

Au Sommaire :

- "Temps vrai" et "cadran" : deux «applications»
- Quel style pour un cadran mal orienté ?

• Histoire

La colonne d'Uranie.
Les cadrans de guerre.
Cadrans portatifs XVI-XVIII
Heures des prières sur les astrolabes
Table de Saint Julien (suite)

• Réalisations

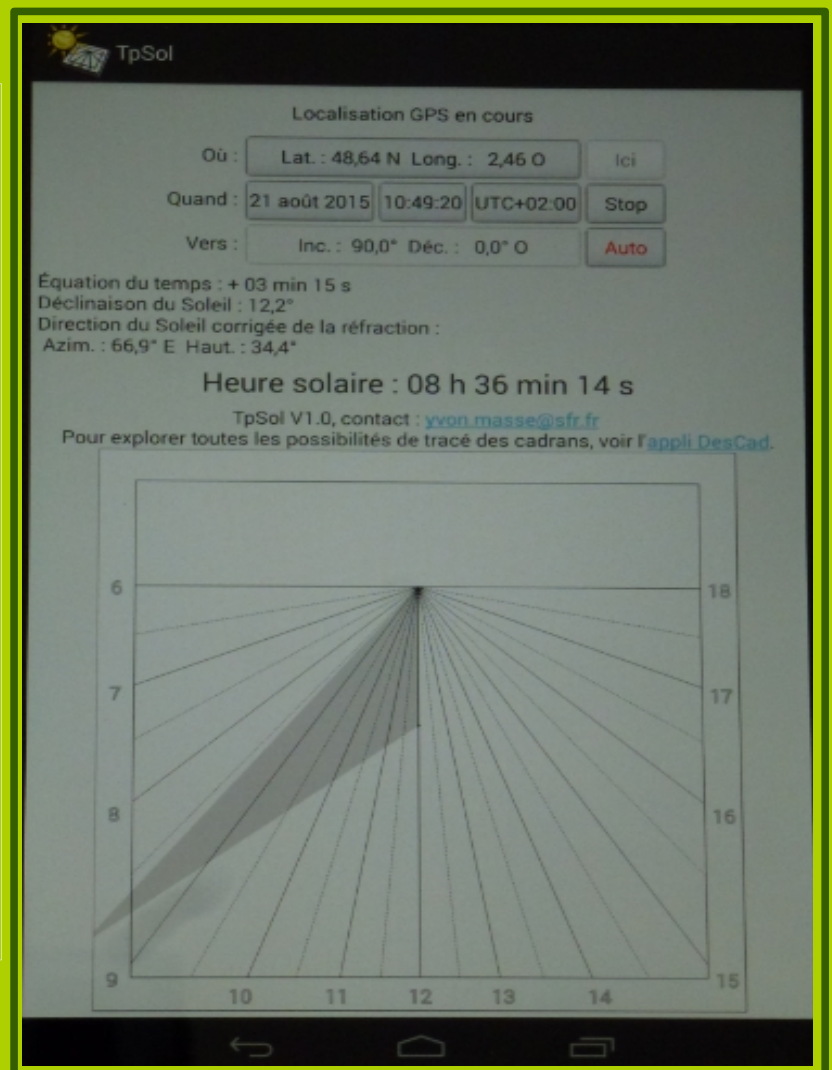
Cadrans "Gahon".
Cadran catacaustique à miroir astroïde.
Appareil de mesure de la déclinaison.
Maquette de cadran sidéral.
Mérienne sur hyperboloïde.

• Etudes

Canoniaux sur bâtiments civils.
Cadran-calendrier de Grenoble.
Cadrans genevois.
Statistiques nocturlabes.

• Informations

Nouveaux Cadrans. Cadrans
antiques. Cadran de hauteur.
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° 32, Summary in French, English, German, Spanish, Italian

Sommaire en allemand, anglais, espagnol, italien : traduction de Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		
XVe festival des cadrans solaires : compte rendu du XVe festival des cadrans solaires du 31 mai à Aiello en Italie.	Anselmi Riccardo	11
Etude de l'inventaire 2015 des nocturlabes : vérification des statistiques compte tenu de l'ajout de 140 nouveaux objets par rapport à octobre 2014.	Beaudoux Bernard	15
Cadran catacaustique : étude et formules pour réaliser un cadran à réflexion à miroir astroïde	☐ Collin Dominique	22
Maquette de cadran sidéral : réalisation d'une maquette pour un projet de cadran solaire de temps sidéral destiné à l'observatoire de Lille.	Druon Christain	33
La colonne d'Uranie : confidences de Jean-Baptiste Terrier et analyse des texte polémiques de ce cadran solaire de Lyon.	☐ Gagnaire Paul	43
Mesure de la déclinaison d'un mur : description d'un appareil de mesure de la déclinaison d'un mur et calculs de celle-ci.	Langlet Philippe	54
Cadrans portatifs et déclinaison magnétique XVI - XVIIIe : comment la déclinaison magnétique, ses variations géographique et séculaire ont été prises compte dans la fabrication des cadrans portatifs du XVI au XVIIIe	Mercier Eric	61
Les heures de prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous : cette étude tente de retrouver les anciens paramètres de calcul des prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous.	Mercier Eric	77

Les cadrans de guerre : œuvres gnomoniques du capitaine Enrico d'Albertis et en particulier ses cadrans patriotiques.	Mesturini Giorgio	89
Quel style polaire pour un cadran faux ? : positionnement du style pour minimiser l'erreur d'un cadran dont le tracé ne correspond pas à l'orientation du mur.	Savoie Denis	93
Canoniaux sur bâtiments civils en France : recherche sur l'existence de cadrans canoniaux sur des bâtiments autres que religieux en France	Schneider Denis	97
Méprise d'un chasseur : signes zodiacaux sur un cadran canonial ou chrisme avec l'Alpha et l'Oméga ? La méprise d'un chasseur !	Schneider Denis	101
Les cadrans solaires genevois de R. Béguin : visite des cadrans disparus et actuels réalisés par René Béguin pour la ville de Genève.	Tamarit Francis	103
Table de Saint Julien... du nouveau : dernières découvertes concernant le blason et quelques cadrans de la table de Saint-Julien, possédant 28 motifs dont 21 cadrans solaires (Complément à l'article de CI n° 19).	Ugon Michel & Gagnaire Paul	111
Cadran à l'université de Grenoble : description du calendrier-cadran solaire	Vermeille Hugues & Yvon Siret	123
Méridienne sur hyperboloïde : méthode de fabrication d'un hyperboloïde à une nappe de révolution en plâtre et tracé d'un cadran solaire de temps moyen sur celui-ci.	Ziegeltrum Francis	134
Informations diverses : <ul style="list-style-type: none"> ° dernières réalisations ou découvertes de cadrans, ° cadran de hauteur horizontal (description/théorie) ° "applications" pour ordiphone et tablette ° le cadran solaire de Saïs, ° lignes babyloniennes et italiques, ° éclairage du temple d'Abou Simbel, ° à propos de l'article « Archéologie, gnomonique et imposture », ° méridiennes et loi de Kepler, ° nouvelles publications, ° gnomonique du monde. 	 <p>Contributeurs : D.Collin, P.L Cambefort, P. Duverney, L. de Dinechin, Cl.Gahon, J.C Gavet, Y. Guyot, P. Juillot, Y. Le Corre, Y. Massé, Y. Le Menestrel, E.Mercier, Pierres de Rosette, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, J. Theubet, R.J.Vinck, Sociétés étrangères.</p>	139

En version numérique :

