$ et $e = 21$

Ce qui donne quelques résultats suivants :

$A = 0$ ou 1 : (Nouvelle Lune- NL) : 9 Mars ; 5 Juin ; 1^{er} Octobre

$A = 7$ ou 8 (Premier Quartier- PQ) : 15 Mars ; 12 Juin ; 9 Octobre

$A = 15$ (Pleine Lune- PL):15 Mars ; 20 Juin; 16 Octobre

$A = 21, 22$ ou 23 (Dernier Quartier- DQ) : 31 Mars ; 27 Juin ; 22 Octobre

Le lecteur pourra constater que ces résultats sont cohérents avec les éphémérides.

Le mode d'emploi de ce convertisseur nous indique donc qu'après la lecture du cadran au clair de Lune, il fallait faire tourner la graduation intérieure pour placer cette valeur en face de l'origine de la couronne. Ceci se réalisait en faisant pivoter le plateau tournant autour de son axe.

Ce plateau rotatif devait supporter un disque gradué en 2×12 heures. Ce disque tournant a aujourd'hui disparu, mais on sait qu'il était en bronze et indiquait le jour du mois et l'heure. Le centre du motif était en léger creux permettant de loger les disques qui s'enfilaient sur l'axe.

4) Les motifs G1 et D1 :

Ces deux cadrans sont notés respectivement " Horloge Babilonien" et "Horloge Italien" mais en réalité, ayant rencontré maints cadrans de ce type, notamment ceux de Sarzeau sis au musée de Vannes, ainsi que ceux du cadran de St-Mars-sous-Ballon étudié dans le n°21 de Cadran Info de mai 2010, nous savons que leur nom était "Cadran Babylonique" et "Cadran Italique".

Un cadran Babylonique indique depuis combien de temps le Soleil s'est levé et un cadran Italique combien d'heures se sont écoulées depuis le précédent coucher du Soleil.

Il s'agit de deux cadrans horizontaux, dont les lignes horaires sont symétriques par rapport à la ligne de midi, ce que l'on peut vérifier aisément sur le cliché, aussi nous limiterons notre étude au cadran Babylonique qui présente des lignes horaires plus nettes que l'autre. (Figure 8).



Figure 8 : le cadran Babylonique G1

Ces deux cadrans sont donc liés, puisque symétriques et présentent respectivement les numérotations habituelles : I à XIII en chiffres romains pour le Babylonique (notons que les chiffres supérieurs à X sont inversés) et 10 à 23 pour l'Italique. Les lignes n° 12 sont parallèles à l'équatoriale et situées exactement à mi-distance entre celles-ci et le centre du cadran. La mesure des hauteurs des gnomons subsistants donne respectivement 7 et 15,5 mm. Mais, d'après ce qui précède, ils devaient avoir rigoureusement la même valeur à l'origine, aussi nous prendrons pour l'instant, la valeur unique de 15,5 mm dans notre analyse.

Nous savons qu'en pratique, l'étude de ces cadrans horizontaux est facilitée par l'obtention des coordonnées rectangulaire des intersections avec les arcs solsticiaux, voire en ajoutant un troisième point sur la ligne équinoxiale.

L'axe des x étant orienté vers l'Est et l'axe des y vers le Nord, le tableau ci-dessous donne les résultats comparatifs entre ceux calculés et ceux mesurés sur un cliché remis à l'échelle, l'heure solaire H étant donnée par : $H = B_i - H_0$

avec i = numérotation de la ligne Babylonique

$$\cos H_0 = - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta \quad \varphi = \text{latitude} ; \delta = \text{déclinaison solaire}$$

et en coordonnées rectangulaires

$$x = a \sin H / (\cos \varphi \cdot \cos H + \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta)$$

$$y = a (\sin \varphi \cdot \cos H - \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta) / (\cos \varphi \cdot \cos H + \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta)$$

(Voir en annexe 3 la justification de ces formules)

En prenant d'abord les points de la ligne équinoxiale (calculs pour $\delta = 0$) et une hauteur de style de 15,5 mm, on trouve les valeurs suivantes pour y et la valeur absolue de x, sachant que les lignes inférieures à B₆ sont toutes négatives :

Latitude	y	B ₁ / B ₁₁	B ₂ / B ₁₀	B ₃ / B ₉	B ₄ / B ₈	B ₅ / B ₇	B ₆
46°,8	16,51	84,5	39,22	22,64	13,07	6,07	0
46°,9	16,56	84,66	39,29	22,68	13,1	6,08	0
47°	16,62	84,82	39,36	22,73	13,2	6,09	0
47°,1	16,68	84,98	39,44	22,77	13,15	6,1	0
47°,2	16,74	85,14	39,51	22,81	13,17	6,11	0
47°,3	16,8	85,3	39,59	22,86	13,2	6,12	0
Valeur mesurée	16	84,2	39,2	22,5	13	6	0

Comme sur le cliché remis partiellement à l'échelle, les valeurs de x sont symétriques par rapport à B₆ et diminuent pour des déclinaisons nulles. Compte tenu du fait que les valeurs calculées sont directement proportionnelles à la hauteur du style droit, les résultats mesurés plaident plutôt en faveur d'une valeur de y à 15,5 mm au lieu de 16 mm (valeur cohérente avec celle mesurée sur la table), ce qui donne une latitude comprise entre 47,2° et 47,4°, donc nous précisons la valeur précédente en prenant 47,3° (47°18') avec une hauteur du style de 15,5 mm.

Nous allons vérifier ce résultat en prenant cette fois une valeur de déclinaison solaire solsticiale d'hiver de -23°,44 et un style droit de 15,5 mm, ce qui donne le tableau suivant :

Latitude	Calculs	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
46°,9	X =	-78,18	-31,9	-13,12	-1,77	9,66
	Y =	83,96	54,34	45,88	43,43	44,65
47°	X =	-78,3	-31,92	-13,79	-1,7	9,79
	Y =	78,67	50,8	46,12	43,67	44,92
47°,1	X =	-78,41	-31,94	-13,77	-1,63	9,93
	Y =	84,76	54,87	46,35	43,91	45,2
47°,2	X =	-78,53	-31,96	-13,74	-1,56	10,07
	Y =	85,17	55,14	46,59	44,15	45,48
47°,3	X =	-78,65	-31,98	-13,71	-1,49	10,21
	Y =	85,57	55,41	46,83	44,39	45,77
47°,4	X =	-78,76	-32,0	-13,69	-1,41	10,36
	Y =	85,99	55,68	47,07	44,64	46,05
47°,5	X =	-78,88	-32,02	-13,66	-1,34	10,5
	Y =	86,4	55,96	47,31	44,89	46,35
Mesure	X =	-75	-30	-12,2	0	12
Mesure	Y =	84	54	46	44	46

Un test sur l'hyperbole solsticiale d'été donne des résultats équivalents, donc ils donnent une valeur de la latitude de 47°18'. Nous verrons plus loin si cette valeur est confirmée.

5) Le cadran G2 :



Figure 9 : le cadran G2

Ce cadran est noté « Almucantarath et Azim(ut)h ».

Les Almucantaraths sont des cercles concentriques de hauteur du Soleil limités par les hyperboles solsticiales. Les cercles de hauteurs sont centrés sur le pied du style droit et gradués de 10° à 60° de 5° en 5°, gradués à gauche 10, 15, 25, 35, 45, 55 et à droite 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60.

Les Azimuts comprennent 11 lignes de part et d'autre de la médiane, donc 23 lignes en tout et 11 secteurs égaux gradués symétriquement et repérés de -20° à +90° (de 10° en 10° en passant par 0°). la ligne horizontale correspondant à 0°, et le premier vertical passant par la graduation 90°.

La hauteur et l'azimut servent à déterminer la position d'un astre en coordonnées horizontales locales, ici il s'agit du Soleil. (Ce cadran est similaire à ceux de St Mars sous Ballon et de Sarzeau-musée de Vannes) et les rayons des cercles mesurés sur le cliché doivent être égaux à $a \cdot \text{ctg } h$, ce qui permet de dresser le tableau suivant pour les hauteurs, en prenant $a = 13 \text{ mm}$:

h	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Rayon mesuré	74	48	36	28	23	18	15.2	13	11	10	7
ctg h	0.176	0.26	0.36	0.466	0.577	0.7	0.839	1	1.191	1.428	1.732
calcul	73,86	50	36	27.8	22.5	18.56	15.5	13	10.9	9.1	7.5

Comme la hauteur du style droit mesuré sur place est bien de 13 mm, nous confirmons donc ici la conformité de la progression des hauteurs du cadran, de plus nous obtenons la

position du point de concours des lignes horaires par a.ctg ϕ donc la précision obtenue sur ce centre est donnée par $-a/\sin^2\phi$ (dérivée de a.ctg ϕ), ce qui donne 424 mm pour un écart $\Delta\phi$ de 1° sur un angle de 47° et un style droit de 13 mm, soit une précision de $1^\circ,27$ sur l'angle horaire tabulaire H' . Nous pouvons donc appliquer la formule (voir annexe 4) :

$$\cos H = (\sin h - \sin \phi \cdot \sin \delta) / \cos \phi \cdot \cos \delta$$

en tenant compte des cercles de hauteur limités par les deux hyperboles solsticiales et en remplaçant H et h par leurs valeurs afin de trouver la latitude ϕ du lieu. Ainsi, nous dressons le tableau suivant pour les deux solstices avec $\phi = 47,2^\circ$:

h	10°	15°	19°,3599	20°						
H'- hiver $\delta=-23,44$	34°,7	20°,	0°							
Mesure	33°	21°	0°							
h	10°	15°	16°,9699	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
H' - été $\delta=+23,44$	104°,75	94,14°	90°	83,72°	73°,7	64°,23	55°,38	47°,3	39°,41	32°05
Mesure	105°	94°	90°	82°	72°	65°	57°	48°	38°	32°

Ce tableau qui a donc été calculé pour une valeur de la latitude de $47^\circ,2$ soit $47^\circ12'$, donne des valeurs compatibles avec les mesures d'angles faites sur le cliché. Au solstice d'été, nous nous sommes limités aux valeurs de $h = 50^\circ$ car les hauteurs supérieures sont trop imprécises. En conséquence nous considérerons donc maintenant une latitude de $47^\circ12'$.

6) Le cadran D2

La figure 10 ci-dessous montre ce motif.

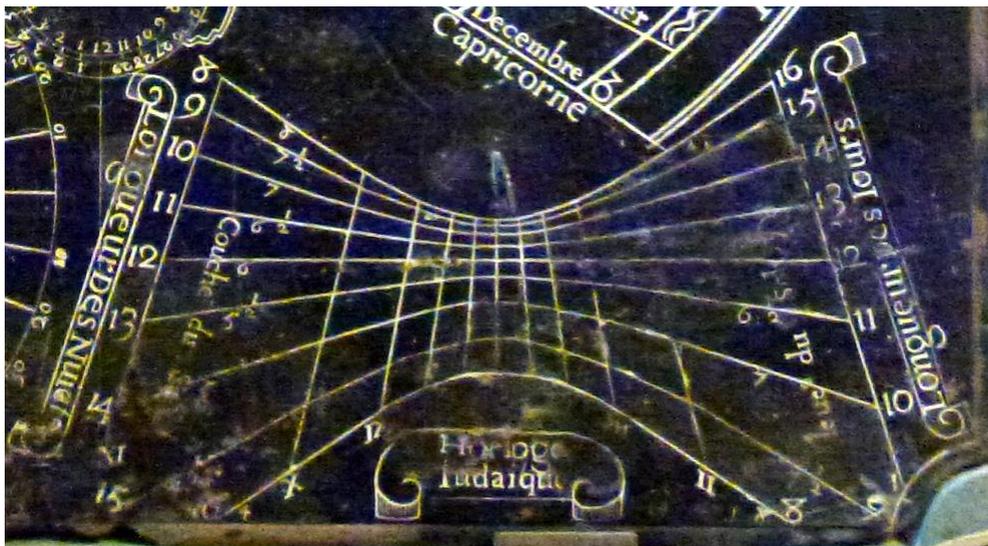


Figure 10 : le cadran D2

Sur ce cadran on lit les indications suivantes :

- H(o)rologe (J)udaïqu(e) avec les heures I, II, (III), (IV), (V), (VI), (VII), (VIII), IX, X, et (XI).
- Lo(n)gueur Des Nui(e)t ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 ; 14 ; 15 ; 16.
- Longueur (D)es Jours : 16 ; 15 ; 14 ; 13 ; 12 ; 11 ; 10 ; 9 ; 8.
- Couche(r) du S(oleil) ; 8 ; 7^{1/2} ; 7 ; 6^{1/2} ; 6 ; 5^{1/2} ; (5) ; (4^{1/2}) ; (4).
- Lever du S(oleil) ; (4) ; (4^{1/2}) ; (5) ; (5^{1/2}) ; (6) ; 6^{1/2} ; 7 ; 7^{1/2} ; 8.

Rappelons tout d'abord que les parenthèses indiquent des informations supposées La subdivision d'un jour clair en douze heures temporaires, appelées aussi heures antiques, bibliques, judaiques, inégales, consiste à diviser l'arc diurne du Soleil en douze parties égales entre son lever et son coucher. Il s'en suit que leur durée sous nos latitudes varie environ de 40 minutes en hiver à 80 minutes en été, soit une variation du simple au double. Les cadrans solaires d'heures temporaires sont aujourd'hui des curiosités historiques. Le plus célèbre est sans doute celui que fit construire Auguste sur le champ de Mars à Rome vers 10 av. JC. Dans un cadran solaire d'heures temporaires, c'est l'extrémité de l'ombre du gnomon qui indique l'heure, celle-ci se déplaçant de façon symétrique entre les deux arcs solsticiaux. La ligne 6 heures temporaires (marquée ici VI) coïncide avec notre ligne de midi, la ligne 0 heure avec le lever du Soleil et la ligne 12 heures au coucher, mais ces deux lignes extrêmes ne peuvent être tracées.

En toute rigueur les lignes horaires d'un tel cadran ne sont pas des droites mais des courbes qui ont l'aspect de sinusoides différant peu d'une droite, et il n'y a plus de convergence des lignes vers le pied du style polaire. Sur un tel cadran horizontal, les coordonnées rectangulaires des lignes horaires sont données par :

$$x = a \cdot \sin T / D \quad y = a (\sin \varphi \cdot \cos T - \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta) / D$$

avec D (dénominateur) = $\cos \varphi \cdot \cos T + \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta$

et $T = k/6$ (Arccos(- $\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta$))

φ étant la latitude et k l'ordre de la ligne considérée. (k = 0 correspondant à notre ligne du midi).

Ainsi, après avoir remis le cliché à l'échelle, nous pouvons dresser le tableau suivant afin d'obtenir une valeur de la latitude :

a	13						
φ	47.3						
k	0	1	2	3	4	5	6
δ	+23.44						
T	0	19.653	39.06	58.859	78.612	98.265	
D	0.99679	0.9572	0.8431	0.6678	0.45171	0.22	0
x calculé	0	4.563	9.759	16.667	28.177	58.358	
x mesuré	0	5	10	17	29	59	
δ	0						
T	0	15	30	45	60	75	90
D	0.6781	0.655	0.5873	0.4795	0.339	0.1755	0
x calculé	0	6.666	14.46	25.38	44.8		
x mesuré	0	7	15	25	45		
δ	-23.44						
T	0	10.329	20.658	30.987	41.317	51.647	
D	0.3595	0.3485	0.3159	0.2627	0.1907	0.1022	0
x calculé	0	4.571	9.774	16.688	28.219	58.435	
x mesuré	0	5	10	17	29	59	

Comme nous le voyons ci-dessus, la meilleure estimation est obtenue pour $a = 13$ mm et $\varphi = 47^{\circ},3$ soit $47^{\circ} 18'$, valeurs compatibles avec les précédentes et que nous retiendrons désormais.

7) Conclusion :

L'étude de cette table de 1662 a été assez longue, mais nous a permis d'étudier des cadrans astrologiques ainsi que des cadrans anciens et les formules issues du groupe de Gauss qui nous ont donné une précision sur la valeur de la latitude de réalisation. Par contre, n'ayant décelé aucune erreur dans la conception, aucun de ces motifs ne nous a permis de connaître la méthode utilisée par son concepteur qui maîtrisait certainement l'art de la gnomonique et qui reste pour l'instant inconnu. Il utilisait sans doute les propriétés géométriques utilisées à cette époque pour tracer les cadrans. Par ailleurs nous n'avons pas trouvé le lieu exact d'implantation de cette table qui évoque deux saints spécifiques : St Grégoire et St François. Il reste donc encore beaucoup de travail sur cette table !

ANNEXES

Les lecteurs intéressés par les démonstrations mathématiques pourront se référer aux relations de la trigonométrie sphérique trouvées par Gauss. Carl Friedrich Gauss était un mathématicien de génie, ce qui lui valu le surnom de "prince des mathématiques" dès le début du 19e siècle, il est resté célèbre pour d'innombrables travaux notamment ces formules de trigonométrie sphériques appelées groupe de Gauss. Ses travaux eurent une influence considérable en astronomie et l'on ne peut qu'être admiratifs sur ces relations qui sont apparues plus d'un siècle après la conception de cette table, car c'est grâce à elles que nous avons pu retrouver une valeur plausible de la latitude.

Annexe 1 : valeur de l'angle tabulaire H'

L'angle horaire H du Soleil est celui des deux plans PZP' et PBP' sur la figure A1. L'angle tabulaire θ compté depuis la sous-stylaire est donc : $\theta = H - S$

S étant l'angle horaire de la sous-stylaire, P et P' les pôles et Z le Zénith.

La figure générale A1 ci-après permet de visualiser sur la sphère céleste l'ensemble des éléments qui sont nécessaires aux démonstrations qui vont suivre. Cette figure A1 peut sembler assez complexe, mais nous verrons qu'il est aisé d'isoler les parties spécifiques à chacune de ces démonstrations. Sur cette figure, P désigne donc le pôle nord et P' le pôle sud, φ est la latitude et i l'inclinaison de la table qui est aussi celle du style droit CK. Pour une table horizontale $i = S = 0$.

Le Soleil occupe la position A et le point G est à l'intersection du plan de la table et de la ligne de plus grande pente CG.

Sur une table horizontale, l'angle tabulaire H' qui est compté depuis la sous-stylaire CT dans le sens trigonométrique est tel que $\theta' = H'$ (θ' étant l'angle horaire tabulaire de θ). En appliquant la relation ad-hoc du groupe de Gauss dans le triangle sphérique BTP' rectangle en T, il vient : $\text{tg}H' = -\sin \varphi .\text{tg}H$ qui est la relation utilisée ici.