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

Couverture : application TpSol de Y. MASSE, sur tablette nexus

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° 32

Inhaltsverzeichnis auf Deutsch, Englisch, Spanisch, Italienisch: Übersetzung von Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		
15. Sonnenuhrenfestival: Ergebnis des 15. Sonnenuhrenfestivals vom 31. Mai in Aiello, Italien.	Anselmi Riccardo	11
Studie des Nokturlaben Inventars 2015: Statistiken Prüfung unter Berücksichtigung der Zusatz von 140 neue Objekte, im Vergleich zum Oktober 2014.	Beaudoux Bernard	15
Katakaustische Sonnenuhr: Studie und Formeln um eine Reflektionssonnenuhr mit Astroidem Spiegel zu realisieren.	 Collin Dominique	22
Modell einer siderische Zeit Sonnenuhr: Realisierung eines Modells für das Projekt einer siderische Zeit Sonnenuhr für das Observatorium von Lille.	Druon Christain	33
Die Säule von Urane: Vertrauen von Jean-Baptiste Terrier und Analyse der polemischen Texte dieser Sonnenuhr von Lyon.	 Gagnaire Paul	43
Messung der Deklination der Wand: Beschreibung eines Apparates um die Deklination einer Wand zu messen und Berechnung der Deklination.	Langlet Philippe	54
Tragbare Sonnenuhren und magnetische Deklination 16.-18.: Wie sind die magnetische Deklination, ihre geographische und säkulare Schwankungen bei der Herstellung von tragbaren Sonnenuhren aus dem 16. bis 18. Jh. berücksichtigt worden	Mercier Eric	61
Die Gebetsstunden nach Maghreb-andalusischen Astrolabien: Diese Studie versucht, die alten Einstellungen für die Berechnung der Gebete nach Maghreb-andalusischen Astrolabien zu finden.	Mercier Eric	77
War Zifferblätter: gnomonic Werke Kapitän Enrico d'Albertis und besonders patriotische Zifferblättern.	Mesturini Giorgio	89
Welcher Polarzeiger für eine falsche Sonnenuhr? : Positionierung des Zeigers, um den Fehler auf einer Sonnenuhr, die nicht korrekt für die Wand berechnet worden ist, zu minimieren.	Savoie Denis	93
Kanonische auf Zivilen Gebäude in Frankreich: Forschung über die Existenz von kanonischen Sonnenuhren auf nicht religiöse Gebäude in Frankreich.	Schneider Denis	97
Fehler eines Jägers: Tierkreiszeichen auf einer kanonischen Sonnenuhr oder Chrismon mit Alpha und Omega ? Der Fehler eines Jägers!	Schneider Denis	101

Genf-Sonnenuhren von R. Béguin: Besuch der verschwundenen und aktuellen Sonnenuhren, von René Béguin für die Stadt Genf hergestellt.		Tamarit Francis	103
Tabelle vom heiligen Julien... etwas Neues: Neue Entdeckungen über das Wappen und ein paar Sonnenuhren in der Tabelle vom hl. Julien, die 28 Motiven mit 21 Sonnenuhren enthält (Komplement zum Artikel vom CI n° 19).		Ugon Michel & Gagnaire Paul	111
Dial an der Universität von Grenoble: Beschreibung der Solarwahlkalender		Vermeille Hugues & Yvon Siret	123
Meridiane auf Hyperboloid: Methode zur Herstellung eines Hyperboloid mit einer Revolutionsnappe in Gips und Markierung einer Mittlere Zeit Sonnenuhr drauf		Ziegeltrum Francis	134
<p>Verschiedenes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ jüngste Erfolge oder Entdeckungen von Sonnenuhren, ◦ 'Anwendungen' für Smartphone und Tablet ◦ die Sonnenuhr von Saïs, ◦ Babylonische- und Italische- Linien, ◦ Beleuchtung des Tempels von Abou Simbel, ◦ über dem Artikel „Archeologie, Gnomonik und... <p>Betrug" ,</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Meridiane und Keplersche Gesetze, ◦ neue Publikationen, ◦ Weltgnomonike. 		<p>Contributeurs :</p> <p>D.Collin, P.L Cambefort, P. Duverney, L. de Dinechin, Cl.Gahon, J.C Gavet, Y. Guyot, P. Juillot, Y. Le Corre, Y. Massé, Y. Le Menestrel, E.Mercier, Pierres de Rosette, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, J. Theubet, R.J.Vinck, Sociétés étrangères.</p>	139

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° 32

Sumario en alemán, inglés, español, italiano: traducción de Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi.			
XV festival de los relojes de sol: acta del XV festival de los relojes de sol del 31 de mayo a Aiello en Italia.		Anselmi Riccardo	11
Estudio del inventario 2015 de los nocturlabes: comprobación de las estadísticas habida cuenta de la adición de 140 nuevos objetos con relación a octubre de 2014.		Beaudoux Bernard	15
Cuadrante cata cáustico: estudio y fórmulas para realizar un cuadrante a reflexión a espejo astroide		Collin Dominique	22
Maqueta de cuadrante sideral: realización de una maqueta para un proyecto de reloj de sol de tiempo sideral destinado al		Druon Christain	33



observatorio de Lille.			
La columna de Uranie: confianzas Jean-Baptiste Terrier y análisis del texto polémicos de este reloj de sol de Lyon.	☐	Gagnaire Paul	43
Medida de la declinación de una pared: descripción de un medidor de la declinación de una pared y su cálculo.		Langlet Philippe	54
Cuadrantes portátiles y declinación magnética XVI - XVIII: cómo la declinación magnética, sus variaciones geográfica y secular se tomaron cuenta en la fabricación de los cuadrantes portátiles del XVI al XVIII.		Mercier Eric	61
Las horas de rezos según los astrolabios andaluces magrebí: este estudio intenta encontrar los antiguos parámetros de cálculo de los rezos según los astrolabios andaluces magrebí.		Mercier Eric	77
Los cuadrantes de guerra: obras gnomónicas del capitán Enrico de Albertis y en particular de sus cuadrantes patrióticos.		Mesturini Giorgio	89
¿Qué estilo polar para un cuadrante falso?: localización del estilo para minimizar el error de un cuadrante cuyo trazado no corresponde por a la orientación de la pared.		Savoie Denis	93
Canónicos sobre edificios civiles en Francia: investigación sobre la existencia de cuadrantes canónicos sobre edificios otros que religiosos en Francia.		Schneider Denis	97
Error de un cazador: ¿señales zodiacal sobre un cuadrante canónico o chrisme con el Alfa y la Omega? ¡El error de un cazador!		Schneider Denis	101
Los relojes de sol ginebrinos de R. Béguin: visita de los cuadrantes desaparecidos y actuales realizados por René Béguin para la ciudad de Ginebra.		Tamarit Francis	103
Tabla de Santo Julián... del nuevo: Últimos descubrimientos relativas al blasón y algunos cuadrantes de la tabla de Santo Julián, poseyendo 28 motivos cuyos 21 relojes de sol (Complemento en el artículo de CI n° 19).		Ugon Michel & Gagnaire Paul	111
Cuadrante a la Universidad de Grenoble: descripción del calendario-cuadrante solar.		Vermeille Hugues & Yvon Siret	123
Meridiana sobre hiperboloide: método de fabricación de un hiperboloide a una capa de revolución en yeso y trazado de un reloj de sol de tiempo medio sobre éste.		Ziegeltrum Francis	134
Distinta información: <ul style="list-style-type: none"> • últimas realizaciones o descubrimientos de cuadrantes, • "aplicaciones" para Ordiphone y estante • el reloj de sol de Saïs, • líneas babyloicas e itálicas, • iluminación del templo de Abou Simbel, 	☐	Contributeurs : D.Collin, P.L Cambeftort, P. Duverney, L. de Dinechin, Cl.Gahon, J.C Gavet, Y. Guyot, P. Juillot, Y. Le Corre, Y. Massé, Y. Le Menestrel, E.Mercier, Pierres de Rosette,	139

<ul style="list-style-type: none"> • con respecto al artículo "Arqueología, gnomónica e impostura", • meridiana y ley de Kepler, • nuevas publicaciones, • gnomónica del mundo. 	Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, J. Theubet, R.J.Vinck, Sociedades extranjeras.
---	--

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



GB : Contents Cadran-Info n° 31

Sommaire en allemand, anglais, espagnol, italien : traduction de Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi		
XVth sundials festival by Anselmi Riccardo : account of the XVth sundials festival held on the 31th of may at Aiello in Italy.	Anselmi Riccardo	11
Study of 2015 nocturlabs inventory by Beaudoux Bernard: check of statistics since October 2014, due to 140 new objects added.	Beaudoux Bernard	15
Catacaustic sundial by Collin Dominique: Study and formulae for a reflecting sundial with an astroïd mirror.	 Collin Dominique	22
Sidereal sundial mockup by Druon Christian: mockup making for a sidereal sundial for Lille observatory	Druon Christain	33
Uranie column by Gagnaire Paul : Jean-Baptiste Terrier's confidence and analysis of polemic texts of this sundial located in Lyon	 Gagnaire Paul	43
Wall declination measurement by Langlet Philippe: description of a device to measure and calculate wall declination angle.	Langlet Philippe	54
XVIe-XVIIIe portable sundials and magnetic declination by Mercier Eric: how magnetic declination, its secular and geographical variations has been taken into account for portable XVIe-XVIIIe sundials.	Mercier Eric	61
Hours of prayer given from maghrebo-andalousian astrolabs by Mercier Eric: Construction using hours circles: drawing of tabular angles and day curves without help of height and azimuth angles.	Mercier Eric	77
War's dials : gnomonic works of Captain Enrico d'Albertis and particularly patriotic sundials.	Mesturini Giorgio	89

Which polar style for a wrong sundial? by Savoie Denis: how to place the style in order to minimize a sundial error due to a inappropriate wall orientation.		Savoie Denis	93
Canonical sundials on civil buildings in France by Schneider Denis: search for canonical sundials on non-religious edifice.		Schneider Denis	97
Hunter's mistake by Schneider Denis: zodiacal signs on a canonical sundial or chrism with Alpha and Omega? An hunter's mistake.		Schneider Denis	101
R. Beguin's Genevan sundials by Tamarit Francis: Visit of disappeared and present sundials built by René Beguin for Geneva town.		Tamarit Francis	103
Saint Julien's table...news by Ugon Michel and Gagnaire Paul : Recent discoveries regarding the heraldry and few sundials of the table which 28 pattern including 21 sundials.		Ugon Michel & Gagnaire Paul	111
Dial at the University of Grenoble: description of the solar-dial calendar		Vermeille Hugues & Yvon Siret	123
Meridian sundial on hyperboloid figure by Ziegeltrum Francis: how to make a hyperboloid plaster revolution figure with mean solar time drawn on it.		Ziegeltrum Francis	134
Miscellaneous information : <ul style="list-style-type: none"> ◦ Recent sundials and miscellaneous discoveries ◦ Software for tablets and phones ◦ Saïs sundial ◦ babylonian and italic hours ◦ Abu Simbel lighting ◦ About the "Archéologie, gnomonique et imposture" article ◦ Meridians and Képler's laws ◦ New publications ◦ Gnomonic of the world 	☒	Contributeurs : D.Collin, P.L Cambefort, P. Duverney, L. de Dinechin, Cl.Gahon, J.C Gavet, Y. Guyot, P. Juillot, Y. Le Corre, Y. Massé, Y. Le Menestrel, E.Mercier, Pierres de Rosette, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, J. Theubet, R.J.Vinck, Sociétés étrangères.	139


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




I: Indice Cadran-Info n° 31

Sommario in Tedesco, Inglese, Spagnolo e Italiano : Traduzione di Y.Opizzo, M.Lambalieu, D.Collin, R.Anselmi			
XV festa delle meridiane : cronaca del XV festival delle meridiane tenutosi ad Aiello in Italia il 31 maggio.		Anselmi Riccardo	11

Studio dell'inventario 2015 dei notturlabi : verifica delle statistiche dopo l'aggiunta di 140 nuovi oggetti rispetto ad ottobre 2014.		Beaudoux Bernard	15
Quadrante catacaustico : studio e formule per realizzare un quadrante a riflessione con specchio astroide.	☐	Collin Dominique	22
Modello di quadrante siderale : realizzazione di un modello per un progetto di quadrante solare a tempo siderale destinato all'osservatorio di Lille.		Druon Christain	33
La colonna d'Urania : confidenze di Jean-Baptiste Terrier ed analisi di testi in disaccordo con questo quadrante solare di Lione.	☐	Gagnaire Paul	43
Misura della declinazione di un muro : descrizione di un apparecchio per misurare la declinazione di un muro con i calcoli relativi.		Langlet Philippe	54
Quadranti portatili e declinazione magnetica XVI-XVIII secolo : come la declinazione magnetica e le sue variazioni geografiche e secolari sono state prese in considerazione nella fabbricazione di quadranti portatili dal XVI al XVIII secolo		Mercier Eric	61
Le ore di preghiera secondo gli astrolabi magrebo-andalusi : questo studio tenta di ritrovare gli antichi parametri di calcolo delle preghiere secondo gli astrolabi magrebo-andalusi.		Mercier Eric	77
Quadranti War : lavori gnomonici del capitano Enrico d'Albertis e quadranti particolarmente patriottici.		Mesturini Giorgio	89
Che stilo polare usare su un falso quadrante? : posizionamento dello stilo per minimizzare l'errore di un quadrante il cui tracciato non corrisponde all'orientamento del muro.		Savoie Denis	93
Orologi canonici su edifici civili in Francia : ricerca sull'esistenza di quadranti canonici su edifici non religiosi in Francia		Schneider Denis	97
L'errore di un cercatore : segni zodiacali su un quadrante ad ore canoniche o crisma con l'Alfa et l'Omega ? L'errore di d'un cercatore di meridiane !		Schneider Denis	101
I quadranti solari ginevrini di R. Béguin : visita ai quadranti scomparsi ed attuali realizzati da René Béguin per la città di Ginevra.		Tamarit Francis	103
La...rinnovata tavola di Saint Julien : ultime scoperte riguardanti il blasone e alcuni quadranti della tavola di Saint-Julien, riportanti 28 motivi di cui 21 quadranti solari (Complemento all'articolo di CI n° 19).		Ugon Michel & Gagnaire Paul	111
Comporre presso l'Università di Grenoble : descrizione del calendario solare-per-view		Vermeille Hugues & Yvon Siret	123

<p>Meridiana su iperboloidi: metodo di fabbricazione di un iperboloidi di rivoluzione a una falda su intonaco e tracciato di un quadrante solare a tempo medio sullo stesso.</p>		<p>Ziegeltrum Francis</p>	<p>134</p>
<p>Informazioni diverse :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ ultime realizzazioni o rinvenimenti di quadranti, ◦ "applicazioni" per smartfone et tablet ◦ il quadrante solare di Saïs, ◦ linee babiloniche ed italiche, ◦ illuminazione del tempio di Abu Simbel, ◦ a proposito dell'articolo «Archeologia, gnomonica e impostura » , ◦ meridiane e legge d Keplero, ◦ nuove pubblicazioni, ◦ gnomonica del mondo. 	<p></p>	<p>hanno contribuito :</p> <p>D.Collin, P.L Cambefort, P. Duverney, L. de Dinechin, Cl.Gahon, J.C Gavet, Y. Guyot, P. Juillot, Y. Le Corre, Y. Massé, Y. Le Menestrel, E.Mercier, Pierres de Rosette, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Scordia, J. Theubet, R.J.Vinck, Società straniera.</p>	<p>139</p>

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



XVe festival des cadrans solaires

Riccardo Anselmi

Cadran solaire au son de la fanfare à Aiello del Friuli (UD) pour le XVe FESTIVAL des CADRANS SOLAIRES du 31 mai dernier.

À Aiello, chaque année à la fin de mai, se tient le Festival des cadrans solaires. C'est un événement de grande envergure auquel participe un public large et varié qui vient de différentes parties de l'Italie. Le thème de cette manifestation permet aux visiteurs de connaître ces horloges qui fonctionnent par le Soleil. Autrefois très répandues sur les maisons et les bâtiments publics elles avaient pour objectif principal d'indiquer l'heure et la saison.

À partir d'une fonction d'utilité quotidienne qui leur était réservée dans le passé, les cadrans solaires modernes sont devenus des objets décoratifs plutôt que des montres ; même si l'ordinateur avec lequel ils sont calculés assure leur précision. Aujourd'hui, ces cadrans sont admirés pour leurs couleurs ou pour d'autres valeurs artistiques. Ainsi, ils impactent immédiatement le regard de l'observateur.

Aiello, le pays des cadrans solaires, est une occasion unique de voir de nombreux cadrans solaires si différents les uns des autres, soit pour leur typologie, soit par les nombreux créateurs qui, avec leurs précieuses contributions continuent à enrichir le patrimoine gnomonique de ce pays. Il n'existe en effet aucun autre endroit en Italie qui présente un tel éventail de cadrans solaires. Cette année, ainsi comme il a été dit précédemment, l'événement a été un grand succès.



Même les petits détails, des éléments apparemment sans importance, ont été traités démontrant que rien n'a été laissé au hasard.