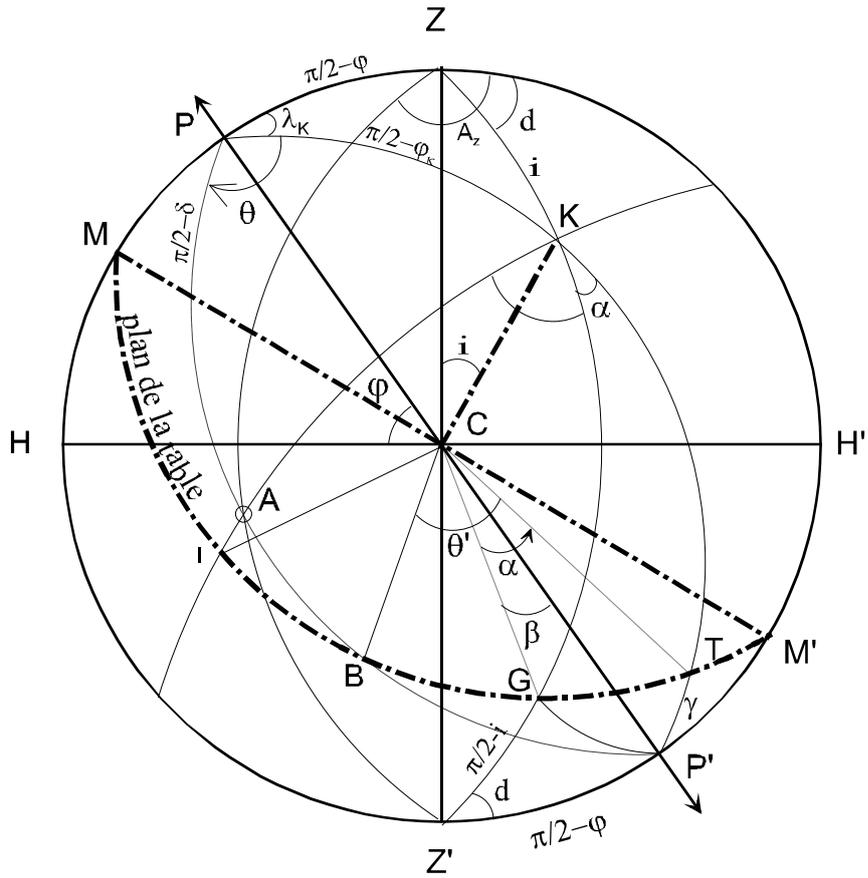


Figure A1: sphère céleste et angles fondamentaux

Annexe 2 : Système des Maisons astrologiques

La figure A2 montre la sphère céleste, selon le système de Regiomontanus (issue d'un travail de Denis Savoie).

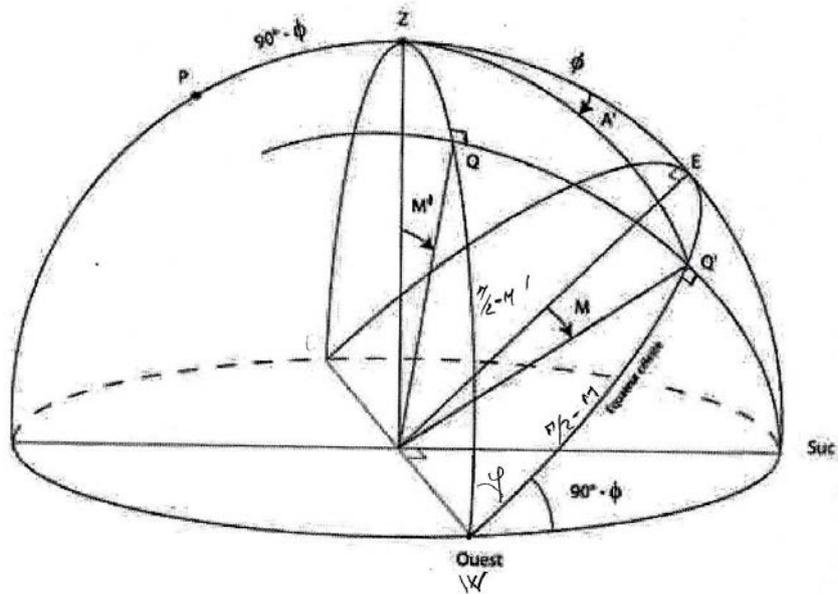


Figure A2 : système de Regiomontanus

Q' indique l'emplacement du Soleil et $M = 30^\circ$.

Dans le triangle sphérique rectangle QWQ' (rectangle en Q et Q', en appliquant la relation du groupe de Gauss on a directement :

$$\cos \varphi = \operatorname{tg}(\pi/2 - M') \cdot \operatorname{ctg}(\pi/2 - M) = \operatorname{ctg} M' \cdot \operatorname{tg} M$$

Or rappelons les relations de passage en coordonnées horaires :

$$\sin A \cdot \cos h = \sin H \cdot \cos \delta$$

$$\text{et } \sin h = \cos H \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi + \sin \delta \cdot \sin H$$

Obtenues en tenant compte du groupe de Gauss sur la figure A1 avec $ZA = \pi/2 - h$ et l'angle $ZPA = H$, il vient donc :

$$\operatorname{tg} M' = \sin A \cdot \operatorname{ctg} h = \operatorname{tg} M / \cos \varphi$$

soit

$$\operatorname{tg} M = \operatorname{tg} M' \cdot \cos \varphi = \sin H \cdot \cos \varphi / (\sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta + \cos \varphi \cdot \cos H)$$

ce qui est la relation de Campanus de Novare multipliée par $\cos \varphi$.

On doit alors résoudre l'équation :

$$\sin(M-H) = -\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \sin M \text{ d'où l'on déduit facilement } H.$$

Mais pour un cadran horizontal, comme le stipule Denis Savoie, il est inutile de passer par cette méthode pour tracer les maisons de Regiomontanus, car la projection au sol des méridiens donne des droites parallèles perpendiculaires à la ligne d'équinoxe et distantes de la quantité $a \cdot \operatorname{tg} M / \cos \varphi$ de la ligne de midi, ce que nous appliquons ici .

Annexe 3 : Calcul de l'extrémité de l'ombre en coordonnées cartésiennes

Sur la figure A3 ci-après montrant un cadran solaire plan incliné, on a choisi l'axe des x horizontal et l'axe des ordonnées y sur l'axe de plus grande pente (PGP). On voit que l'extrémité K du style droit de longueur "PK=a" projette son ombre I (x,y) sur la table P inclinée avec un angle "i" :

$$x = PI \cdot \sin \kappa = a \cdot \operatorname{tg} PKI \cdot \sin \kappa \quad \text{et} \quad y = PI \cdot \cos \kappa = a \cdot \operatorname{tg} PKI \cdot \cos \kappa$$

avec $\kappa =$ angle du style droit avec l'axe des y (Ligne PGP de plus grande pente), l'angle PKI étant celui que fait le style droit avec le Soleil.

Pour calculer les angles ci-dessus, nous utiliserons à nouveau la trigonométrie sphérique et le groupe de Gauss. Déterminons tout d'abord où se trouve l'ombre du style droit I sur le plan de la table de la figure A1, c'est-à-dire l'intersection CI du grand cercle polaire passant par K et celui passant par le zénith. I donne la direction de l'ombre de K sur la table, donc l'angle ICG qui est précisément l'angle κ entre la ligne de plus grande pente et l'ombre de PK.

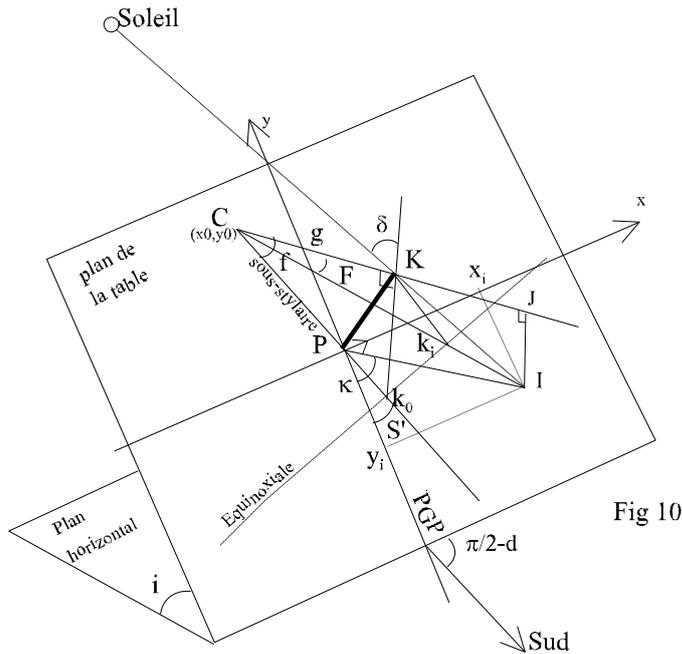


Figure A3 : extrémité I (x,y) de l'ombre

1er temps : évaluons $\cos AK$ en utilisant la relation ad-hoc du groupe de Gauss dans le triangle sphérique PKA de la figure A1 et en tenant compte du fait que l'on est en présence d'un cadran horizontal non déclinant.

$$\cos AK = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H$$

ou encore

$$\cos AK = Q \cdot \cos \delta$$

$$\text{en posant } Q \text{ (dénominateur)} = \cos H \cdot \cos \varphi + \sin \varphi \cdot \text{tg} \delta$$

2ème temps : on évalue ensuite $\sin \kappa$ en se servant à nouveau du groupe de Gauss dans les triangles sphériques ZKA et ZPA, ce qui donne :

$$\sin \kappa \cdot \sin AK \cdot \sin A = \sin H \cdot \cos \delta \cdot \sin A$$

en reportant la valeur trouvée dans $x = PI \cdot \sin \kappa$, il vient pour un cadran horizontal non déclinant :

$$x = a \cdot \sin H / Q$$

enfin, dans les triangles sphériques ZKA et ZAP nous trouvons :

$$y = a \cdot (\sin \varphi \cdot \cos H - \cos \varphi \cdot \text{tg} \delta) / Q$$

Annexe 4 : formule des cadrans indiquant la hauteur du Soleil :

Reprenons la relation fondamentale du groupe de Gauss en considérant le triangle ZPA de la figure A1 avec $ZA = \pi/2 - h$

$$\cos (\pi/2 - h) = \cos (\pi/2 - \delta) \cdot \cos (\pi/2 - \varphi) + \sin (\pi/2 - \delta) \cdot \sin (\pi/2 - \varphi) \cdot \cos H$$

Soit

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos H$$

Il vient :

$$\cos H = (\sin h - \sin \varphi \cdot \sin \delta) / \cos \delta \cdot \cos \varphi.$$





Horloge héliocaustique

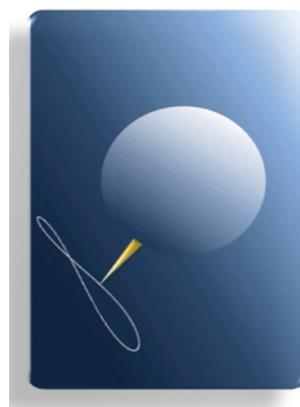
Francis Ziegeltrum

Peut-on utiliser le faisceau de lumière engendré par une boule en verre éclairée par le Soleil pour indiquer l'heure locale sur un écran plan? Francis nous l'avait suggéré lors de notre réunion d'octobre 2012 et l'a démontré concrètement deux années plus tard.

La caractéristique d'un faisceau de lumière engendré par une boule en verre éclairée par le Soleil est qu'il se concentre suivant une figure géométrique que l'on nomme caustique.

Les caustiques, phénomènes purement optiques, ont été étudiées dès le XVIIe par tous les éminents mathématiciens contribuant à leur progressive mise en équation, mais aujourd'hui encore beaucoup reste à faire.

L'application à la gnomonique était inéluctable : puisque la caustique d'une boule de verre suit exactement le mouvement apparent du Soleil il semblait facile de réaliser une horloge solaire ou plutôt une horloge héliocaustique. D'ailleurs dès le XVIIe Jacques Ozanam a imaginé d'utiliser la chaleur produite par la pointe de la caustique pour chauffer des lames de métal placées autour d'une boule en verre pour permettre à un aveugle de connaître l'heure solaire.



Quelques gnomonistes contemporains ont réalisés des horloges héliocaustiques en utilisant la pointe de la caustique pour indiquer l'heure solaire ou même l'heure légale sur des écrans incurvés. Mais aucun n'a eu l'idée de se servir de la partie centrale de la caustique appelée nappe sagittale qui rend alors possible l'utilisation d'un écran plat portant les courbes en huit.

Dans un premier temps, il sera donné toutes les explications concernant le fonctionnement. Puis ayant trouvé un carreau de vitrocéramique je présenterai une maquette de l'horloge héliocaustique que j'ai réalisée.

Fonctionnement

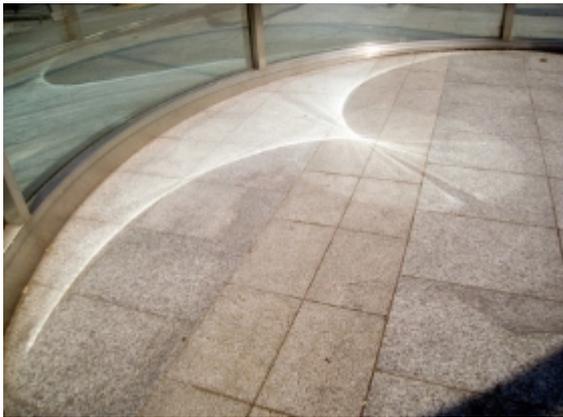
Qu'est-ce qu'une caustique ?

Le terme caustique désigne d'une façon générale l'enveloppe des rayons lumineux issus d'un point à distance finie (caustique « au flambeau ») ou infinie (caustique « au soleil ») après modification par un instrument optique.

On distingue :

La catacaustique : caustique formée par la réflexion des rayons lumineux par un miroir courbe (figure 1).

La diacaustique : caustique formée par la réfraction des rayons lumineux par un dioptré (figure 2).



◀ Figure 1

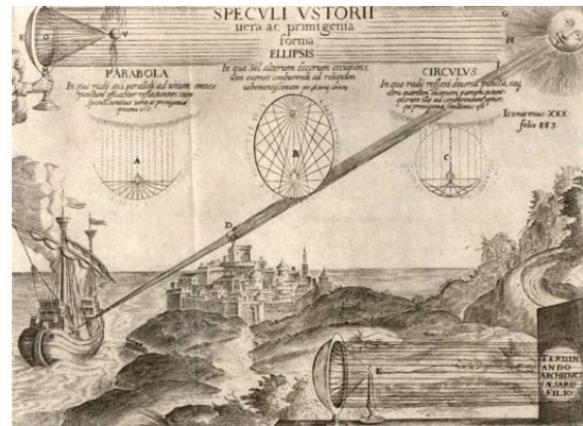
Figure 2 ▲

Aperçu historique

- En 213 av JC les romains assiègent Syracuse Archimède aurait réussi à enflammer les navires des romans à l'aide de grands miroirs en bronze polie. Cette illustration du livre de Kircher met en scène cette légende.

Première remarque : vu la position du Soleil par rapport au navire il semblerait plutôt s'agir d'une boule de verre.

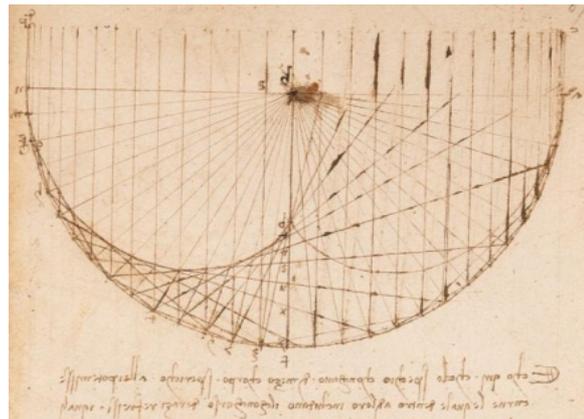
Deuxième remarque : plus intéressants sont les illustrations montrant la parabole, l'ellipse et le demi-cercle.



Siège de Syracuse et les miroirs ardents d'Archimède
Ars Magna Lucis et Umbrae (Kircher)

- A la Renaissance : Léonard De Vinci (1452-1519), Codex Arundel Esquisse de la caustique du cercle. Il s'agit du premier tracé de caustique connu.

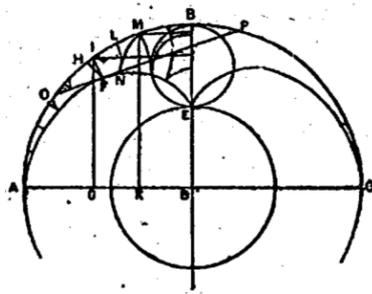
Il s'agit du premier tracé de caustique connu (ci-contre).



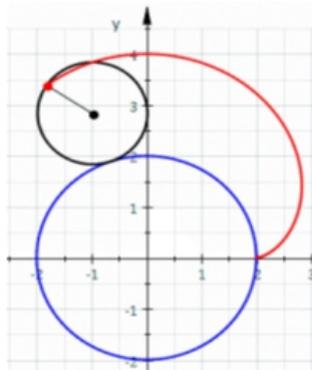
Premières études

En 1690, dans son livre *Traité de la lumière*, Christian HUYGENS (1629-1695) donne une représentation géométrique de la caustique d'un cercle.

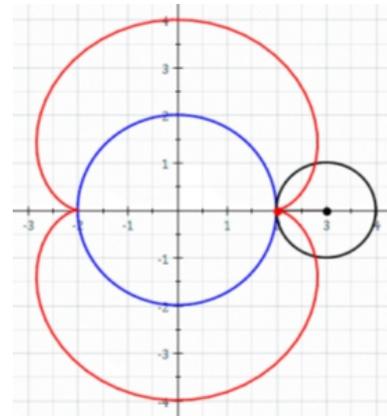
La caustique d'un cercle est une néphroïde c'est-à-dire une épicycloïde à deux rebroussements (cercle de rayon $a/2$ roulant à l'extérieur d'un cercle de rayon a).