Cette fête des cadrans solaires, qui a eu lieu sous le patronage de la Pro Loco, du Cercle culturel Navarca et de la ville de Aiello s'est déroulée dans la cour, maintenant bien connue, du Musée de l'agriculture de l'Imperial Frioul. Elle est mise à disposition par le propriétaire, l'avocat Michele Formentini. En entrant dans cette zone, vous pouvez voir sur la gauche un long mur couvert de cadrans solaires richement décorés dont certains signés par des gnomonistes réputés. D'autres cadrans solaires sont situés sur le bâtiment à droite. En face de ce mur on peut observer un certain nombre d'exposants et certains stands dédiés entièrement à la gnomonique. L'événement a commencé à 8h30 quand s'est ouvert le marché

réservé aux hobbies et aux articles d'occasions. De nombreux stands s'étendaient au-delà de cour. La manifestation s'est terminée à environ 19h30, avec la proclamation du couronnement du cadran ayant obtenu le plus de succès parmi les quatre ayant participé à la compétition du "plus beau cadran solaire".

Quatre stands étaient dédiés entièrement à la gnomonique. Le premier sous la compétence de la bien connue artiste et gnomoniste Ennia Visentin, engagée à peindre une grande étoile de polystyrène. Le suivant était celui de NONVEDOLORA de Fabio Savian qui a exposé certaines de ses créations comme "l'horloge de l'astronaute", une "horloge de berger universelle" dont la théorie a été publiée il y a quelques années. Egalement un "étrange réveil", dont une analyse attentive révèle être un cadran solaire. D'autres réalisations, comme un "cadran solaire analemmatique" pliable, en plastique à déploiement rapide. Des éléments relatifs au site *Sundial Atlas* étaient présentés comme la dernière application numérique qui permet de visionner sur smartphone, les cadrans solaires inventoriés dans la localité. Fabio Savian continue d'améliorer cette création extraordinaire avec comme objectif de passer en revue tous les cadrans solaires du monde. Son travail acharné est en cours. Jour après jour, il est conforté par les résultats de son



immense travail avec l'augmentation du nombre de visiteurs et d'utilisateurs de *Sundial Atlas*.

Après cet emplacement, il y a l'entrée du Musée, un local placé le long d'un couloir parallèle au mur des cadrans solaires. À l'intérieur, vers la droite, différentes expositions comme celle du photographe Sergio Joan dite du "Temps" et une seconde adjacente "Sine Sole Sileo" par le Cercle Navarca. Celui-ci, parmi différentes publications et DVD a publié le livre «*Les heures de soleil*» et les machines gnomoniques, ainsi que des DVD de monuments gnomoniques et cadrans solaires en pierre d'Aiello.

Au fond, il y a une salle de conférence joliment décorée avec de vieux bancs d'école en bois. En vous dirigeant sur la gauche, vous entrez dans une zone avec trois expositions.

La première concerne "les films". Une série d'affiches de l'époque de films célèbres sont présentées. La seconde est réservée aux dentelles et aux étudiants de cette art du fuseaux de la Fondation de l'École Gorizia. Le Professeur d'école, Valentina Macaro avait préparé un travail de dentelle gnomonique comme premier prix de la compétition du "plus beau cadran solaire d'Aiello 2015".

Juste sur le côté gauche de l'entrée du musée il y a le stand d'*Orologi Solari* mis en évidence par une grande banderole placée au centre en haut et visible de toute la place. Ici sont exposés quelques cadrans solaires en papier et tous les numéros de la revue d'*Orologi*

Solari. une copie de *Cadran Info* (magazine de l'Association des gnomonistes français), une de *The Compendium* (magazine de l'Association des gnomonistes des Etas Unis). De même, deux textes de gnomonique écrits par Gianni Ferrari, publiés il y a quelques années sur les cadrans solaires islamiques et ses dernières «formules et méthodes pour l'étude des cadrans solaires plans" et encore, le livre "*Meridiane e Orologi solari*" par Francesco Caviglia et Giovanni Bosca, les Actes du dernier séminaire tenu à Cefalu en Avril 2014, le livre de Guido Dresti et Rosario Mosello illustrant les œuvres astronomiques et gnomoniques affichées par Guido Dresti, enfin, le récent livre de Denis Savoie intitulé "*Recherches sur les Cadrans solaires*". Derrière le comptoir on voit une grande affiche accompagnée par les images des quatre cadrans solaires participant au XVe concours du cadran le plus beau.

Le dernier emplacement était réservé à la gnomonique, avec des petits cadrans solaires portables, détenue par Stefano Giuliani, propriétaire du site www.artesole.com, et situé sur la cour.

Ont pris la parole à plusieurs reprises : Roberto Festa, maire d'Aiello, Aurelio Pantanali, président du Cercle Navarca et organisateur de l'événement ainsi que le créateur du « pays des cadrans solaires » attraction touristique maintenant établie, ainsi que d'autres personnes qui ont montré certains aspects de la journée.

Dans la salle de conférence se sont exprimés certains orateurs, y compris Mario Furlan proposant un rapport intéressant, richement documenté, sur quelques cadrans solaires maintenant disparus, d' Enrico D'Albertis qui se situaient dans et autour de Gorizia .

Ensuite, ce fut l'intervention du soussigné qui, après avoir introduit la description du nouveau cadran solaire du 16 de la rue Stacul, a cédé le micro au co-auteur Luigi Ghia qui a expliqué, à l'aide de simulations, l'avantage du choix d'un style à deux fils courbes (une chaînette et une parabole), en respect de l'idée initiale puis écartée, d'un style avec une chaînette et un fil droit.

Une contribution importante a été celle de Fabio Savian, webmaster et créateur de *Sundial Atlas*, l'Atlas des tous cadrans solaires, qui a présenté une nouvelle application qui permet de "naviguer" et de voir les cadrans solaires d'Aiello sur smartphone.

La cérémonie de clôture a été précédée par la présentation des quatre cadrans solaires qui, bien sûr, à l'exception du premier, sont situés à l'extérieur de la cour en trois différents points d'Aiello. À la fin de la marche, effectuée par la



musique G. Rossini Castions de Strada, Aurelio Pantanali, avec les nombreux créateurs et en présence du maire, a décrit à plus d'une centaine de participants, les caractéristiques du premier cadran solaire "Les heures médiévales" signé Ennia Visentin. Ensuite, le groupe musical s'est mis en marche suivi par le grand cortège de fans pour passer au deuxième cadran. Là, nous sommes attendus par les clients de la Résidence Orizzonti Sereni. La cérémonie se répète avec la présentation du cadran "Sunset Lagoon" et ses nombreux auteurs.

On arrive ensuite au troisième cadran au rythme de la fanfare dont la joyeuse musique anticipe l'arrivée. Ce cadran solaire est particulièrement raffiné autant que sa qualité

artistique, ce qui le fera gagnant des votes. L'auteur du sujet "gouttes d'essence" est Attilio Meotto.

Le quatrième et dernier cadran est atteint après quelques minutes. Il décore la maison Colaut, 16 rue Don Stacul. Sur le front ouest de la maison de Livio Colaut, ancien membre de l'association des pompiers de la région Frioul et Vénice Julienne, maintenant en congé, il a été tracé un cadran bifilaire très spécial dont le style bien particulier, est constituée d'une chaînette et d'un arc de parabole dont les ombres se coupent en un point qui agit comme indicateur.

La réalisation artistique du cadre, conçu par Alessia Mauro, a une signification relative à la représentation allégorique d'un dragon et d'une tour (Le Dragon et la Tour) représentée sur la bannière de l'organisme national de l'incendie et certaines haches utilisées lors des interventions des sapeurs-pompiers.

Afin d'observer les nombreux cadrans solaires se trouvant dans un périmètre supérieur à celui d'une marche à pied, il a été organisé un "parcours vélo" de 20 km, appelé « le cycle des cadrans solaires ». Celui-ci passant par Aiello, Novacco, Strassoldo, Privano, Joannis, Campolongo et Cavenzano, municipalités ornées des cadrans solaires anciens et modernes.

Je conclus cette chronique en rapportant les paroles de l'ingénieur Paolo Albèri Auber de Trieste.

« Un merci spécial à la Ville d'Ajello du Frioul et à son maire Roberto Festa qui a offert de commencer son accueil chaleureux, mais aussi le patron des cadrans solaires



festivaliers AURELIO Pantanali et sa famille. Mes salutations à tous et à la prochaine fois ! »

- Bibliographie :

Gessica Mattallone, "E' tempo di festa ad Aiello con le meridiane", *Messaggero Veneto*, 30

- Liens web :

<https://plus.google.com/photos/105313051788570039436/albums/6156104331747811009/6156104334073588466?pid=6156104334073588466&oid=105313051788570039436>

<http://youtu.be/ZkrC3Lq-RaE>

<http://www.ilpaesedellemeridiane.com/navarca/04you/x.htm>

<http://www.sundialatlas.eu/atlas.php?sp=165>





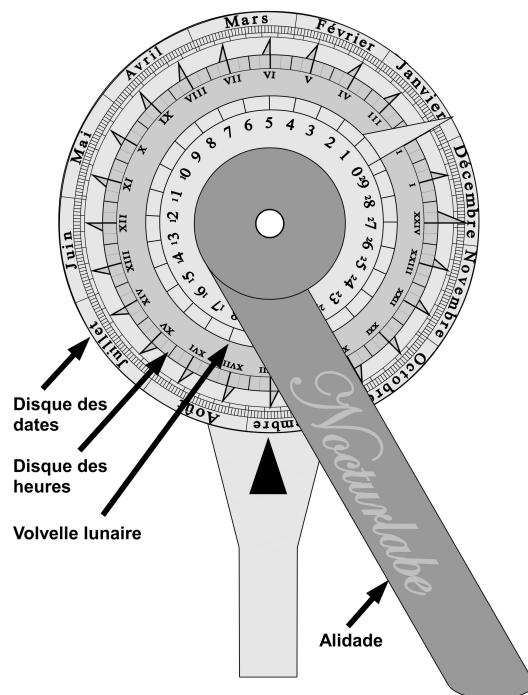
Etude de l'inventaire des nocturlabes

Bernard Baudoux

Lors de la réunion de la SAF à Chaville en octobre 2014, un premier état du nouvel inventaire des nocturlabes avait été présenté à la commission. Certaines statistiques et déductions avaient été faites sur la base des 375 objets qui le composaient. Aujourd'hui, le recensement dénombre 514 de ces instruments (le dernier s'étant ajouté lors de la réunion de mai 2015 à Grenoble). Il nous a donc paru intéressant de vérifier que les statistiques étaient toujours valables avec l'ajout de près de 140 unités.

Rappel du nocturlabe.

Pour rappel, un nocturlabe est un instrument qui permet de déterminer l'heure la nuit d'après la position de certaines étoiles. Il était principalement utilisé du XV^e au XVIII^e siècles. Il est composé, comme le montre la figure ci-dessous, d'un manche, d'un disque des dates (un calendrier), d'un disque des heures, d'une alidade et éventuellement d'un disque lunaire.



Le disque des heures possède un index à chaque heure avec celui de minuit plus grand que les autres. On place cet index de minuit en regard de la date du jour. Puis, on vise l'étoile polaire à travers le trou central en tenant l'instrument perpendiculaire à la ligne de visée, et on

aligne l'alidade sur la ou les étoile(s) de référence (souvent les Gardes de la Grande Ourse). L'heure est donnée à l'intersection du disque des heures et de l'alidade.

L'inventaire

L'inventaire reprend les instruments trouvés selon plusieurs types de source :

- Internet
- Des visites dans des musées
- Des livres et des revues
- Le bouche à oreille

Pour chaque instrument, il est fait mention (quand du moins l'information est disponible) des renseignements suivants :

- L'année/le siècle de construction
- L'origine (la ville/le pays)
- Le nom du fabricant
- La ou les matières qui le composent
- Le lieu de conservation (le musée/la collection privée, etc.)
- Tout détail intéressant (inscription, étoile de référence, etc.)

Tous ces renseignements sont repris dans une feuille Excel :

Numéro SAF		N° inventaire musée		Musée		Ville Musée		Pays Musée		Exposition Réserve					
75-PARI-02-001		11 NA 83		Musée National de la Marine		Paris		France		Exposition					
Année		Siècle		Ville		Pays instrument		Facteur		Matière					
1742		XVIII ^e				Royaume-Uni				bois, laiton					
1732		XVIII ^e				Pays-Bas				laiton					
Inscription(s) Alidade			Inscription(s) Manche			Inscription(s) Autre face			Inscription(s) Ailleurs						
Neant			Both Bears			Neant			GB et LB sur grands index						
Calendrier Zodiacal		Graduation disque heure		Graduation disque date		Heure(s) de l'(des) indé		Date de Référen		Seul Associe		Correction Latitud		Remarque	
Non		2 x 1-12		par 2 jours		12 pour GB 4 pour LB				Seul		Oui		Une queue de serpent gravée sur l'alidade. Réserve central à une certaine époque et non extensible.	
Références													Photo Existe		
Oui		2 x 1-12		tous les jours				14-oct		https://alidade.obspm.fr/sdxapp/ead.html?id=FROBSPM-ALIDADE-INST00001&c=FROBSPM-ALIDADE-INST00001_e0004778&qid=sdx_q54				Oui	
Oui		2 x 1-12		tous les jours				27-oct		https://alidade.obspm.fr/sdxapp/ead.html?id=FROBSPM-ALIDADE-INST00001&c=FROBSPM-ALIDADE-INST00001_e0004902&qid=sdx_q3				Oui	

Chaque instrument porte un numéro d'inventaire. Le format de ce numéro, décrit ci-dessous, est différent de ceux des cadrans solaires et des astrolabes. Le but poursuivi est

simplement d'éviter une confusion à la lecture d'un numéro.

Format du numéro :

XX-VVVV-mm-sss

XX : code du pays (ISO 3166-1) où l'instrument est conservé, ou numéro de département si l'objet est conservé en France (XX si pays inconnu, 00 si département inconnu en France).

VVVV : code de la ville de conservation en 4 lettres

mm : numéro du musée dans la ville

sss : numéro séquentiel du nocturlabe dans le musée

Les codes existants pour les villes et les numéros de musée sont fournis avec l'inventaire.

En marge de l'inventaire, chaque nocturlabe a sa propre fiche qui reprend toutes les données connues sur lui, dans un format PDF. Ce format est plus facile à emporter pour une visite de musée. Un canevas sous Excel est également fourni afin de pouvoir encoder les données relatives à un instrument nouvellement découvert. Il suffit de le remplir et de nous le renvoyer par mail pour qu'il entre dans l'inventaire.

Cette fiche (ainsi que le canevas) est composé de trois parties marquées par des couleurs différentes (on retrouve les mêmes couleurs dans l'inventaire) :

- Le bleu qui reprend les données propres à l'inventaire (le numéro par exemple)
- Le rose qui reprend les données propres au musée (le nom, le pays, la ville, le numéro d'inventaire du nocturlabe dans le musée et l'indication stipulant si l'instrument est exposé ou en réserve)
- Le vert qui reprend les données propres au nocturlabe (ses dimensions, l'année – siècle – de fabrication, le facteur, la présence ou non d'un manche, d'un aspectarium, des inscriptions, etc.)

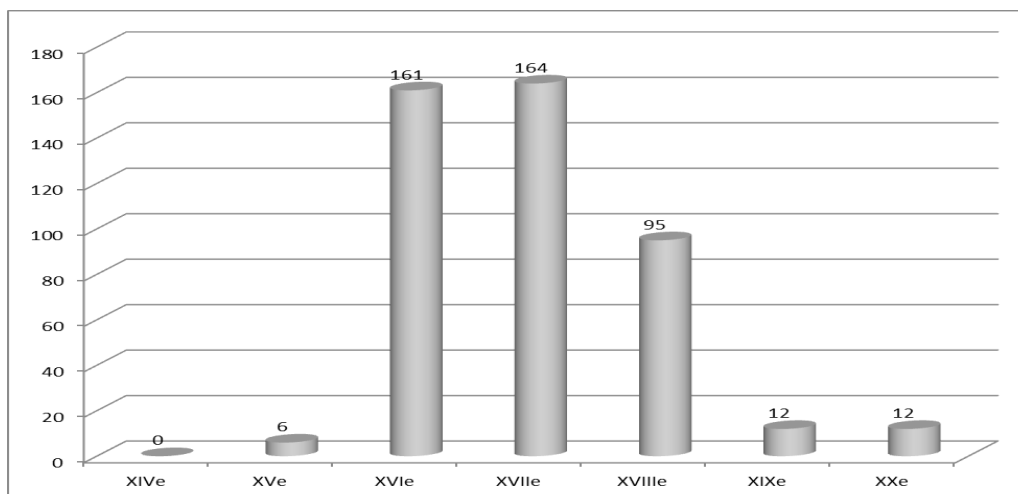
Etude de l'inventaire

A la réunion de la SAF en octobre 2014, lors de la première présentation de l'inventaire, ce dernier comprenait 375 instruments. Lors de la réunion de mai 2015, ce nombre était porté à 513, plus un cinq cent quatorzième qui est venu s'ajouter en cours d'exposé.