Représentation de Ch. Huygens



▲ Néphroïde (construction)
Néphroïde (complète) ►



Ehrenfried-Walter TSCHIRNHAUSEN (1651-1708) créa le mot caustique à partir du mot grec *kaustikos* provenant de *katein = brûler*.

Jacques et Jean Bernoulli s'emparèrent du sujet et le traitèrent d'une manière beaucoup plus générale. Ils n'ont considéré les caustiques que sous leur aspect mathématique, c'est-à-dire, comme des courbes dont il était intéressant de rechercher les propriétés.

On trouve dans l'Analyse des infiniment petits du Marquis de l'Hôpital (1661-1704), une méthode pour déterminer les caustiques par réflexion et par réfraction d'une courbe quelconque.

Mise en équation

Jean de Thomas de St Laurent (1762-1835), Arthur Cayley (1821 - 1895) puis Henri Bouasse (1866 - 1953) parviennent à mettre quelques courbes caustiques en équation.

Par exemple l'équation de la catacaustique d'un miroir cylindrique est :

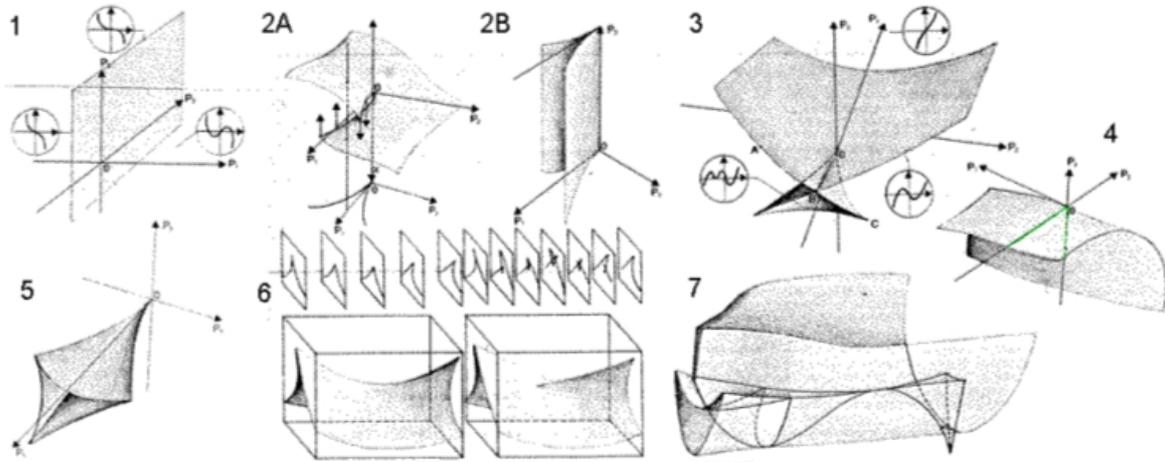
$$\begin{cases} x(\theta) = \frac{R}{2}(3 - 2\cos^2 \theta)\cos \theta \\ y(\theta) = R \sin^3 \theta \end{cases}$$

Généralisation

La théorie des catastrophes fondée par le mathématicien René Thom (1923-2002) permet une nouvelle interprétation mathématique du phénomène optique de focalisation.

Les caustiques peuvent être classées suivant leur topologie.

De nombreuses recherches sont en cours pour mettre au point des outils mathématiques pour simuler les surfaces caustiques.



Un sujet toujours brûlant

L'hôtel Vdara à Las Vegas est un immeuble de 170 m a ouvert ses portes en 2009.

Dès septembre 2010 des clients assis devant la piscine ont été sérieusement brûlés par un soit-disant rayon de la mort, qui a également fait fondre des objets en plastique.

Une étude a été publiée en août 2012 par deux chercheurs allemands. Ils ont démontré que c'est la forme en arc de cercle des immeubles et les vitres très réfléchissantes qui produisaient une caustique dont le point de rebroussement balayait les bords de la piscine.

L'étude montre que des températures de 200 à 250°C pouvaient être atteintes localement en quelques secondes. D'importants travaux sont alors prévus. C'est la plus grande caustique actuellement connue.

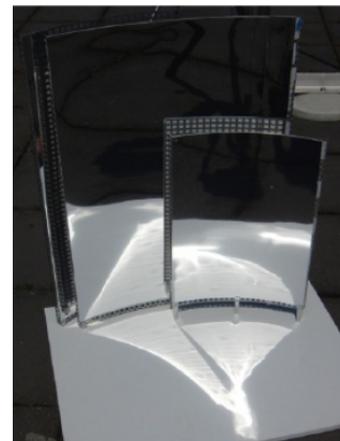
Etude des caustiques des tours de l'hôtel Vdara à Las Vegas ►

Caustic effects due to sunlight reflections from skyscrapers simulations and experimentation : M Vollmer and K-P Möllmann ►

Conclusion

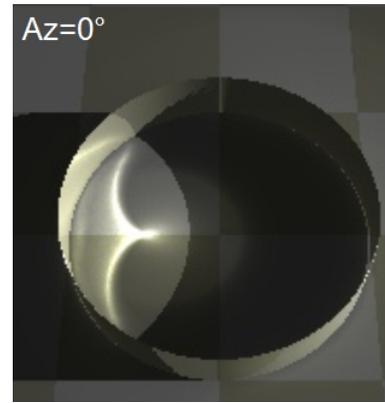
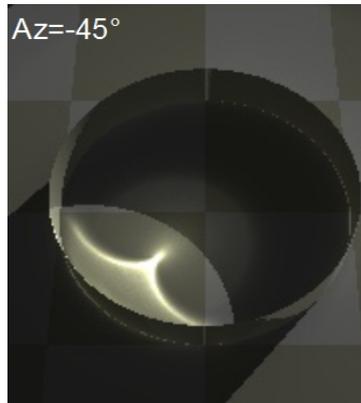
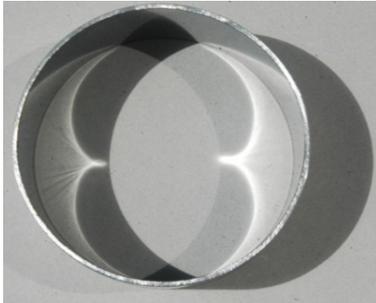
Les caustiques, phénomènes optiques, ont été un sujet d'étude pour de nombreux mathématiciens.

Certaines caustiques ont même été mises en équation.

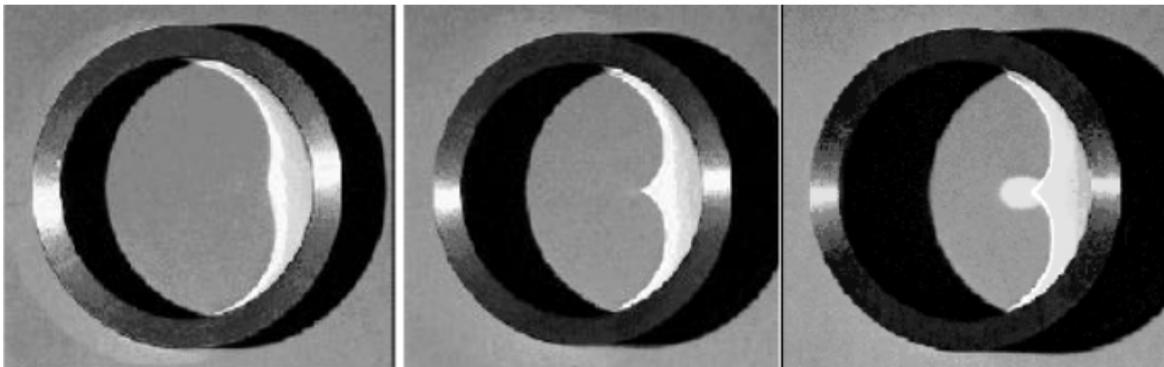
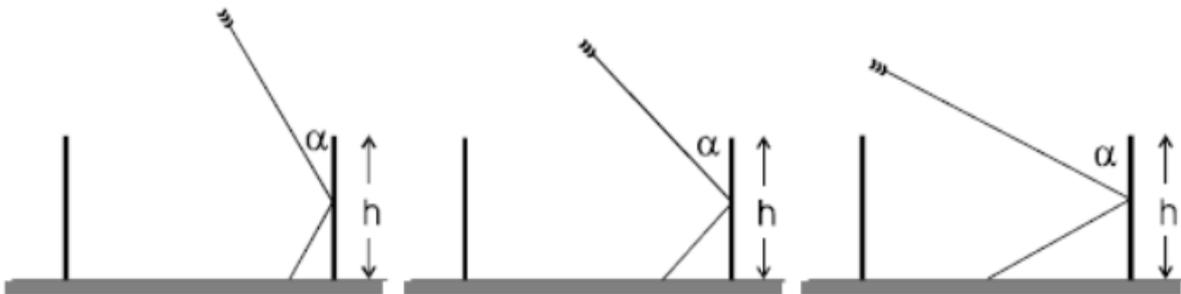


Les catacaustiques

Les catacaustiques d'un miroir cylindrique.



Influence de l'angle d'incidence



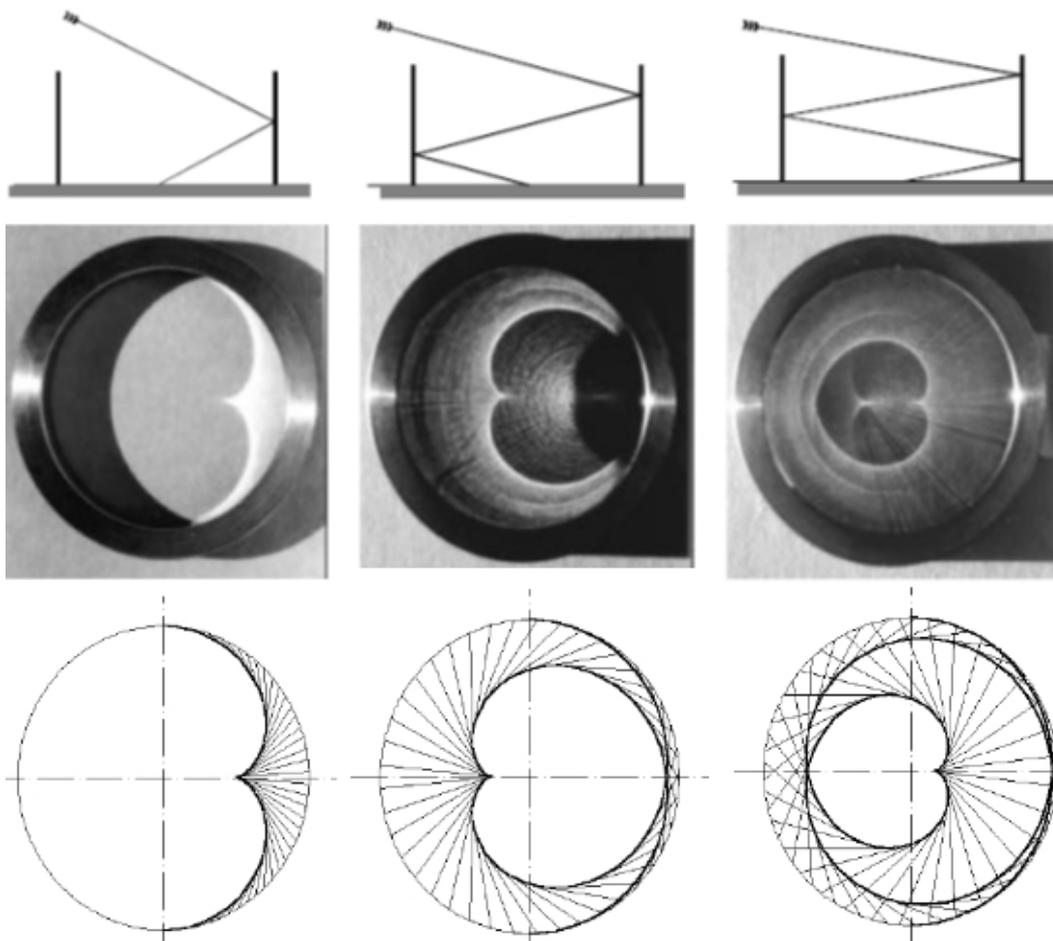
$$h \cdot \tan \alpha < \frac{r}{2}$$

$$h \cdot \tan \alpha = \frac{r}{2}$$

$$h \cdot \tan \alpha > \frac{r}{2}$$

Source : Playing with caustic phenomena Christian Ucke/Christoph Engelhardt

Influence de la hauteur du miroir



Source : Kaustik in der Kaffeetasse Christian Ucke/Christoph Engelhardt

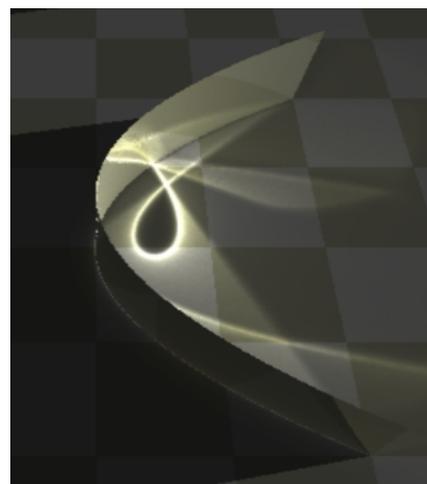
Les catacaustiques d'un miroir parabolique

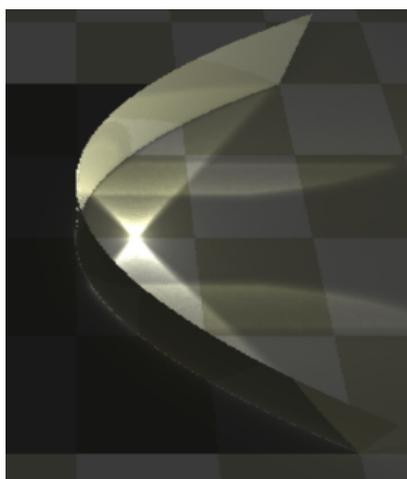
La parabole est très connue pour ses propriétés optiques. Elle concentre en son foyer les rayons parallèles à son axe.

Si les rayons ne sont pas parallèles à l'axe, il se forme une caustique en forme de courbe de Tchirnhausen.

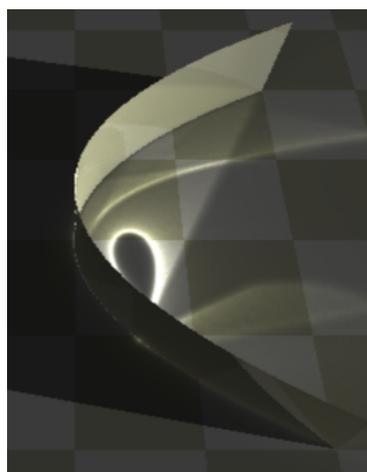
Cette caustique suit le mouvement du Soleil, mais uniquement l'azimut et non la hauteur.

Azimut de 10° ►





Azimet de 0°



Azimet de 10°

Les catacaustiques d'un miroir en forme de deltoïde

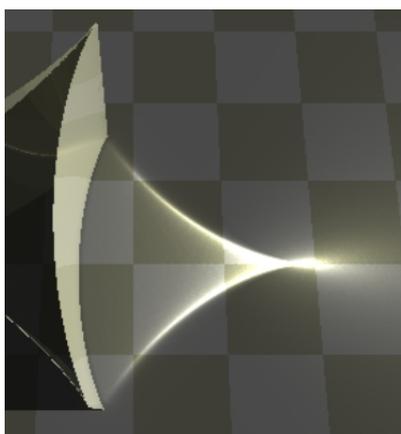
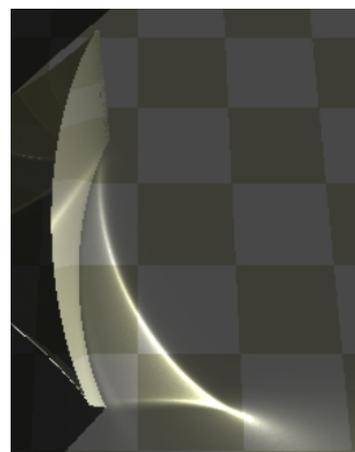
La deltoïde est une courbe de la famille des cycloïdes.

Cette courbe a la particularité de produire une caustique en forme d'astroïde dont les points de rebroussements suivent le mouvement du Soleil.

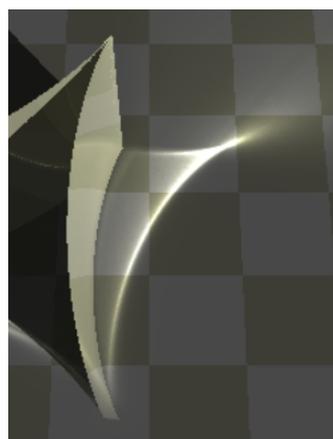
Jean François Echard¹ a déposé un brevet en 2005 pour ce type de cadran solaire.

Malheureusement la forme de la caustique n'est pas sensible aux variations de la hauteur du Soleil.

Azimet de 45° ►



Azimet de 0°



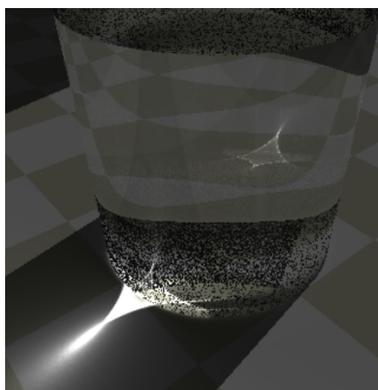
Azimet de 90°

¹ Article de M. Echard : *Cadran à réflexion* dans cadran Info n° 14 ; études des caustiques par D. Collin dans les Cadran-Info n°32 et 33.

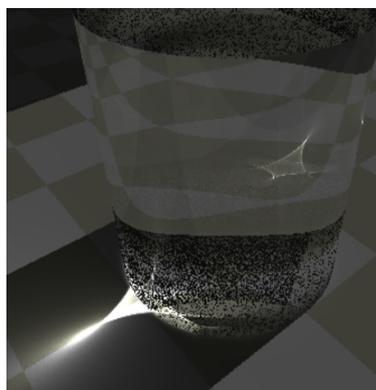
Les diacaustiques

Ci-contre une représentation de ces courbes.

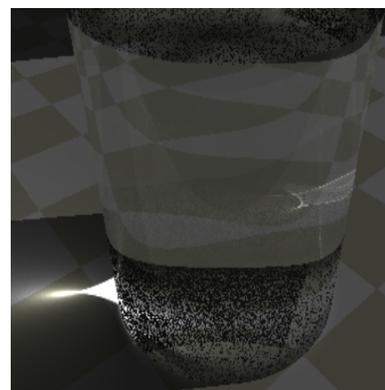
Ci-dessous diacaustiques d'un cylindre en verre suivant trois orientations.