Des graphiques avaient été présentés en octobre. Ils ont été mis à jour avec les nouvelles données. Les tendances restent cependant les mêmes, ce qui est très rassurant quant à leur validité (nous avons considéré les données comme représentatives, faute de mieux).

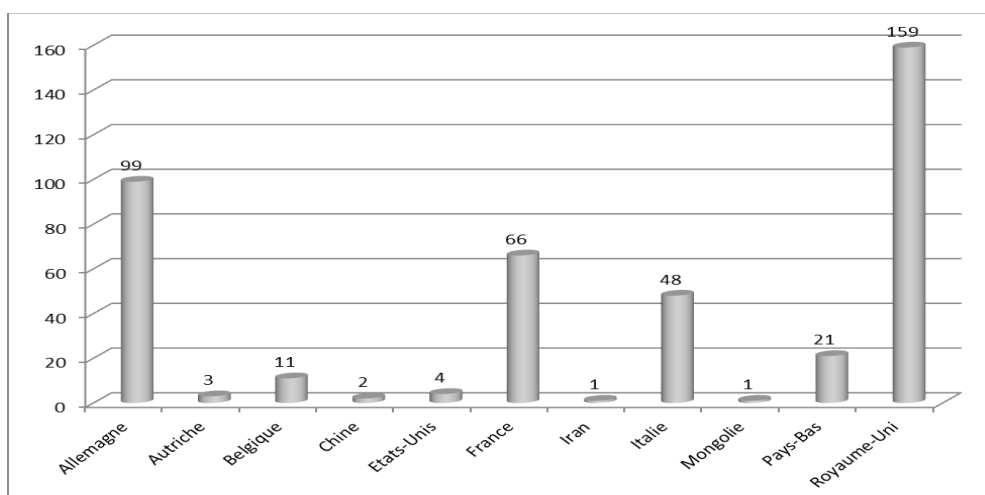
Nous allons ici commenter quelques-uns de ces graphiques.

La répartition selon les époques.



On remarque très nettement que le plus gros de la production des nocturlabes s'est fait aux XVI^e et XVII^e siècles. Aucun antérieur au XV^e siècle n'a été découvert à ce jour. Le XVIII^e siècle produit encore une importante quantité d'instruments, ensuite, la production devient beaucoup plus anecdotique.

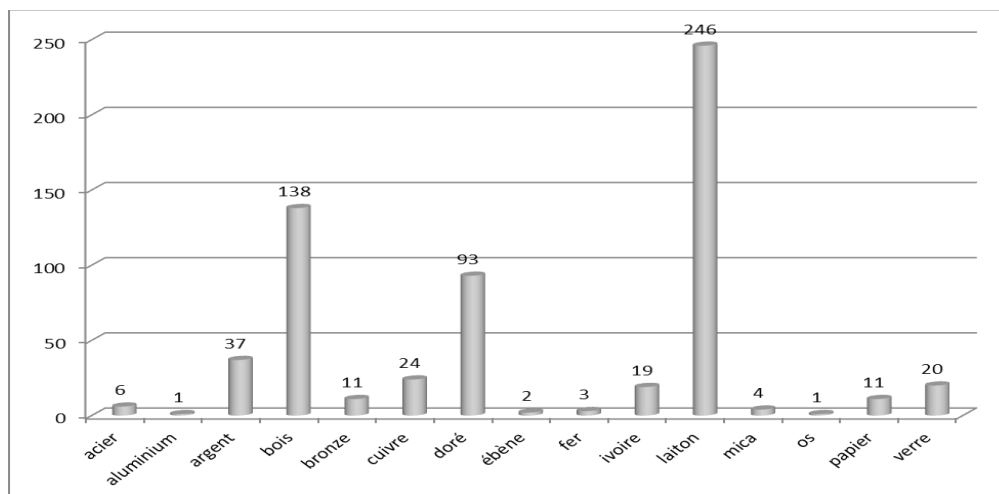
La répartition selon le lieu de création



Le pays pour lequel on a retrouvé le plus de nocturlabes est le Royaume-Uni. Ceci tient en grande partie aux nombreux instruments en bois du XVIII^e siècle.

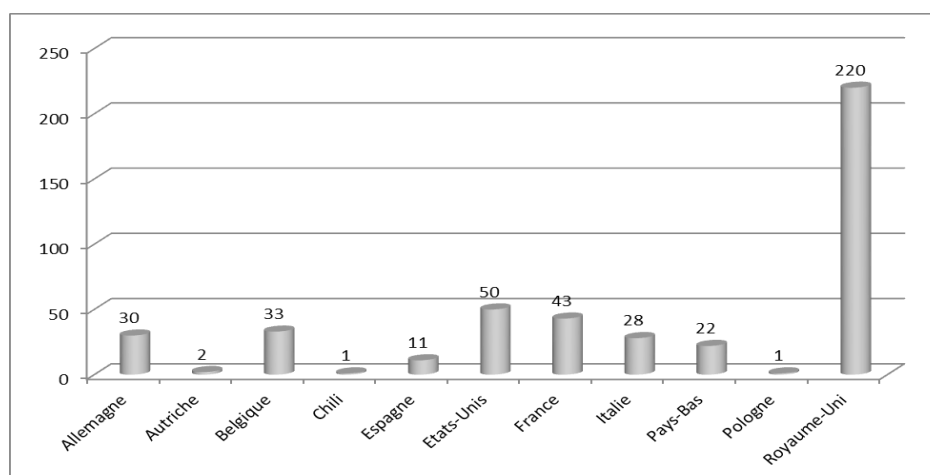
Tout comme on aurait pu faire cette réflexion pour le diagramme précédent, le fait que l'on ait retrouvé plus d'instrument à une certaine époque ou à un endroit donné ne signifie pas forcément que c'est la période ou le lieu où la production a été la plus intensive, on en a simplement retrouvé plus.

Répartition selon la matière.



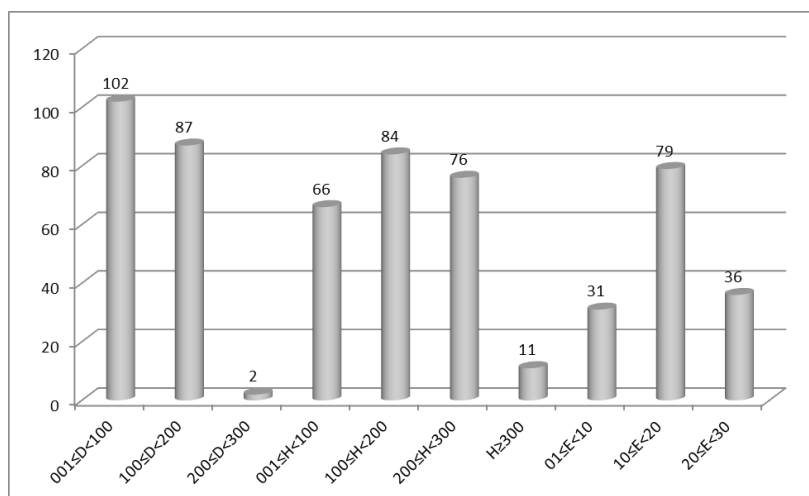
C'est le laiton qui domine très largement ici, suivi du bois. Dans ces derniers il y a bien évidemment les instruments anglais. On trouve très souvent le buis dans les références des musées, mais d'après un spécialiste de cette essence dans la Sarthe, il ne s'agirait pas de ce bois, mais plutôt de poirier. Quoi qu'il en soit nous avons repris le terme générique de 'bois' pour les désigner. « Doré » signifie un matériau (laiton, argent, etc.) qui a été doré. Le « verre » indique un élément de la composition de l'instrument.

Répartition selon le pays de conservation.



Ce graphique est suffisamment éloquent et peut se passer de commentaires.

Répartition selon les dimensions.



On remarque que les nocturlabes sont des instruments de dimensions modestes. Le diamètre (D) dépasse rarement les 13 cm.

Les hauteurs (H) sont plus importantes de par le fait qu'elles incluent le manche lorsqu'il y en a un.

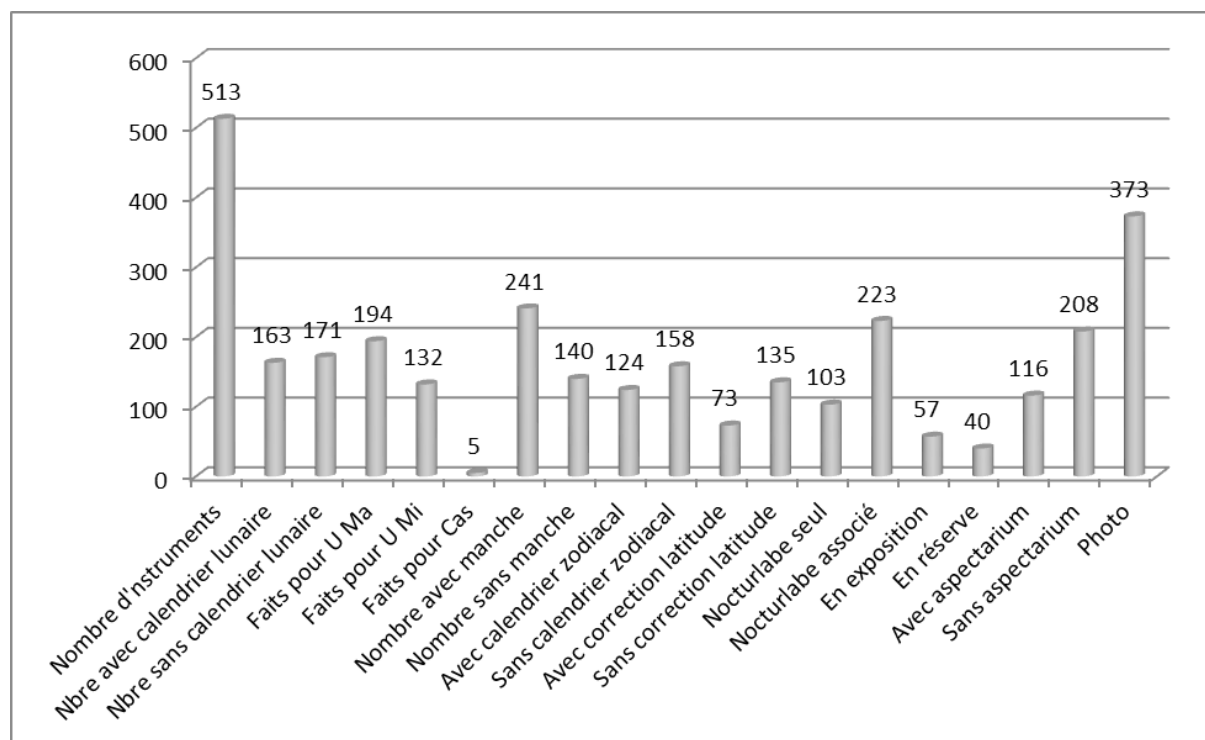
Les épaisseurs (E) sont assez semblables d'un instrument à l'autre. Les épaisseurs les plus grandes se rencontrent lorsque le nocturlabe n'est pas isolé, mais fait partie d'un nécessaire astronomique. C'est dans ce cas l'épaisseur du nécessaire qui est indiquée dans les notices des musées.

L'inventaire comprend aussi une colonne pour les masses des instruments. Nous ne l'avons pas reprise ici, car il s'agit d'une donnée trop rarement mentionnée. Nous ne la connaissons effectivement que pour 11 instruments, ce qui est beaucoup trop peu pour être un tant soit peu représentatif.

Les compteurs généraux.

Ceux-ci reprennent des données telles que le nombre de nocturlabes recensés (513 lors de la présentation à Grenoble, 514 depuis), le nombre d'instruments équipés d'un manche, d'un aspectarium (petite fenêtre qui tourne et montre l'aspect de la Lune – sa phase), combien sont calculés pour un usage avec la Grande Ourse, la Petite Ourse, Cassiopée, le nombre d'instruments seuls ou combinés à un autre (par exemple à un nécessaire astronomique, un quadrant, un astrolabe, un cadran solaire, etc.)

Lorsque nous donnons le nombre de nocturlabes avec une caractéristique (par exemple équipé d'un aspectarium), nous donnons également le nombre qui n'en ont pas. La somme de ces deux nombres n'est pas égale au nombre total d'instruments dans l'inventaire. Les chiffres que nous citons ici sont ceux où la chose est avérée (oui, le nocturlabe a un aspectarium ou non, il n'en a pas). La différence réside donc dans ceux pour lesquels nous ne savons pas de manière certaine s'il faut classer dans l'une ou l'autre catégorie.



Le cas Pineau.

En observant l'inventaire, il nous est apparu qu'un même type d'instrument revenait dans plusieurs musées. Comme il ne nous est pas permis de reproduire ici des photographies vues sur les sites des musées pour des raisons de droits d'auteur, nous donnons ici quelques liens internet où on peut les voir :

http://www.britishmuseum.org/research/collection_online/collection_object_details.aspx?objectId=55524&partId=1&searchText=nocturnal&page=3

<http://collectiononline.nmsi.ac.uk/detail.php?t=objects&type=all&f=&s=nocturnal&record=19>

<http://www.mhs.ox.ac.uk/collections/imu-search-page/record-details/?TitInventoryNo=52632&querytype=field&thumbnails=on&irn=17473>

http://catalogue.museogalileo.it/object/NocturnalSundial_n03.html

C'est le musée Galileo de Florence (Italie) qui attribue son instrument à un français du nom de Pineau. Tous les instruments listés sont de la même époque (vers 1590). Nous les avons répertoriés avec pour nom de facteur « Pineau ? ». C'est le seul détail que nous connaissons à son sujet.

Un appel a été lancé à Grenoble (et est réitéré ici) à tous ceux qui aurait connaissance de ce facteur (dates et lieux de naissance/mort, lieu où il travaillait, ainsi que pour qui, etc.).





Cadran catacaustiques à miroir astroïde

Dominique Collin

Etude générale des cadrans catacaustiques avec comme exemple remarquable, celui du cadran à miroir astroïde.

Pour faire suite à l'étude détaillée du cadran à miroir deltoïde de M. Echard¹ d'une part, aux demandes d'informations d'un de nos membres d'autre part², j'ai pensé qu'il pouvait être intéressant de communiquer les principaux résultats qui ont été trouvés. Je propose donc ici une étude générale des cadrans catacaustiques avec comme exemple remarquable, celui du cadran à miroir astroïde. Il est nécessaire de lire d'abord l'article de M. Echard si on veut envisager la construction effective du cadran à miroir astroïde, construction qu'il ne m'a pas encore été possible de réaliser au moment où je communique les principes généraux des cadrans catacaustiques.

1 Introduction

Par *cadran solaire catacaustique* il faut entendre cadran solaire à réflexion dont la ligne principale du miroir suit, non pas un segment, mais une courbe plane. On parle alors de miroir courbe ou plus exactement de surface réfléchissante courbe³. À la différence des miroirs utilisés dans les cadrans à réflexion traditionnels dont la taille est relativement petite car il est inutile d'avoir un grand miroir plan, c'est toute la surface offerte par le miroir courbe qui est utilisée pour former le cadran catacaustique⁴. Il n'y a pas de surface réceptrice dans ce cadran solaire comme on l'entend dans les cadrans à réflexion en général. Le lieu des points formés par le flot de rayon lumineux parallèles réfléchis par le miroir courbe est appelé *caustique*. Elle se forme dans le plan d'incidence, et c'est pour cette raison que le cadran catacaustique fonctionne en cadran quasi-équatorial⁵. On ajoute donc une plaque (perpendiculaire au ruban miroir) pour faire apparaître la courbe caustique, et en particulier les différents points de rebroussement (points où l'intensité lumineuse réfléchie est maximale)

1 J-F. Echard, "Cadran à réflexion : miroir deltoïde", Cadran-Info n°14, p. 28-34, octobre 2006.

2 Correspondance avec M. Limousin, membre de la commission des cadrans solaires.

3 Par contrainte et aussi par souci d'une relative facilité de construction, la surface miroir est une bande rectangulaire souple, de largeur moyenne de 10 cm, réfléchissante, dont la ligne moyenne suit celle d'une courbe plane. Le ruban réfléchissant est posé perpendiculairement sur un plan infiniment voisin du plan d'incidence du flot de rayons lumineux parallèles.

4 Autrement dit, la dimension du cadran solaire dépend de la dimension du miroir courbe choisie puisque, comme cela va être démontré indirectement ci-après, les points horaires sont situés sur la courbe caustique associée à la courbe miroir. Par conséquent, la répartition des points horaires dépend du flot des rayons solaires réfléchis par la surface miroir : plus celle-ci est grande, plus grand sera le cadran et inversement.