Azimet - 10°



Azimet 0°



Azimet 30°

Cadran solaires et caustiques

Voici quelques cadrans solaires dont l'indication des heures est réalisée avec une caustique produite par un cylindre en verre.



▲ Cadran de Walter Gordon Benoy

Cadran de Enich Pollähne ►

Source Wikipedia



Ci-dessous un cadran de Enich Pollähne à Wennnigen

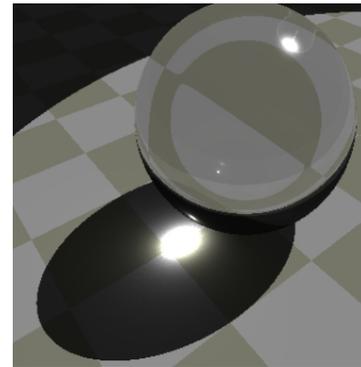


Diacaustique d'une boule en verre

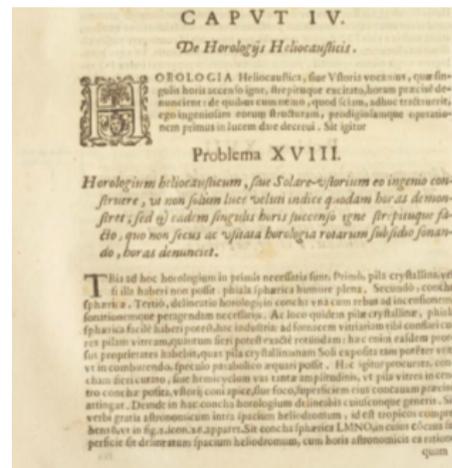
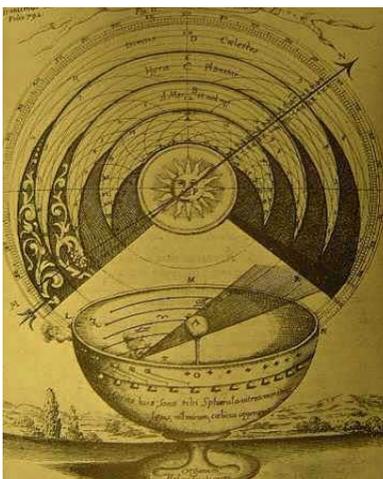
Athanasius Kircher a décrit dans son livre une horloge héliocaustique dont la chaleur permet de mettre le feu à de la poudre à chaque heure.

On notera la petitesse de la boule par rapport à sa caustique.

Ce qui est dérangeant, c'est que l'on attribut l'invention du mot caustique à Tchirnhausen, alors que Kircher utilise déjà ce vocabulaire.



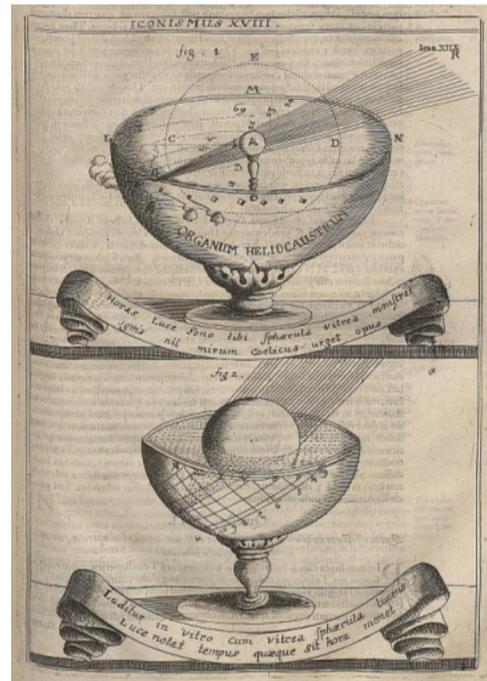
Horologium heliocausticum Athanasius Kircher
1646 *Ars Magna Lucis et Umbrae* ▼



Quelques années plus tard Johannes Zahn reprend l'idée de Kircher et rajoute un exemple d'une horloge héliocaustique.



Héliographe de Campbell-Stokes Vers 1850



Oculus artificialis teledioptricus

Cadran solaire pour aveugle de Claude Guicheteau d'après Jacques Ozanam

source : <http://www.cadran-solaires.fr/cadran-solaire-pour-aveugles.html>



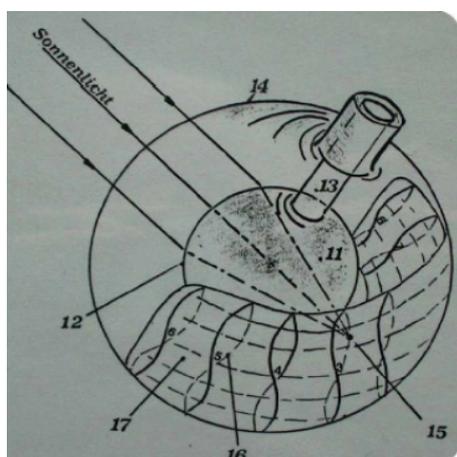
GNOMONIQUE. 219
PROBLÈME XVIII.
Faire un Cadran solaire auquel un aveugle puisse connoître les heures.
VOICI un singulier paradoxe. Nous allons néanmoins faire voir qu'on pourroit établir aux Quinze-Vings, pour l'usage des aveugles qui l'habitent, un cadran solaire où, par le moyen du tact, ils reconnoissent l'heure.
 Soit, pour cet effet, un globe de verre de 18 pouces de diamètre & plein d'eau; il aura son foyer à 9 pouces de sa surface, & la chaleur que ce foyer produira sera assez considérable pour être très-sensible à la main sur laquelle il tombera. D'un autre côté il est facile de voir que ce foyer suivra absolument le cours du soleil, puisqu'il lui sera toujours diamétralement opposé.
 Soit donc ce globe environné d'une portion de sphère concentrique, éloignée de sa surface de 9 pouces, & comprenant seulement les deux tropiques avec l'équateur, & les deux méridiens ou colures; & que cet instrument soit exposé au soleil dans la position convenable, c'est-à-dire son axe parallèle à celui de la terre.
 Que chacun des tropiques & l'équateur soient divisés en 24 parties égales, & que les parties correspondantes soient liées par une petite barre qui représentera une portion de cercle horaire, compris entre les deux tropiques; on aura, par ce moyen, tous les cercles horaires, représentés de manière qu'un aveugle pourra les compter, depuis celui qui représentera le midi, qu'il sera facile de désigner par une forme particulière.
 Lors donc qu'un aveugle voudra connoître

Faire un cadran solaire auquel un aveugle puisse connaître les heures (Ozanam)

Page suivante, un cadran solaire au Kitt Peak National Observatory, réalisé par Stephen Jacobs et installé en 2005.



Cadran de Iwan Kahn.



Conclusion

Les réalisations existantes montrent qu'une boule en verre, grâce à sa caustique, peut servir d'horloge solaire et peut même indiquer le temps moyen.

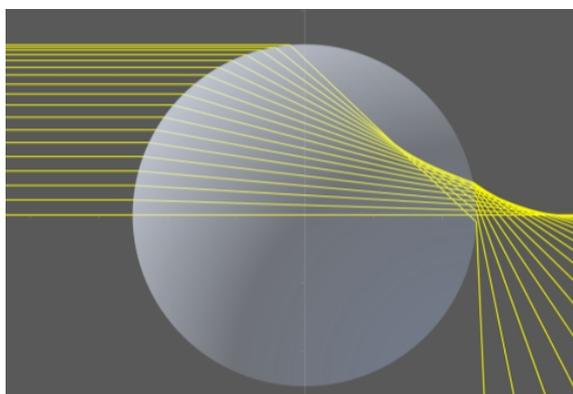
Peut-on réaliser une horloge solaire de temps moyen à cadran plat?

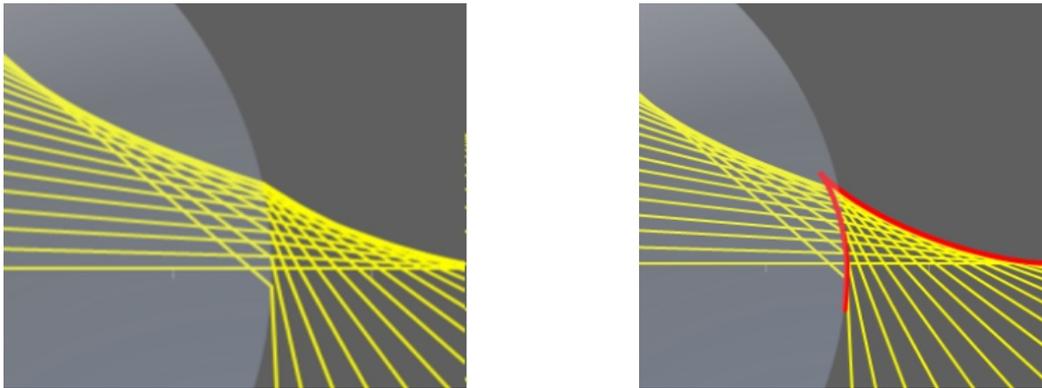
Etude de la caustique d'une boule en verre

Dicaustique d'une boule de verre : les rayons du Soleil sont déviés une première fois par le passage de l'air dans le verre puis une deuxième fois en passant du verre dans l'air.

Les rayons émergents sont tangents à une courbe en rouge, c'est la caustique de la boule de verre.

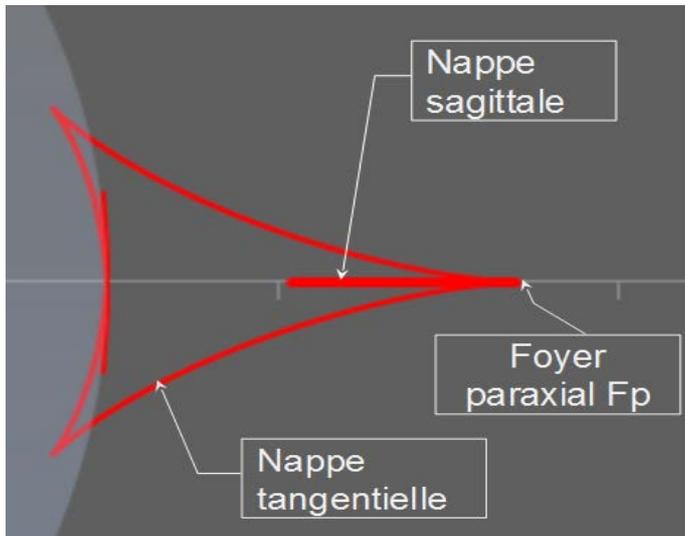
En examinant la sortie des rayons, on observe





... que tous les rayons émergents sont tangents à une surface de révolution appelée nappe tangentielle et se croisent le long de la nappe sagittale.

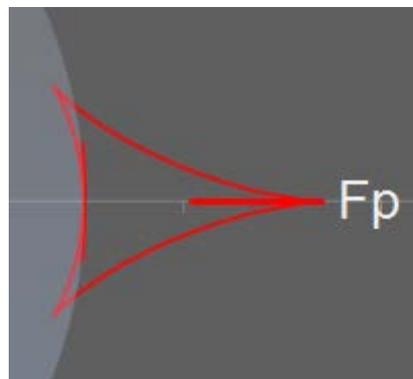
Seuls les rayons centraux convergent au foyer paraxial Fp.



Foyer paraxial Fp

Calcul de la distance du foyer paraxial Fp au centre de la sphère. Cette distance dépend du rayon de la boule et de la matière. Plus l'indice de réfraction est faible plus cette distance focale est élevée.

$$\overline{OF_p} = \frac{n \cdot R}{2(n - 1)}$$

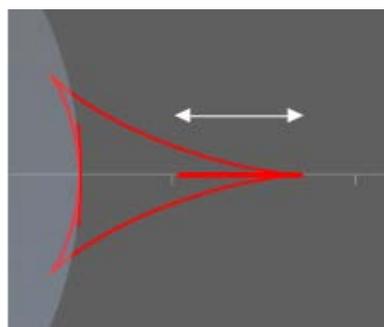


Substance	Indice de réfraction n	Distance focale R=50mm
Eau	1,33	100,75
Verre	1,51	74,0

Longueur de la nappe sagittale

La longueur de la nappe sagittale dépend de l'indice de réfraction du milieu car à partir d'un certain angle, les rayons sont entièrement réfléchis.

$$\text{angle critique} = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right)$$

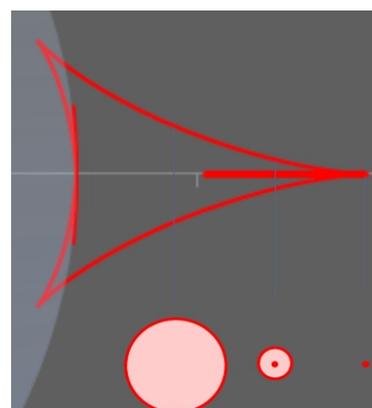


Substance	Indice de réfraction n	Angle critique	Longueur à partie de Fp
Eau	1,33	48,75°	23 mm
Verre	1,51	41,47°	13 mm

Géométrie de la caustique

Ci-contre les trois coupes de la caustique.

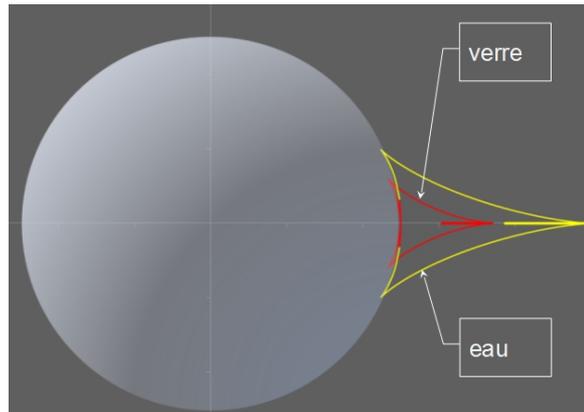
L'extrémité se réduit à un point très lumineux. La coupe au niveau de la nappe sagittale fait apparaître une tache avec en son centre un point très lumineux. Enfin, la dernière tranche montre l'absence du point central.



Influence de l'indice de réfraction et taille du point.

La nappe sagittale est l'image du Soleil. Le diamètre apparent du Soleil est de 32', donc l'épaisseur de la nappe sagittale est de :

$$2 \cdot \overline{OFp} \cdot \tan\left(\frac{32}{60 \cdot 2}\right) = 2 \cdot 74 \cdot \tan\left(\frac{32}{60 \cdot 2}\right) = 0,68\text{mm}$$



Intensité de la nappe sagittale

La puissance solaire incidente est en moyenne de 1400 W/m². Comme la sphère a un rayon de 50 mm, la puissance sur la demi-sphère est de 22 W.

En utilisant la loi dite de Stefan on peut calculer la température du point sur l'écran, on trouve 800° C. Se pose le problème de la matière de l'écran. Il doit résister aux hautes températures.

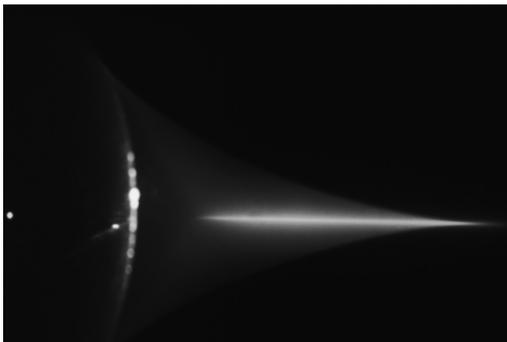
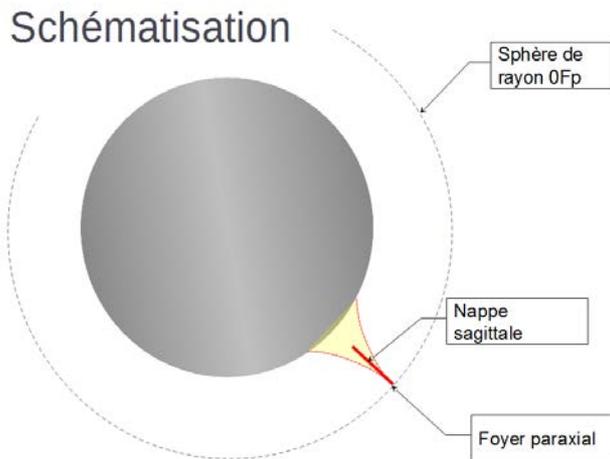


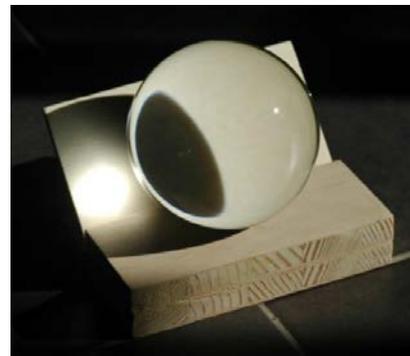
Photo de la caustique (aberration physique du 3^e ordre d'une lentille. Source <http://semint.supelec.fr>)



Réalisation d'une maquette

En utilisant une boule de verre de 100 mm de diamètre (indice de réfraction n = 1.51 soit Fp = 74 mm) et pour une longitude = -7°26', une latitude = 47°36', on s'aperçoit qu'en quelques secondes d'exposition au Soleil suffisent pour brûler le bois.

En conclusion, la nappe sagittale de la diacaustique d'une boule de verre peut être utilisée pour indiquer très précisément l'heure sur un écran.

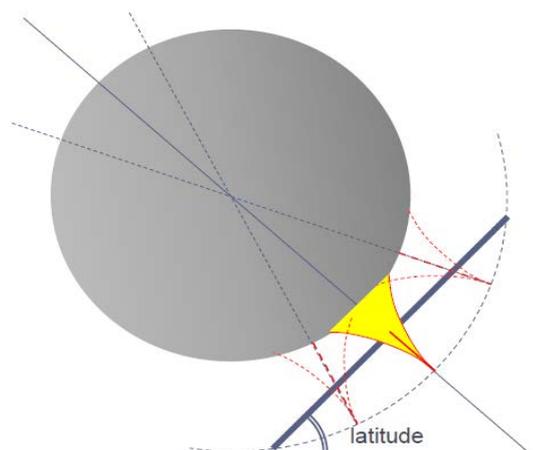
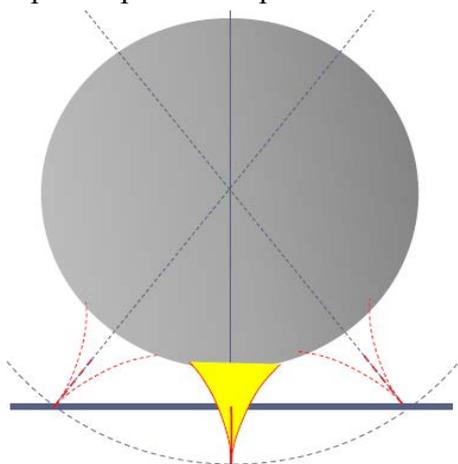


Impact de la caustique sur écran
de bois ►



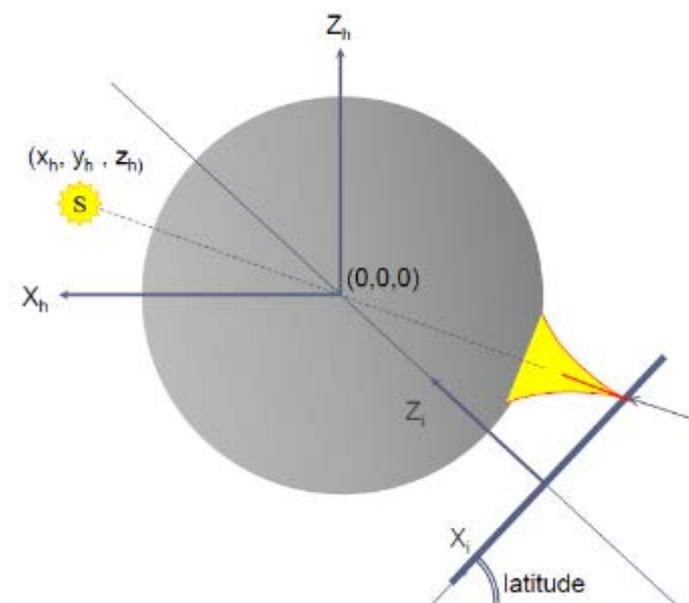
Maquette de l'horloge héliocaustique

Mesure par les points d'impacts sur l'écran



Mesure de la hauteur

Mesure de l'azimut : l'écran est placé à la limite de la nappe sagittale.



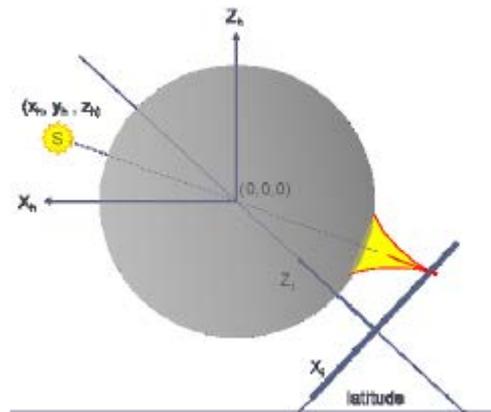
(x_h, y_h, z_h) sont les coordonnées du Soleil dans le repère local

Le point d'impact est le projeté du centre de la sphère suivant le vecteur S_0

Calcul des courbes en huit

Les coordonnées (x_h, y_h, z_h) du Soleil dans le repère local sont calculées en utilisant la formule :

$$\begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \end{pmatrix} = R_y\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \cdot R_z(\text{LMST}) \cdot R_x(-\varepsilon) \begin{pmatrix} \cos\alpha \\ \sin\alpha \\ 0 \end{pmatrix}$$



L'écran étant incliné, les coordonnées du Soleil dans le repère lié à l'écran s'écrivent :

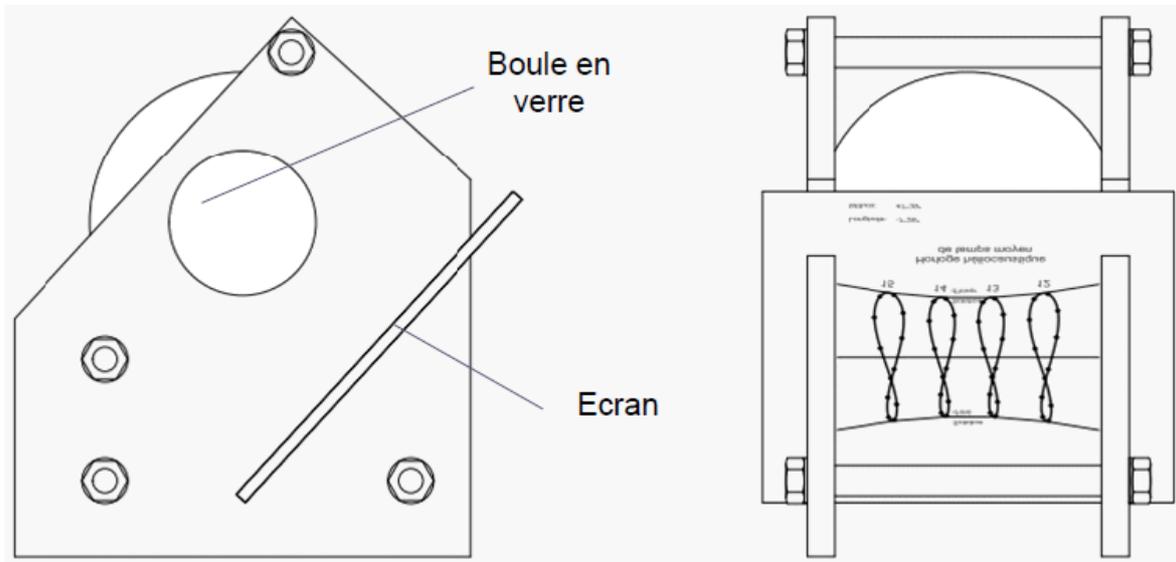
$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = R_z(\phi) \begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \end{pmatrix}$$

Enfin on projette le centre de la boule dont les coordonnées dans le repère écran sont ►

suivant la droite passant par S et par le centre de la boule

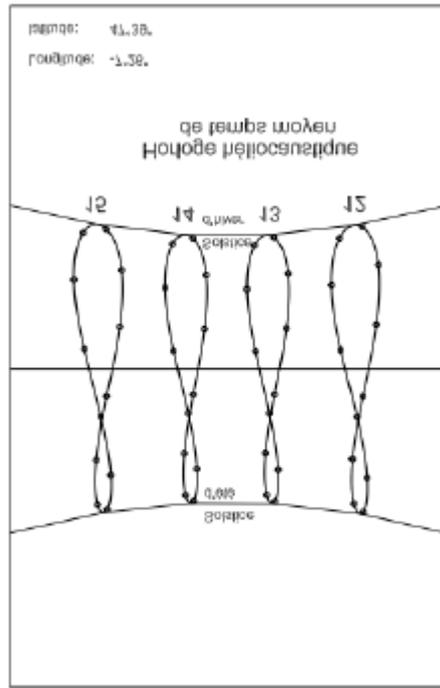
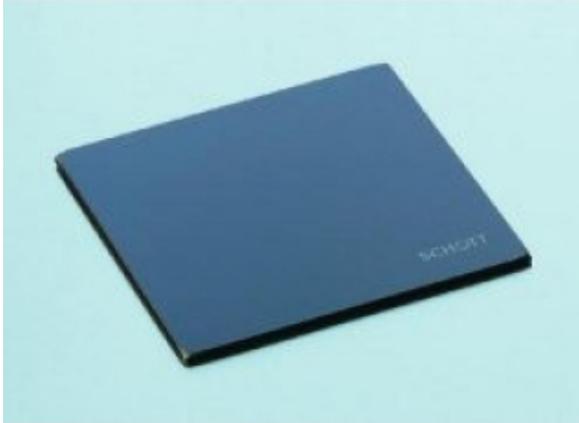
$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ R \end{pmatrix}$$

Plan de la maquette

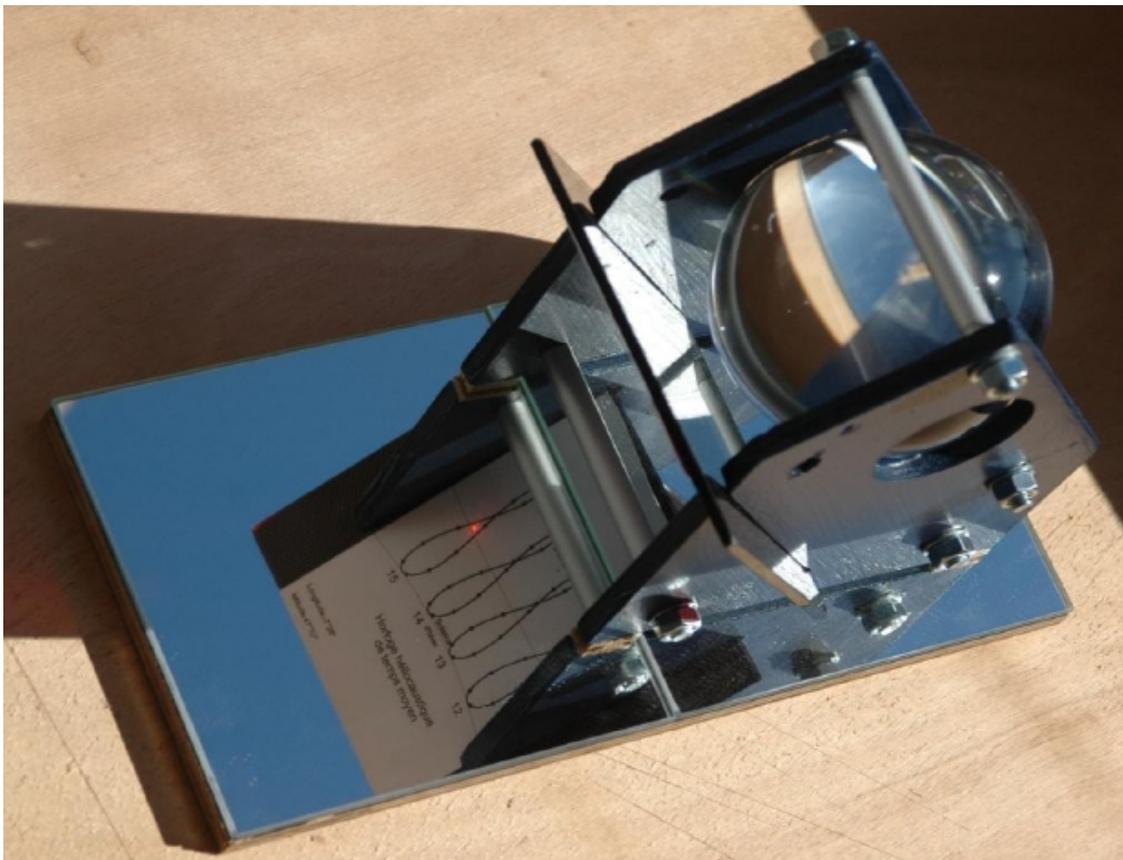


Ecran

L'écran est constitué d'une plaque de protection en vitrocéramique résistant à une température de 700°C (photo ci-après à gauche) et d'une feuille bristol sur laquelle sont imprimées les courbes en huit. (reproduction ci-après à droite)

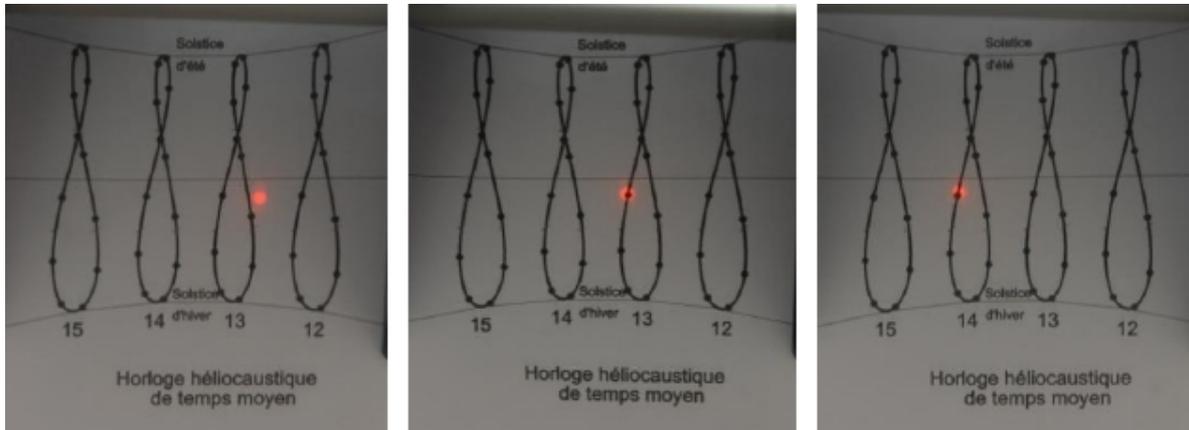


Vue générale de la maquette



Lecture de l'heure

Projection sur l'écran à différentes heures.



Les deux diaporamas de présentation (octobre 2012 et octobre 2014) sont disponibles sur le site de Francis Ziegeltrum :

<http://francis.ziegeltrum.perso.sfr.fr/>

et plus précisément à la page :

<http://francis.ziegeltrum.perso.sfr.fr/heliocaustique.html>





INFORMATIONS DIVERSES



° Dernières réalisations ou découvertes

- Pierre Juillot & Jean-Marie Poncelet : Mont Sainte-Odile

A partir de recherches historiques et sur le terrain, P. Juillot et J-M. Poncelet ont découverts quatre nouveaux cadrans.

Le premier est réduit à l'état de traces sur une pierre vers le milieu du mur du clocher. S'agirait-il du cadran que le chanoine Schir déclare avoir installé en 1858 ?



Le second et le troisième se situent sur les deux montants du vitrail situé dans l'escalier d'honneur du couvent. Déplacés, ils auraient été inversés.



Cadran du montant gauche



Cadran du montant de droite

Le quatrième cadran est un bloc gnomonique découvert par hasard dans les alentours du couvent.

Le tracé des lignes fait penser qu'il a bien été calculé pour ce dernier.

⇒ Dans la version numérique, vous trouverez en annexe :

° une présentation historique et gnomonique de ces nouveaux cadrans :

"CS Ste Odille.pdf"



- Claude Gahon : L'Héliogire

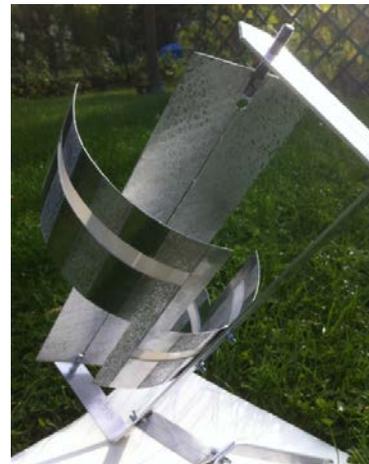
« On reste dans l'équatorial et les plans horaires, c'est mon truc !

Il y a pourtant du nouveau avec "Héliogire" : le style est une lame tournante autour de son grand axe, en position polaire et l'on peut lire l'heure solaire à l'intérieur et à l'extérieur de la structure. L'axe de la lame est une fente, on peut donc avoir une ombre et une raie de lumière sur les plaques "circulaires" gravées d'heure en heure sur leur deux faces.

Il faut tourner la plaque pour que son ombre soit minimum, ou pour que la raie lumineuse soit toujours visible quelle que soit la position de la plaque. L'heure est ainsi repérée par un trait d'ombre ou par un trait de lumière.

On s'aperçoit, et c'était mon but, qu'en faisant tourner assez rapidement la plaque, il y a persistance de la raie lumineuse (effet stroboscopique). D'où mon idée de faire tourner la plaque de façon quasi permanente en associant une éolienne.

A méditer. »



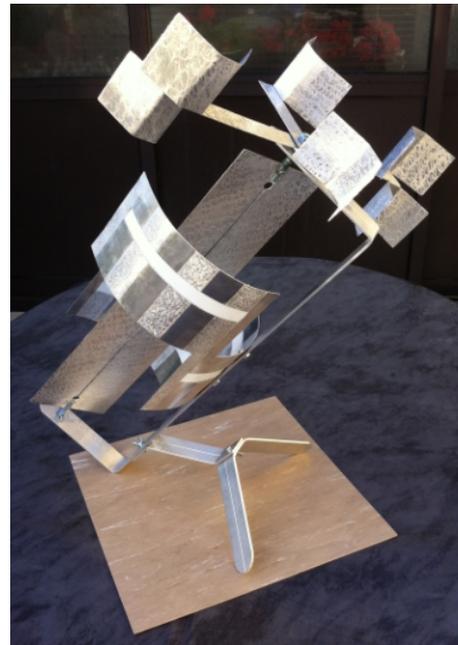
Voici maintenant la version définitive de l'Héliogire avec mon idée d'éolienne associée. Je dois reconnaître qu'il y a trop de frottements entre matériaux pour que la lame tourne correctement. Pas grave, j'ai quand même atteint mon objectif de la faire fonctionner grâce au vent.

- Claude Gahon : ADN

Et puis est sorti "ADN", dont le nom vous semblera évident en voyant les photos.

Son fonctionnement et la lecture de l'heure vous paraîtront tout aussi évident au vu des boules dont j'ai déjà utilisé plusieurs fois les propriétés de translucidité.

Une heure ronde correspond à chaque boule qui est dotée d'un petit trou par lequel passent les rayons du soleil qui font ainsi une tache de lumière visible par l'extérieur de la boule.

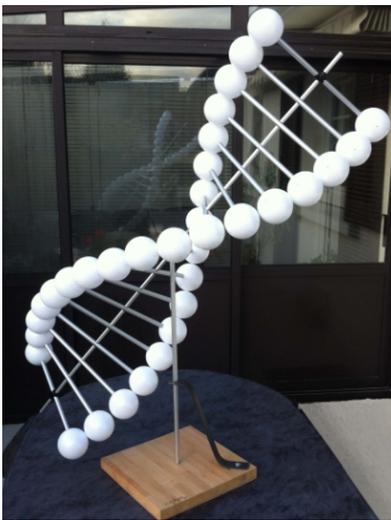


La plage horaire de chaque boule est délimitée par deux lignes de petits trous, il suffit donc, pour lire l'heure solaire, de chercher la boule dont la tache lumineuse se situe entre ces deux lignes. (une erreur de calcul m'a fait construire deux autres lignes avec des trous plus espacés, il ne faut pas en tenir compte, je n'ai pas voulu racheter d'autres boules !!).

Il n'y a qu'une spirale opérationnelle avec des boules percées, l'autre est pour la symétrie et l'image ADN.

On ne trouve pas forcément, dans les commerces classiques, des boules de toutes les dimensions voulues, et la dimension finale de l'objet s'en ressent ; c'est un géant de presque 1.50 m de longueur pour 45 cm de diamètre. Il est composé de "Boules de Noël" en plastique de diamètre 8 cm, de tubes d'aluminium diamètre 12 et 10 mm .

Il faut maintenant que je trouve le bon endroit pour placer "la bête". Mais inutile d'y rechercher les origines de mes caractères génétiques !



- Claude Gahon : Carillon

Je vous propose de le faire grâce à ce carillon à vent. Son aboutissement n'a pas été simple.

Une sculpture, que j'ai photographiée en Corse l'année dernière et dont vous pouvez en voir l'image jointe, m'avait interpellé et je m'étais dit que ce carillon, car je ne vois pas ce que cela pourrait être d'autre, pouvait devenir un cadran.

Chaque triangle devait pouvoir correspondre à une heure, mais pour cela il fallait qu'il soit fixe et dans un plan horaire, mais il devait aussi pouvoir donner un son de cloche pour que l'ensemble soit toujours un carillon.

J'avais donc imaginé un système de suspension qui maintenait les triangles dans les plans horaires et qui pouvait s'escamoter pour les laisser pendre et s'entrechoquer. C'est ce qui est montré sur la photo A.

Mais j'ai abandonné : trop compliqué à mettre en œuvre et résultat esthétique peu probant.





Ne voulant quand même pas perdre tout le travail engagé, j'ai revu ma copie, et vous avez les photos du résultat.

Tous les triangles sur la couronne ne servent à rien, sauf à faire du bruit. Seul le triangle suspendu à l'arche est opérationnel : on le descend pour l'insérer dans la fente du support plan, il devient ainsi un simple style d'un cadran horizontal représenté par la "feuille" peinte.

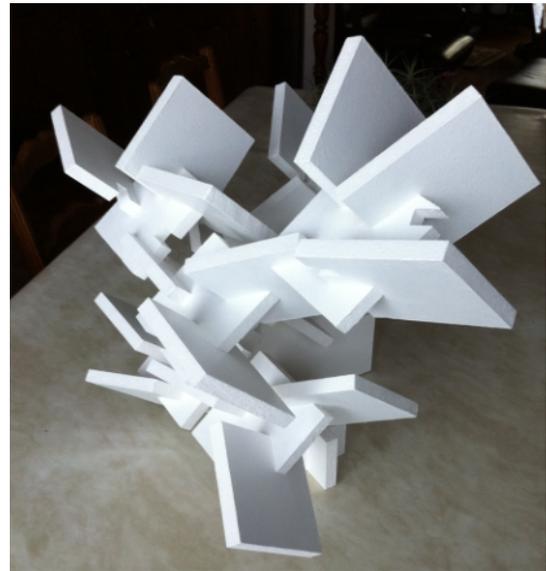
Ouf ! J'ai quand même un cadran qui a un petit air de famille avec la sculpture.



- Claude Gahon : Cristal

C'est normalement de saison, mais cette année la neige tarde à se montrer alors je m'en suis fabriqué, tout au moins un cristal. Cela pourrait y ressembler si j'avais mis un peu plus de symétrie dans ma répartition.

Vous imaginez bien que j'ai construis là un nouveau cadran, composé de plaques équatoriales supportant des plaques méridiennes (plans horaires).



L'heure solaire est donnée par la plaque méridienne qui a l'ombre la plus étroite possible, il y a des nombres repères gravés sur les plaques équatoriales. Mais c'est le jeu, je reconnais que cela est un peu compliqué, surtout en période "hiver" où il faut chercher les ombres sous les plaques équatoriales ou sur leur tranche.

L'ensemble est en bois composite peint, les plaques mesurent 12 x 12 x 1,5 cm.

Pour la petite histoire, mon inspiration est à rechercher dans les sculptures de DUBUFFET dont je vous joins la photo de l'une d'elles.



Notes complémentaires : « J'avais pu tester ma première version grâce à un rayon de Soleil propice et je me suis évidemment aperçu qu'il y avait des plaques dans l'ombre d'autres plaques. Cela m'a valu de modifier et compléter la structure. Pas toujours évident de penser à tous les pièges quand on fait le dessin d'esquisse.

Je pense maintenant avoir résolu les problèmes même s'il reste quelques éclairages limites. Le plus délicat est bien sûr la lecture d'hiver.

Il n'en reste pas moins vrai qu'au soleil c'est un petit festival d'ombres, mais on arrive à s'y repérer si on s'attarde un peu sur le sujet.

Comme je l'ai dit, cela aurait pu être plus facile avec une disposition très symétrique des plaques mais est-ce que cela aurait été plus original ?

Quant à DUBUFFET il m'a un peu guidé avec ses "arbres" aux "feuillages" quasi perpendiculaires aux "troncs". A l'origine mes "plaques " devaient avoir des formes genre pièces de puzzle avec des trous, mais cela m'aurait demandé beaucoup de découpes. Trop fainéant pour m'y attaquer ! »

- Jean Rieu : découverte

La commune de Massimy-Sur Saône possède un cadran solaire équatorial de l'abbé Berthiaud, curé de Péronnas (01960). Ce cadran avait été acheté à l'abbé Berthiaud en janvier 1887 par les paroissiens du village pour l'offrir à leur curé, Marie-Denis Prin.

Payé par la fabrique de la paroisse au prix de 120 fr(*), il fut installé dans le jardin du presbytère. Après la disparition de ce jardin, le cadran a été remis en état. Il est visible à la mairie de Messimy, dans l'attente d'une éventuelle installation en un lieu sécurisé.

(*) Renseignement trouvé dans les livres de comptes de la fabrique par Monsieur Maurice Gelas, historien du village.





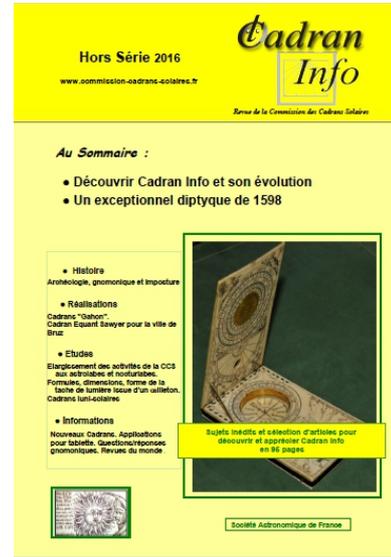
° **Informations diverses**

- Un Cadran Info Hors Série

Dans le même temps que la publication de ce numéro 33 de Cadran Info, nous diffusons un numéro Hors Série numérique. Il est destiné aux membres de la commission et au public afin de faire connaître la richesse de la publication.

Dans ce Hors Série de découverte, il est sélectionné quelques articles déjà publiés (œilleton, astrolabes, cadrans luni-solaires, nocturlabe, faux cadrans antiques...)

Nous avons voulu également que deux sujets inédits soit réservés à ce numéro. Il s'agit de la description d'un diptyque de grande dimension, en ivoire, daté 1598, frappé des armoiries de Ruzé de Beaulieu par P. Gagnaire et E. Mercier et d'un type de cadran peu connu: *un cadran équant Sawyer pour la ville de Bruz* par Frans Maes, traduction Robic Joël.



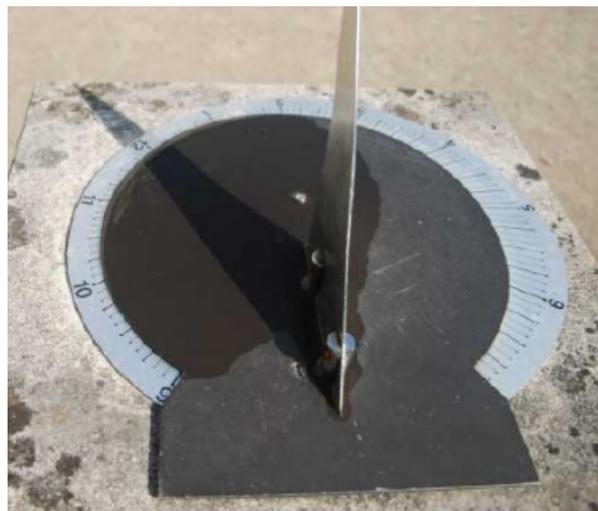
**Le Cadran de Ruzé de Beaulieu
Cadran Info Hors Série**

Analyse et description des très nombreuses fonctions de remarquable cadran.



**Cadran équant de Sawyer pour Bruz
Cadran Info Hors Série**

Cet article fait suite à la présentation par J. Robic du cadran multiple de Beisbroek et sur le fonctionnement du cadran horizontal. Celui-ci est en fait un cadran de type Equant inventé par Fred Sawyer.



**Pour télécharger gratuitement ce numéro Hors Série,
contacter Philippe Sauvageot (sauvageotph@wanadoo.fr)**

- Détermination de la qibla

Eric Mercier nous a communiqué en début de cette année le lien :

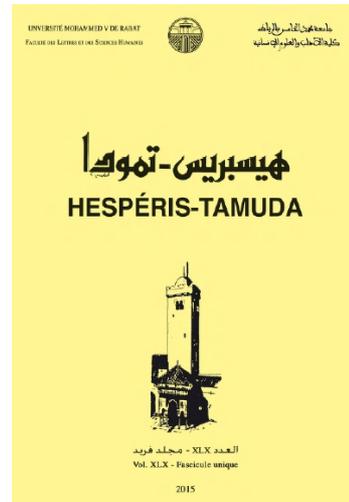
<https://share.orange.fr/#Bs7A64BJpu45e04f6336>

permettant de télécharger un article dont il est co-auteur.

Il s'agit de *Hespéris-Tamuda*, Vol. XLX, Fascicule unique, pp.67-92 par Abdeltif Elkhannar & Eric Mercier. (2015). Le lien a été diffusé par info-mail n° 14_2016 comme demandé :

« Je vous transmet un lien vers un article qui vient d'être publié dans une revue universitaire marocaine.

Ce travail correspond à l'analyse d'une plaque de marbre d'une mosquée de Meknès où est expliquée une méthode originale de calcul de la Qibla.¹



Je sais bien que ce calcul sort un peu du domaine de la Commission, mais nous l'avons déjà évoqué en séance ou dans le bulletin². Par ailleurs D. Savoie³ en parle dans ses livres, comme d'ailleurs les sites de Mr M. Lalos ou J. Robic.

Bref je pense que cet article pourrait intéresser certains membres de la Commission, et si vous en êtes d'accord, je vous propose de le diffuser dans les info-mails de la commission.

D'avance merci, très Cordialement ».

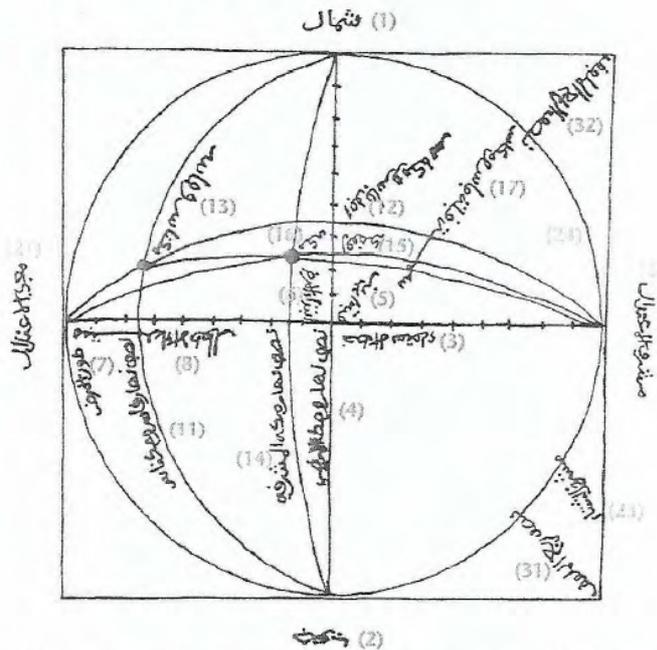
Effectivement ce sujet ayant été abordé dans plusieurs articles de notre revue, il a semblé important de le signaler et de le proposer en annexe de la version numérique.

Nota : Il existe de nombreux sites donnant la qibla en fonction de sa position. L'application *Sol Et Umbra* :

<https://play.google.com/store/apps/details?id=gian.gnomonica.SolEtUmbra&hl=f>

permet de le consulter sur sa tablette.

➔ Dans la version numérique, vous trouverez en annexe : le fichier : "Qibla-Meknes+c"



Eléments épigraphiques du « schéma astronomique »

¹ Qibla, kibla, kiblat ou kiblet en arabe *qibla* (قبلة; direction ; sud) est la direction vers laquelle doit se tourner le fidèle pour effectuer le rite de la prière. En islam contemporain, il s'agit de l'orthodromie qui joint le lieu de prière à la Mecque.

² Le "cherche-qibla" par Y. Massé, CI 19 ; Qibla des cadrans islamiques de Tunisie par E. Mercier CI 30 ; se reporter également aux articles Cadran Info, classés « cadrans islamiques ».

³ *La Gomonique*, Les belles lettres p. 313 ; *Gnomonique moderne*, SAF p.187.

- Partage de notre passion

Vous êtes nombreux dans la commission à faire connaître la gnomonique autour de vous. La mise en place du Temps d'Activité Périscolaires est une occasion d'initier les plus jeunes à l'astronomie à partir des cadran solaires.

C'est le retour que nous fait Pierre Labat sur ce type d'expérience à l'école *Joliot Curie* de Scaër.

« Suite à une demande de Monsieur Bernard Mazza directeur de la M.J.C. de Scaër (29) vers Philippe Sauvageot, une intervention sur plusieurs semaines a été réalisée sur la commune de Scaër dans le Finistère, en mai et juin 2015. Ce programme s'est déroulé dans le cadre des Temps d'Activités Périscolaires (T.A.P.)

Afin de partager notre passion, quelques interventions sur l'ombre et l'heure ont été faites dans plusieurs collèges et lycées locaux dans le passé.

Aujourd'hui le projet est différent : faire découvrir à des enfants de primaire (CE 1 et CE 2 ainsi que CM 1 et CM 2) un autre mode de lecture de l'heure que celui de la montre, du téléphone, ou de l'afficheur numérique des villes.

Les Temps d'Activités Périscolaires ont permis de faire observer et partager ces techniques de lecture avec 2 groupes de 14 enfants sur une durée de 45 minutes par séance, et chaque lundi sur 9 séances.

Le projet détaillé : ° terre /soleil: qui fait quoi et comment? ° une découverte du déplacement de l'ombre par observation au début, milieu et fin de l'espace temps des 45 minutes.

Travaux : création de 3 cadrans avec peu de matériel : ciseaux, colle, crayon, papier de ponçage.

Chaque élève a quitté le cycle avec ses cadrans et la consigne de lecture : ° un cadran horizontal papier, ° un cadran horizontal type "camembert", ° un cadran équatorial en bois.

Une sensibilisation vers de nouveaux mots : ° équinoxe, latitude, longitude, gnomonique, solstices , ° pourquoi des devises, des gravures et dessins divers, ° orientation avec une boussole.

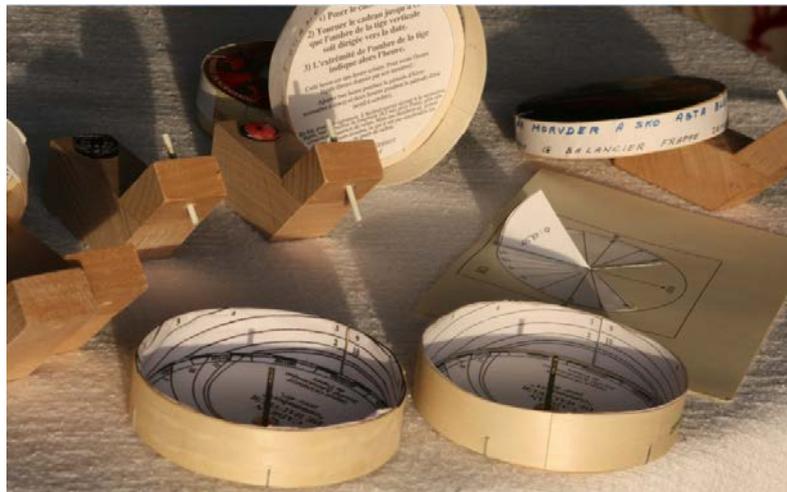
Au retour le lundi, question : qui a observé

un cadran depuis la semaine passée? une liste de cadrans locaux (sur un rayon 25 km) avait été fournie, en séance,.

Bien sur, le nombre n'est pas important, mais cela a permis aux enfants curieux de commenter leur sortie.

Un grand merci aux membres de la SAF qui ont répondu à l'appel effectué "info-mail" pour un partage des expériences et sans qui le projet n'aurait pas vu le jour.

En conclusion, un partage très intéressant avec les enfants sur des mots et des objets complètement nouveaux dans la connaissance et le langage.



cadran papier, cadran camembert, cadran équatorial.

Cadran solaire de l'ancien palais épiscopal de Saint-Omer

Jérôme Bonnin nous adresse ce courriel :

« Voici quelques clichés du cadran solaire de l'ancien palais épiscopal de Saint-Omer, aujourd'hui tribunal de grande instance, avant, pendant et après restitution (en février 2016).

La tracé a été réalisé en parfaite adéquation avec la latitude de Saint-Omer et la déclinaison du mur une fois ce dernier entièrement restauré par l'entreprise Chevalier Nord (il n'existait plus aucune trace du cadran d'origine, hormis deux rangées d'orifices de 2 mm délimitant un bandeau sur l'extérieur, ce qui a été restitué).

Merci à Pierre Berriot pour son aide lors des prises de mesure, dans le froid et le vent ! La typologie du cadran suit au mieux des exemples rapprochant du XVIII^e siècle (le cadran est réalisé entre 1710 et 1740). Le style d'origine (XVIII^e) a été englobé dans la reprise du parement. Malheureusement, il n'était plus possible de le redresser sans faire éclater les ragréages de l'entreprise de taille de pierre. Il n'a donc pas été modifié. Ses paramètres ne sont plus corrects (l'action éolienne pendant des siècles l'a légèrement modifié car il ne tenait plus que par une faible emprise dans le mur, la pierre ayant été rongée sur plus de 2 cm sur la façade). Le tracé est donc correct, mais le style ne l'est



Cadran dans son état initial

plus. Il sera toujours possible de le rectifier un jour, même si tel qu'il est, le style constitue désormais le seul élément d'origine du cadran.



Pendant les travaux



Le cadran est terminé

Un dossier d'étude complet a été réalisé sur ce cadran, prenant en compte l'histoire, les paramètres gnomoniques et le protocole de restitution.

Bien cordialement,
J. Bonnin



° Courriers gnomoniques

- Dominique Collin : cadran sphère, gnomoscope, héliographe, horizontoscope....

En octobre dernier, Dominique Collin faisait parvenir à la CCS un article de M. Jean Pares intitulé : *Un instrument de démonstration au XVIIIe siècle : le cadran sphère*, page 69-74, 1992. Celui-ci est téléchargeable intégralement avec références et texte des figures à l'adresse :

[//trema.revues.org/2434](http://trema.revues.org/2434)

Pourquoi cet article ? : « Un membre de l'association Aquila (Nice) m'a demandé si je connaissais le "Gnomoscope", brevet créé par M. Rivet (Obs. de Nice). Cela me disait vaguement quelque chose, mais j'ai pensé immédiatement à l'invention de Ignace Gaston Pardies III. Et après recherche sur le net, je suis tombé

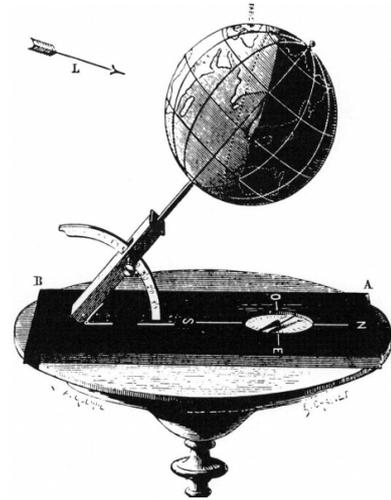
sur l'étude de M. Pares, d'où cette communication ... et de fil en aiguille...).

Le lien pour télécharger le brevet du « Gnomoscope », est : https://www-n.o.ca.eu/rivet/00pdf/1988_R88b_BOPI_Gnomoscope_NB.pdf // <https://www-n.o.ca.eu/rivet/00Francais/Gnomoscope.html>. Il ne figurerait pas dans la liste des brevets que nous avons en PDF dans les "Offres de la CCS oct 2015".

D. Collin demande ensuite via "l'info-mail n° 147_2015" des informations sur un instrument de météorologie et encore utilisé de nos jours dans le domaine de l'énergie solaire, appelé Héliographe. Voici les réponses obtenues qui peuvent intéresser les lecteurs.

° Claude Guicheteau :

« Ci-joint une photo d'un héliographe Campbell de juillet 1997 dans la CCI d'Annecy et une photo de juin 1997 prise lors d'une belle exposition dans le château d'Oiron (Deux-Sèvres). L'artiste, Charles Ross, avait tapissé les quatre murs de la salle avec des bandes d'héliographe sur 365 jours. Voir : [http://doc.ocim.fr/LO/LO054/LO.54\(1\)-pp.03-09.pdf](http://doc.ocim.fr/LO/LO054/LO.54(1)-pp.03-09.pdf) »



° Pierre Labat : voici un héliographe que j'avais vu dans un jardin botanique sur l'île de La Goméra Espagne en 2006.

Dimensions : 250 mm au cube. Hauteur du cadran par rapport au sol : 1.20m. Matière : bronze (Cu +Sn) et verre. Il est réglé pour : Latitude : 28° 05' Nord, Longitude : 16°38' Ouest



° Eric Mercier :

« Avant l'apparition des demandes concernant l'énergie solaire, l'héliographe était surtout utilisé en hydraulique pour déterminer le facteur h/H de la formule de Turc; voir à ce sujet : <http://mon.univ-montp2.fr/claroline/backends/download.php?url=LzVMMi1FdmFwZW5saWduZS5wZGY%3D&cidReset=true&cidReq=FLST403>

Cette formule permet d'évaluer la quantité de pluie qui repart dans l'atmosphère et qui ne sert donc pas à l'alimentation des nappes et des cours d'eaufacteur fondamental donc dans la gestion des eaux !

En énergie solaire, comme en hydraulique, l'héliographe est remplacé maintenant par des systèmes à cellule photo-électrique beaucoup plus précis car évitant le "tout ou rien" de héliographe ».

° Maurice Kieffer :

« En 2005 j'ai photographié un dérivé d'HELIOGRAPHE chez Timm à Bâle.

<https://www.basel.com/fr/shopping/zeitzentrale-timm-delfs>.

Ce dernier précise : le petit instrument que j'ai dans mon magasin n'est pas exactement un héliographe, parce-qu'il n'écrit rien. Celui que tu avais vu c'était un horizontoscope, un engin qui aide à définir combien de lumière solaire directe un certain endroit peut recevoir dans le courant d'un an. J'avais aussi une fois un petit cadran solaire avec une bouteille en forme de boule,



pleine d'un liquide qui jetait un point lumineux sur un cadran équatorial.

Voici un document du net et un PDF : Horizontoscop d'après F. Tonne : « L'horizontoscope est un instrument de précision simple mais hautement efficace permettant de déterminer les périodes d'insolation. Il fut mis au point à l'Institut für Tageslichttechnik de Stuttgart dans les années 50.

En combinaison avec des abaques solaires, systèmes également développés par l'Institut, l'horizontoscope permet de déterminer visuellement la durée d'ensoleillement pour

toute l'année à un point d'analyse donné. Il prend en compte les masques existants (bâtiments, terrains, végétation).

Principe de fonctionnement : à partir d'un point donné, l'environnement est observé (ou photographié) par projection stéréographique sur un abaque solaire à travers une surface convexe transparente partiellement réfléchissante dont la courbure fut calculée avec précision.

L'horizontoscope trouve une application dans l'étude sur plan en architecture et en urbanisme mais également dans la planification d'installations solaires ainsi qu'en biologie et dans les exploitations forestières ».



⇒  **Dans la version numérique, en annexe :**
Schuetz_Brang_1995.pdf

- Jean Scordia : La table de Saint Julien

Jean Scordia apporte tout d'abord des observations à propos du document découvert à Pourrières et mentionné pages 120/121 dans l'article de Paul Gagnaire et Michel Ugon *Table de Saint Julien : du nouveau*, Cadran Info n° 32. Elles concernent le comment on dressait le calendrier et calculait la date de Pâques. Le document de 7 pages sur papier a été scanné. Il est disponible dans l'annexe de la version numérique. Voici quelques extraits.

« La première remarque concerne **la statue en bois creux** qui contenait le papier. Les sculpteurs sur bois ôtaient le cœur de la statue pour éviter qu'elle ne se fende.

La seconde remarque porte sur le texte latin photographié de la « *relique* » (qui en latin signifie « *restes* ») découverte (une découverte astronomique : « *Inventa Astronomicae ...* » est au pluriel et veut dire « *Découvertes Astronomiques ...* » !) qui « *décrit les épactes utilisées à cette époque* ».



On ne pourra pas résoudre de si tôt l'*énigme* du bout de papier caché, découvrir la raison pour laquelle il a été dissimulé. Ce qui est imprimé dessus n'a rien de diabolique ni de mystérieux : il s'agit de problèmes de calendrier, qui tracassaient particulièrement l'Eglise au XVIe siècle. J'ai cherché à comprendre le texte latin afin, éventuellement, de le dater approximativement ».

J. Scordia rappelle **les usages d'écriture** (chiffres et lettres) usités à ces époques. « Les détails relevés montreraient que cette « *relique* » pourrait dater de la fin du XVIe siècle ou de la première moitié du XVIIe siècle, mais aussi du siècle suivant. Cependant, en France, la tradition de rédiger en latin un texte scientifique ou philosophique s'arrête dans la seconde moitié du XVIIe siècle ».

Il aborde ensuite la problématique du calendrier et de la détermination du jour de Pâques.

« Le début de la feuille traite des « *années bissextiles* » (l'adjectif est employé 8 fois) et les lignes finales des « *épactes* » (elles servent au calcul de la date de Pâques). Avec le

calendrier julien, en usage en France jusqu'en octobre 1582, on notait un décalage de 10 jours dans le cours du Soleil, le vagabondage du dimanche de Pâques, etc.

La deuxième partie s'intitule « QUATRE-TEMPS » (« QVATVOR TEMPORA ») : il s'agit d'un cycle de l'année ecclésiastique, du « Propre du Temps ». Son origine se trouve dans l'association entre les Nouvelles Lunes et les 4 Saisons.



De la troisième partie il ne reste que l'élément de mot ou la négation « NON ». Je ne devine pas le titre de cette partie qui s'insère entre un cycle de l'année liturgique et le calcul des Nouvelles Lunes.

Est présenté ensuite deux tableaux qui indiquent la concordance entre les *Nombres d'or* (chiffres romains) & les *Epactes* (chiffres arabes) :

TABLEAU I (à partir de 1 500/1 600) :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
1	12	23	4	15	26	7	18	29	10	21	2	13	24	5	16	27	8	19

TABLEAU II (à partir de 1 700) :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
0/30	11	22	3	14	25	6	17	28	9	20	1	12	23	4	15	26	7	18

« Les observations sur la typographie, les épactes et l'usage du latin, ne permettent pas de choisir entre les trois siècles possibles, avancés au début de l'article. Mais le contenu de la page déchirée, la proximité entre la partie *calendrier* et *fêtes religieuses*, de même que le plan qui semble manquer de rigueur et l'aspect matériel du papier, fait pencher pour le début du XVIIe siècle ou la fin du XVIe. Cependant, à la ligne 13 du texte, le passage «... *volvit annum 1600 anno correctionisproximum* », - si j'ai bien compris -, indiquerait que celui-ci est antérieur à l'an 1 600. Cette feuille pourrait avoir été arrachée à un Bréviaire (dont la première partie serait un calendrier, suivi de l'explication de la fixation de la date de Pâques et des autres fêtes religieuses s'y rapportant) ou à un ouvrage d'astronomie destiné à des ecclésiastiques et autres, ou encore à un Almanach (avec le calendrier des mois, la mesure des heures de jour et de nuit, les traités d'astronomie et d'astrologie, etc.). Terminons par la devise latine d'un cadran solaire morbihannais, extraite du livre « *Cadrans solaires de Bretagne* » : « *DIES SAECVLIVIS DINVMERAVIT* » (littéralement « LES JOURS DU SIECLE ... »), que l'on peut traduire par « LES JOURS DU MONDE, QUI DONC LES A COMPTES ? » [L'Ecclésiastique, ch.1, verset 2] ».

Jean Scordia aborde ensuite la **transcription de certains noms propres**, par l'orthographe ancienne de plusieurs mots latins (en rouge ou en noir dans le corps de l'étude). Par exemple, dans les tableaux des pages 116 et 117 : la consonne médiane «s = f» a été orthographiée « f » [il s'agit peut-être d'une erreur commise par un traitement de texte] : « *Süfæ* » au lieu de « *Süsæ* », « *Crofna* » en place de « *Crosna* » ; à la page 118, il est écrit « *Inf[ula] Rhodi* » au lieu de « *Ins ...* », en page 119 « *Marigalanta Infula* » en place de « *Marigalante Insula* ». Comme on peut l'observer sur le fragment de papier illustrant la page 121, au XVIe ou XVIIe siècle, le « s » au milieu d'un mot peut être confondu avec un « f » moderne ou un *J* majuscule descendant sous la ligne ; cependant il n'a pas de barre médiane, ou seulement un petit trait du côté gauche, à mi-hauteur.

Certains « r » mal imprimés ou abîmés se confondent avec des « t », le « a » avec le « e » : ce serait le cas pour le lieu « *Cap [ut] Vitide* » (Page 119, 1er tableau) ; il aurait dû être «... *Viride* » (avec un r : ce mot latin signifiant « Vert »). « *Meridianos* » (page 118) est un

accusatif pluriel latin : dans le contexte de la Table, ce devrait être un *nominatif* pluriel, donc « *Meridiani* » ou bien un *nominatif* singulier -« *Meridianus* ». Dans le tableau en haut de la page suivante, je lis « *Athena Graciae* » : si le sens est « *Athènes [ville de la] Grèce* », cela eût dû s'écrire « *Athenae Graeciae* ». Il s'agit peut-être d'une coquille ou de l'abréviation de deux voyelles par manque d'espace.

Je suis surpris également de trouver à la page 113, 1er tableau, « *Gallie* » : ce devrait être « *Gallia* » ; je relève que les auteurs, dans la note (0), ajoutent que *Hierosolyma* était le nom ancien, latin, de la capitale de la Judée : ce vocable est conservé pour désigner les habitants de Jérusalem, les *Hiérosolymains* ! Dans le 2e tableau, est imprimé « *Parisi* » au lieu de « *Parisii* » (à moins qu'il n'y ait élision de la dernière voyelle, mais ce ne serait plus le cas pour « *Lutetia* » !).

A la page 114, 1er tableau, apparaissent deux orthographes de Babylone : la latine est « *Babylon* » ; dans le 2e tableau, le nom latin de ville « *Carthagi* » me paraît singulier : s'agit-il de Carthage ou Carthagène (« *Carthage Nouvelle* », située à peu près à la même latitude et, en outre, placée entre deux noms de lieux de l'Espagne) ? Je croyais que l'emplacement exacte de la ville punique Carthage avait été oublié depuis l'occupation arabe du Maghreb actuel (« / *Occident* » en arabe) et redécouvert seulement au XIXe siècle (comme le laisse entendre un ouvrage publié en 1833 par C. Tuxen Falbe : « *Recherches sur l'emplacement de Carthage* »). Les toponymes sont en langue latine, donc Carthage aurait dû s'écrire « *Carthago* » (au *nominatif*). « *Carthagi* » serait-il l'abréviation de l'adjectif « *carthagi[niensis]* » (« *de Carthage/carthaginois* ») ? En italien, la ville disparue s'appellerait « *Carthagine* » ou « *Car tagine* » ou encore « *Cartago* ». S'agirait-il d'un lapsus calami de l'italien Riccioli ou celui-ci a-t-il remplacé le nom de la ville contemporaine Tunis par celui de la célèbre ville antique voisine s'il connaissait son emplacement précis ? Sur des cartes anciennes, apparaissent les noms de villes proches comme Tunis et Bizerte, et des noms de caps ; mais pas celui de la cité carthaginoise.



Stèle carthaginoise ornée d'une belle écriture punique et d'un éléphant évocateur

Au milieu de la page 115, il est écrit « *Astrakhan, Cap Defcado* » : il devrait s'agir du « *Cap Deseado* ». Sur une carte du Monastère de l'Escurial, en Castille, carte antérieure à 1616 car le passage du Cap Horn n'y apparaît pas encore, est inscrit « *C[abo] Deseado* » à l'entrée ouest, sur le bord nord de « *fretvm magellanicvm* » (*Détroit de Magellan*) - l'orthographe moderne est « *Cabo Deseado* » [extrémité nord-est de l'île Désolation, au Chili], avec un seul s, comme dans *Puerto Deseado*, en Argentine. Dans le dernier tableau de la page 120, on lit « *Dominico (Antilles)* » : si je ne me trompe, il pourrait s'agir de l'île « *Dominica* » ; sur les cartes anciennes, n'existe pas le toponyme *Dominico*, le plus proche serait « *S. Domingo* », capitale de l'île La Hispaniola (hier appelée Haïti, aujourd'hui la République Dominicaine). Sur ladite carte du Palais de Philippe II d'Espagne, *Dominica* et *Marigalante* sont placées entre les méridiens 320 et 330, *Hispaniola* et *S. Domingo* sur le méridien 310. Le dictionnaire signale « *dominico* » comme nom de plante et d'oiseau d'Amérique, puis comme barbarisme (sans doute d'origine française, par les Antilles ?).

Les auteurs nous ont prévenus qu'ils savaient qu'ils n'étaient pas au bout de leurs peines et ils n'ignorent pas, comme Einstein, qu'à bicyclette on est parfois victime de crevaisons.

⇒ Dans la version numérique, en annexe :

« a propos J. Scordia.pdf »

- Michel Ugon : réponse à J. Scordia La table de Saint Julien

Cher Monsieur Scordia,

J'ai bien relu votre note de sept pages sur notre article paru dans Cadran Info n°32 et je vous remercie pour votre relecture approfondie qui nous apporte de précieuses remarques faites par un lecteur avisé et qui apporte également certaines informations supplémentaires.

Je dois vous dire tout d'abord que la bicyclette continue d'avancer, même avec des pneus crevés. (C'est en effet comme cela que j'ai appris à faire du vélo!)

D'une façon générale, il me paraît utile de rappeler certaines informations de base qui ont été utilisées notamment pour la structure des tableaux comportant lignes et colonnes. Justement, vous avez pu remarquer que ces colonnes comportent des titres différents qui dépendent de leur contenu : c'est le cas des colonnes "St Julien", de celles des auteurs des listes et celle des "lieux possibles" qui sont donc incertains mais dont la longitude est compatible avec celles calculées. J'en profite pour vous rappeler que les parenthèses signalent des caractères supposés et difficilement lisibles.

Je vous rappelle aussi que nous avons étudié les cartes géographiques de l'époque, comme celles de Mercator et des atlas, mais aussi et surtout les tables de Reinhold de 1540, Rodolphines de Kepler de 1627, de Lamsberg de 1632 et surtout celle de Riccioli (extraite de son ouvrage *Astronomica Reformata*) de 1665 car, comme vous l'avez certainement remarqué, cette dernière donne souvent les orthographes identiques à celles de la table de St Julien. Nous les avons reproduites dans la colonne Riccioli des tableaux que vous citez.

A l'étude de vos remarques successives, il apparaît que vous avez néanmoins respecté un pseudo-plan, peut-être inconsciemment, en consacrant une première partie à la statue en bois creux et à son contenu, et une deuxième partie où vous avez concentré votre attention principalement sur l'orthographe de locutions latines. Quant à la troisième partie, nous verrons qu'elle nous conduira à des corrections justifiées.

Pour la **première partie**, je peux vous dire que pour les calendriers Julien, Grégorien, les Epactes et la fête de Pâques, il n'y a rien à ajouter et que les lecteurs intéressés pourront se reporter à votre document. A propos des années "bissextils" vous notez fort justement que l'adjectif est employé 8 fois dans le document trouvé, aussi en revenant sur ce point nous avons pu dresser le tableau suivant:

Ordre	Nom	N° ligne apparente
1	Biffextum	10
2	Biffextiles	12
3	Biffextiles	15
4	Biffexto	16
5	biffextilis	18
6	Biffextiles	18
7	Biffextus	19
8	Biffextum	21

Il s'agit du terme latin "bis-sextilis" (qui signifie deux fois sixième). C'est Jules César qui fit appel à l'astronome grec Sisogène d'Alexandrie pour réformer le calendrier de cette façon. Il apparaît donc bien que la racine du mot est répétée 8 fois, mais rien ne permet de la corrélérer à la table de St Julien.

Dans la **deuxième partie** je peux vous affirmer, après contrôle, que nous n'avons pas commis d'erreurs de transcription des noms anciens de lieux car nous nous sommes attachés à

respecter, autant que faire se peut, l'orthographe telle qu'elle peut être transcrite à partir des gravures substantives de la table gnomonique de St Julien, c'est assez difficile à lire mais nous y sommes parvenus. Ceci est en particulier vrai pour les noms de Sufae, de Crofna et de Inf Rhodi (déchiffré sur D2) que vous signalez et il n'y a pas de fantaisie due au logiciel de traitement de texte sur ces noms. Par contre, vous remarquerez que l'orthographe "Marigalanta Ifola" est utilisée sur la table de Riccioli déjà citée et qu'elle figure seulement dans la colonne des lieux possibles dans la table de la page 119.

Votre remarque sur les "f" à la place des "s" dans le corps du texte doit être modulée par le fait que nous avons rétabli volontairement les "s" quand cela facilite la compréhension.

Vous remarquerez également que contrairement à votre remarque le "Cap Vitide" apparaît bien avec cette orthographe dans la table, aussi compte tenu de sa longitude nous l'avons fait figurer dans la colonne des lieux possibles.

Le terme "Meridianos" apparaît tel quel sur les cadrans de la table de Saint Julien, tandis que le nom "Athena Graciae" qui figure ainsi dans la colonne des lieux possibles reprend l'orthographe de la table de Riccioli.

Au passage, je vous fait remarquer que cet auteur écrit "Parifij & Lutetia" et non pas "Parisi" ce qui complique quelque peu la lecture.

Vous vous étonnez de trouver le mot "Gallie" à la page 113 alors qu'il s'agit bien de l'orthographe utilisée par Riccioli, et pour l'ancien nom de la capitale de la Judée, il écrit bien "Hierofolyma" ainsi que "Babylon", tandis que la lettre "y" n'est pas bien lisible sur la pierre de Saint Julien. Encore une fois, c'est la valeur de la longitude qui nous a guidé.

Dans la **troisième partie**, pour le mot "Carthagi" qui vous paraît singulier, il s'agit de l'orthographe que nous croyions utilisée par Riccioli, mais grâce à votre remarque nous pouvons lire, certes difficilement, sur cette table "Carthago Africae". Il n'y a donc plus aucun doute sur l'emplacement de ce lieu.

Vous notez qu'au milieu de la page 115 il est écrit "Astrakhan, Cap Defscado" tandis que ces deux noms figurent sur la table de Riccioli avec des orthographes différentes "Aftracatum, Cap Defiderati.C.Defcado" et cette remarque qui rejoint celle faite précédemment pour le corps du texte suscite des corrections sur cette page.

Enfin, vous notez que le dernier tableau indique "Dominico(Antilles)". Or ce nom ne figure ni dans les tables de Rheinhold, ni dans Kepler ni dans celles de Riccioli. Compte tenu de la longitude, il doit bien s'agir vraisemblablement, comme vous le supposez, de l'île "Dominica" qui correspond à la longitude et aux deux premières lettres transcrites sur la table de St Julien.

En résumé, il faut corriger l'orthographe des noms "Carthago", "Afstrakhan" et "Dominica" dans notre article de Cadran Info n°32 et il reste donc à étudier les cadrans circulaires de gauche qui subsistent pour l'instant dans l'ombre au Château Saint Julien.

Utilisation du logiciel DesCad de Yvon Massé

j'ai comparé plusieurs de mes tracés de cadrans avec DesCad en utilisant les mêmes données : déclinaison, inclinaison et bien sûr une rotation zéro .

J'ai ainsi constaté des divergences concernant particulièrement les cadrans déclinants :

- 1) la ligne d'équinoxes de DesCad est une courbe alors qu'elle doit être une droite.
- 2) La ligne d'horizon doit passer par l'intersection de la droite d'équinoxes avec 18h solaire et ensuite tangenter un cercle ayant pour centre le pied du gnomon (H) et un rayon déduit de l'inclinaison de la table. Ce n'est pas le cas pour DesCad. Voir image ci-dessous.



◦ Littérature gnomonique

Mesurer le temps en Tunisie à travers l'histoire par Fathi Jarray

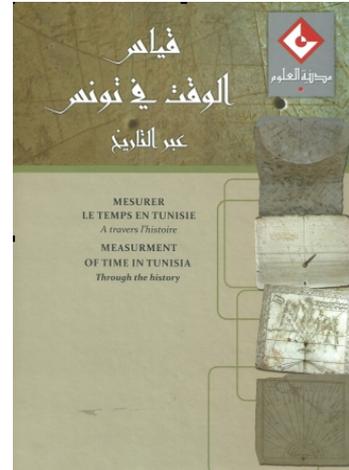
Fathi Jarray est maître assistant à l'université de Tunis. Il dirige depuis 2014 le centre national de la calligraphie. Il est titulaire d'une thèse en épigraphie islamique et l'université Provence Aix-Marseille, membre du laboratoire d'Archéologie et d'architecture maghrébines et auteur de plusieurs recherches d'épigraphie et de gnomonique musulmane.

Le livre de 220 pages qu'il vient de publier sur la mesure du temps en Tunisie est rédigé en arabe, anglais et français.

C'est un bel ouvrage décrivant environ 80 cadrans solaires antiques, islamiques, situés dans des mosquées, des sites archéologiques et des musées. Après une introduction générale sur le fonctionnement, les cadrans sont analysés par ordre chronologique du IV^e à la moitié du XX^e siècle.

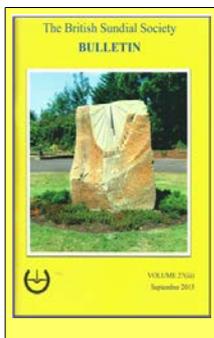
Pour se procurer l'ouvrage prendre contact à l'adresse web de la Cité des Sciences : <http://www.cst.rnu.tn/fr/article/mesurer-le-temps-en-tunisie-a-travers-l-histoire-1165?id=1165>

(procédures en cours de mise en place pour expédition vers l'étranger après un paiement PayPal ou virement bancaire, frais d'envoi de l'ordre de 10€)



◦ Gnomonique du monde

– **Sommaires des dernières revues ou bulletins :**



VOLUME 27 (iii) - septembre 2015 (sur papier) de la **BRITISH SUNDIAL SOCIETY**

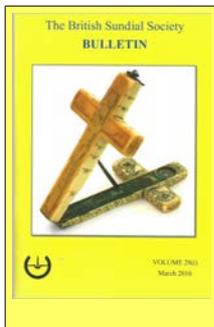
1. *Editorial* ; 1. Familiar Faccs in Victoria, BC ; 2. The Sundial Herm at Ancient Vlessene, Greece - Andreas Galanakis and Martin Jenkins ; 7. Is this the World's Hardest-to-See Sundial? - Frank King ; 8. The Magnetic Azimuth Dial - Mike Cowham ; 12. Cakes from the 2015 Conference ; 13. Artistic Images of Sundials - Yaler> Dmitriev ; 16. Alan Cook —Obituary - Tony Wood ; 17. The Shetland Islands: Reporting on Britain's Most Northerly Sundial - Douglas Bateman ; 19. In the Footsteps of Thomas Ross. Part 12: A Foray into England - Dennis Cowan ; 20. Who Were the Makers of these Attractive 'Flower' Dials? -

20. Mike Cowham 22. Analysis of a Roman Portable Dial - Frank H. King ; 30. The Nature in Ari Museum Sundial* Gloucester - Ben Jones ; 33. Kirktonhall and its Obelisk (or Pawn?) ; 34. A Little-Known Cambridge Sundial... and the Story of its Restoration - Ian Batson ; 40. Scottish Obelisks and the Kirktonhall Project (and a Chess Set) - Dennis Cowan ; 41. Postcard Potpourri 32: Pilling, Lancashire - Peter Ransom ; 42. Dialling Instruments in Holbein's Painting 'The Ambassadors' - Allan Mills ; 47. Reader's Letter – Davis ; 48. The "Pelican Dial" Picture at Bromley House - Tony Wood.



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 Raunsccliffe 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 Butson 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 2015 (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, Analemmatic 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.



La BUSCA de PAPER N° 82 hivers 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 ; Fenomens 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.



LE GNOMONISTE volume XXII-3 septembre 2015 de la COMMISSION DES CADRANS SOLAIRES DU QUEBEC à télécharger sur le site : ([HTTP://CADRANS SOLAIRES.SCG.ULVAL.CA/](http://CADRANS_SOLAIRES.SCG.ULVAL.CA/))

Liminaire (L: XXII-3, septembre 2015) par André E. Bouchard 2 ; Les méridiennes de Tunis (XVIIIe et XIXe siècle) par Fathi Jarray et Éric Mercier 4 ; Un ami du *Gnomoniste* n'est plus: Fer J. de Vries par André E. Bouchard 17 ; Le nouveau cadran horizontal de St-Augustin-de-Woburn par Yves Desbiens 18 ; Des entrevues sur les lectures et activités d'été par Géraldine Grenen 20 ; Le cadran solaire de la Paroisse d'Eyam (1775) par André E. Bouchard. 22 ; Les cadrans «disparus», soyez vigilants par Jasmin Gauthier 28.



LE GNOMONISTE volume XXII-4 décembre 2015 de la COMMISSION DES CADRANS SOLAIRES DU QUEBEC à télécharger sur le site : ([HTTP://CADRANS SOLAIRES.SCG.ULVAL.CA/](http://CADRANS_SOLAIRES.SCG.ULVAL.CA/))

Liminaire (L: XXII,4) décembre 2015 par André E. Bouchard 2 ; Un beau cadran du Palfy Palac (1752) de Prague par André E. Bouchard 4 ; Un cadran usiné au Jardin botanique de Montréal par Huguette Laperrière 12 ; Les écrits en gnomonique par The Compendium, Zonnetijdingen et La Busca 14 ; Correspondance italienne par Gianni Ferrari et Riccardo Anselmi 16 ; Un livre fascinant sur les cadrans islamiques 18 ; Correspondance-2.20 ; La rencontre annuelle de la CCSQ par les membres participants 24.



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.LBomdre deltempo" n Italien den ersten Preis gewann ; 14 Eine Gnomonikschule in einem spanischen Kloster, Das aus dem 16 Jahttturriert 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 Sonj öefdil ihre Augen im Schallen ; 21 Die Jahr&stagung der GSA in Schlägen, Ein Bericht! über die gut gelungene und interessante Jahrcs- tagung unserer Arbeitsgruppe.



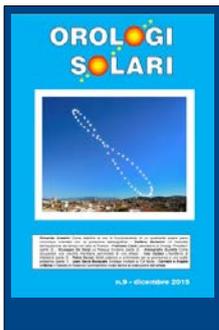
Revue de la Japan Sundial Society

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 "cadran solaire" ; Un cadran 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 cadran de Senba-Tohsyougu Shrine à Kawagoe ; Présentation du site de la JSS : <http://www.ne.jp/asahi/sundial/hidokei/>



OROLOGI SOLARI N° 8 AGOSTO 2015 CGI - Coordinamento Gnomonico Italiano à télécharger sur le site : WWW.ROLOGISOLARI.EU

INDICE: Orologio solare di altezza di epoca romana trovato ad Este Albéri Auber Paolo ; Le meridiane di carta Anselmi Riccardo ; Realizzare un orologio a riflessione Casalegno Gianpiero ; Progetto di un orologio solare a partire da due punti d'ombra Caviglia Francesco ; Laboratorio di Orologi "Proiettivi" (parte 1) Clarà Francesc ; La Pasqua Giuliana (parte 1) De Donà Giuseppe ; Un ingegnoso orologio d'altezza di sicuro insuccesso: l'orologio "universale" di John Marke (1641 – 1673) Gunella Alessandro ; Un orologio solare su una piramide Nosek Miloš ; L'Apoliterra di Waldshut (Parte 1) Opizzo Yves ; "Operanti con l'operante natura" - L'orologio di Flora a Bacoli (NA) Visentin Ennia.



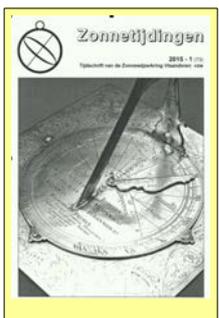
OROLOGI SOLARI N° 9 DÉCEMBRE 2015 CGI - Coordinamento Gnomonico Italiano à télécharger sur le site : WWW.ROLOGISOLARI.EU

INDICE: Come stabilire le ore di funzionamento di un quadrante solare piano comunque orientato con la proiezione stereografica Anselmi Riccardo ; Un tracciato dell'equazione del tempo nel cielo di Firenze Barbolini Stefano ; Laboratorio di Orologi "Proiettivi" (parte 2) Clarà Francesc ; La Pasqua Giuliana (parte 2) De Donà Giuseppe ; Come recuperare una vecchia meridiana servendosi di una ellisse Gunella Alessandro ; L'Apoliterra di Waldshut (parte 2) Opizzo Yves ; Solidi platonici e archimedei per la gnomonica e uno scafo poliedrico (parte 1) Savian Fabio ; Orologio multiplo a 124 facce Serra Busquets Joan ; Il metodo di Federico Commandino rivisto senza la costruzione dell'ellisse ; Urfalino Carmelo - Urfalino Angelo.



Zonnetijdingen 2015-3 (sur papier) de la Zonnewijzerkring Vlaanderen VZW

N° 75 : Voorwoord 3 De Sawyer Equant zonnwijzer bij kasteel Beisbroek De zonnwijzer van Muno 8 Markering van de zonnetijdlijnen opeen scaphezonnwijzer 9 ; Een kleine zakzonnwijzer 12 ; Kathedralen en middaglijnen (deel 8) 15 ; Zonnwijzers op rotondes 17 ; Kringleven 18.



Zonnetijdingen 2015-4 (sur papier) de la Zonnewijzerkring Vlaanderen VZW

N° 76 : Préface ; Le cadran solaire de la Halle aux draps d'Ypre ; Des cadrans solaires sur les carrefours giratoires ; Bague solaire en pierre avec deux oculus ; Des anciens globes célestes et terrestres ; Un solaire indiquant 24 heures ; Nouvelles des associations .



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 (Taddei ?) ; 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.



The COMPENDIUM vol 22-4 décembre 2015 (sur CD) de la NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY

Sundials for Starters - Calculations For A Winter Solstice, Robert L. Kellogg 1 ; Quiz: Is This Dialing Scale Universal? Rolf Wieland 4 ; Digital Bonus ; Philippe de La Hire & Jean Picard, Fred Sawyer 5 ; Neolithic Geometry And The Layout Of A Garden Sundial Stephen Luecking 13 ; Finding Astronomical Quantities Using Vitruvius' Analemma, Ortwin Feustel 21 ; Building A Dual Cylindrical Sundial, John Healey 29 ; The Dials, John Wallace Peach (1918) 32 ; The Universal Dial Of John Marke, Alessandro Gunella 33 ; Sterne's Distances John Collins (1659) 38 ; The Tove's Nest 38 ; The Linnaeus Flower Dial Stephen Luecking cover.



The COMPENDIUM vol 23-1 mars 2016 (sur CD) de la NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY

Sundials for Starters - How Bright Is The Sun At Rise & Set? Robert L. Kellogg 1 ; Quiz Answer: Is This Dialing Scale Universal? Rolf Wieland 4 ; Digital Bonus 4 ; Helsinki Reflector Noon Marks Martins Gills 6 ; The Heliochronometer of Schwarzenau Kurt Descovich 11 ; Stefano DiGiovanni: Author Who Played With Italic Hours Alessandro Gunella 25 ; Digital Bonus 31 ; Designing A Digital Sundial Robert L. Kellogg 32 ; The Tove's Nest 40 ; A High AltiUide Sundial! Cover.



Bulletin 2015.3 (sur papier) De Zonnewijzerkring

Colofon, Secretariaat 2 ; Bijeenkomsten 2016, Secretariaat 2 ; Uitnodiging bijeenkomst 17 januari a.s., Secretariaat 4 ; Verslag bijeenkomst 21 maart 2015, Secretariaat 5 ; Verslag bijeenkomst 26 September 2015, Secretariaat 6 ; Een eervolle vermelding, A. vd Werff 10 ; Een oude bekende: de horizontale kruisdraadzonnepijzer, H. Hoogenraad 14 ; De Sawyer Equant zonnepijzer bij kasteel Beisbroek (België), F. Maes 19 ; Prijsvraag, H. Hoogenraad 23 ; Nederlands grootste zonnepijzer in Wijchen herrezen ; F. Maes 26 ; Zonnepijzers op rotondes - deel 2: buitenland , F. Maes 27 ; De zonnepijzer in het Pélffy Palác te Praag, J. Souverijn 31 ; Contents of Bulletin 118 November 2015, Redactie 32 ; Tijdsvereffening en Declinatie tabel, Th. De Vries 33.



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.)

Informations arrêtées le 23 mars 201
Merci à Dominique Collin pour sa relecture attentive.

Articles en réserve

- B. Cura : aménagements de l'astrolabe d'Al Tusi pour le rendre utilisable quelque soit la latitude, y adjoindre une échelle des tangentes et cotangentes et dans l'exemple proposé, étendre cet usage au calcul des tables d'ombre.
- J-P. Cornec : description d'une maquette de cadran sidéral.
- Cl. Gahon : cadrans originaux.
- M. Limousin : construction détaillée d'un cadran solaire à miroir astroïde.
- D. Savoie : cadrans chinois
- D. Savoie : analyse et restauration des cadrans solaires astronomiques de l'ancien hôtel des ambassadeurs.

Informations arrêtées le 4 avril 2016

Merci à Dominique Collin pour sa relecture attentive.



Photo internet

Héliographe double type Campbell