5 Il est nécessaire de présenter l'ensemble du cadran dans une position proche du plan équatorial pour assurer un bon fonctionnement (*i.e.* : observer correctement la courbe caustique par incidence rasante des rayons lumineux sur le plan sur lequel est posé le miroir courbe). Il faudra donc incliner le cadran sur l'horizon sud d'un angle $\varphi \pm \delta$, où φ est la latitude du lieu et δ est la déclinaison du Soleil.

qui vont servir d'indicateur horaire.

La principale difficulté est de déterminer l'équation de la « caustique au Soleil » associée au miroir courbe. La 2e difficulté est de déterminer le lieu des points de rebroussement qui serviront d'indicateur horaire. On présente les résultats dans leur généralité pour ensuite les appliquer au miroir astroïde⁶, suite naturelle, si l'on peut dire ainsi, au miroir deltoïde présenté en détail par M. Echard dans Cadran-Info n°14..

2 Caustique au soleil d'un miroir courbe – Etude générale

Abordons directement le sujet en prenant comme courbe support une courbe miroir (M) quelconque, et un point $P(t)$ sur la courbe miroir de coordonnées paramétriques $(x(t), y(t))$ où $t \in I \subset \mathbb{R}$ est le paramètre positionnant le point P sur (M) (figure 1). Le repère direct Oxy est tel que l'axe Oy est dans le plan méridien et orienté vers le sud, l'axe Ox est dans le premier vertical et orienté vers l'ouest. Oxy est le plan d'incidence contenant donc la source (S), supposée placée à l'infini (le Soleil), émettant un flot de rayons lumineux parallèles. La tangente (T) et la normale (N) à la courbe (M) en $P(t)$ appartiennent au plan incident de ce flot de rayons lumineux parallèles.

La caustique (C) du miroir courbe est l'enveloppe du flot de rayons lumineux parallèles réfléchis. Notons $F(t)$ le point de la caustique associée au point incident $P(t)$ de (M) et à la source (S) située à l'infini. La construction géométrique du point F s'effectue au moins de deux façons. La première utilise le centre de courbure de la courbe miroir (M) en P , la deuxième, qui a retenue toute notre attention, utilise la géométrie vectorielle, permettant entre autre une résolution numérique quelle que soit la courbe miroir utilisée.

2.1 Explication géométrique

Figure 1. Le point F appartient au rayon lumineux réfléchi et se trouve sur la caustique qui lui est tangente. Le point F est l'intersection entre le cercle $\mathcal{C}_2(\Omega_2, \frac{1}{4}r)$ et le rayon réfléchi par (M) en P . Le point Ω_2 est le centre du cercle \mathcal{C}_2 passant par P , r est le rayon du cercle osculateur (de centre Ω) ou rayon de courbure de (M) en P . Ω_2 se trouve sur la normale (N) en P , et plus exactement au quart de la distance $P\Omega$. Le triangle $PF\Omega_1$ est rectangle en F . Le point caustique F peut donc aussi se construire en projetant orthogonalement le milieu Ω_1 du segment $P\Omega$ sur le rayon réfléchi qui lui-même se construit par symétrie axiale du rayon incident sur la normale à (M) en P . La répétition de ce procédé à chaque rayon incident du flot de rayons lumineux parallèles conduit à la construction point par point de la caustique (C). Le procédé n'est cependant pas pratique pour localiser rapidement le point de rebroussement, point où se concentre le flot de rayons lumineux parallèles réfléchis.

2.2 Explication vectorielle – résolution

Figure 2. Dans le plan d'incidence Oxy , notons \vec{V}_i et \vec{V}_r les vecteurs unitaires

6 Il ne faut pas oublier que la courbe astroïde se prête bien aux calculs qui vont suivre, tout comme l'était la courbe deltoïde. Les autres types de courbe ne se prêtent pas si bien aux calculs, voire même pas du tout, et il faut donc accepter de passer par un traitement entièrement numérique. Je n'ai pas encore recherché d'autres exemples ou seul le traitement numérique permet d'obtenir des résultats. Mais le réel obstacle n'est pas là : on n'oubliera pas les conditions de réalisation à respecter pour que d'un miroir courbe on en fasse un cadran solaire (*op. cit.*, pages 29-30).

incident et réfléchis par (M) au point courant $P(t)$. Ces vecteurs dépendent du point d'incidence P , ils dépendent alors du paramètre t puisque (M) est paramétrée par t . Selon les lois de la réflexion de Descartes, nous obtenons en $P(t)$:

$$\vec{V}_r = \vec{V}_i + (2 \cos i) \vec{n} \quad (1)$$

L'angle orienté i est l'angle d'incidence du flot de rayons lumineux parallèles ; il est mesuré positivement dans le sens trigonométrique depuis la normale (N) à la courbe (M) en $P(t)$. Le vecteur \vec{n} est un vecteur directeur de la normale (N) à (M) en P .

F étant un point de la caustique, les vecteurs \overrightarrow{PF} et \vec{V}_r sont colinéaires et par conséquent :

$$\overrightarrow{PF} = q \vec{V}_r \quad (2)$$

où q est un nombre réel à déterminer. Mais également, les vecteurs \overrightarrow{OF} et \overrightarrow{OP} vérifient la relation de Chasles :

$$\overrightarrow{OF} = \overrightarrow{OP} + q \vec{V}_r \quad (3)$$

Les composantes vectorielles s'écrivent : $\overrightarrow{OF} = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix}$, $\overrightarrow{OP} = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$, et $\vec{V}_r = \begin{pmatrix} V_{rx} \\ V_{ry} \end{pmatrix}$. La relation

(3) est l'équation vectorielle qui détermine n'importe quel point F de la caustique dès que l'on aura déterminé q ; les composantes de \overrightarrow{OF} constituent l'équation paramétrique de la caustique. Les composante de \overrightarrow{OF} dépendent de t et q .

Or, puisque F est un point de la caustique, la jacobienne de \overrightarrow{OF} doit être telle que $J(\overrightarrow{OF}) = 0$, ce qui permet d'obtenir une expression de q en fonction de t . Explicitions la jacobienne de \overrightarrow{OF} :

$$J(\overrightarrow{OF}) = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_x}{\partial t} & \frac{\partial F_x}{\partial q} \\ \frac{\partial F_y}{\partial t} & \frac{\partial F_y}{\partial q} \end{vmatrix} = \frac{\partial F_x}{\partial t} \times \frac{\partial F_y}{\partial q} - \frac{\partial F_y}{\partial t} \times \frac{\partial F_x}{\partial q} = 0$$

Avec :

$$\begin{aligned} F_x &= x + q V_{rx} \\ F_y &= y + q V_{ry} \end{aligned}$$

et

7 Lire l'excellent article de Siohoï Leng & Ryad Benosman, "Surfaces caustiques par la géométrie – Application aux capteurs catadioptriques", dans la revue Traitement du signal, 2005, Vol. 22, N°5, Vision omnidirectionnelle, pp. 433-442. La méthode développée par les auteurs est ici appliquée à nos besoins gnomoniques. Ils nous informent entre autre qu'il est montré dans l'article de D. Burkhard & D. Shealy, "Flux density for ray propagation in geometric optics", Journal of the Optical Society of America, 1973, Vol. 63, N°3, pp. 299-304, que si F est un point de la caustique, alors la jacobienne du vecteur \overrightarrow{OF} est nulle, ce qui conduit, dans les situations les plus propices (et très peu nombreuses), à établir l'équation paramétrique de la caustique ; étude et démonstration que je n'ai pas encore pu me procurer et consulter.

$$\frac{\partial F_x}{\partial t} = \frac{\partial x}{\partial t} + q \frac{\partial V_{rx}}{\partial t}, \quad \frac{\partial F_x}{\partial q} = V_{rx}$$

$$\frac{\partial F_y}{\partial t} = \frac{\partial y}{\partial t} + q \frac{\partial V_{ry}}{\partial t}, \quad \frac{\partial F_y}{\partial q} = V_{ry}$$

On a alors :

$$\left[\frac{\partial x}{\partial t} + q \frac{\partial V_{rx}}{\partial t} \right] V_{ry} - \left[\frac{\partial y}{\partial t} + q \frac{\partial V_{ry}}{\partial t} \right] V_{rx} = 0$$

Ce qui donne finalement pour q une première expression très générale :

$$q = \frac{\frac{\partial x}{\partial t} V_{ry} - \frac{\partial y}{\partial t} V_{rx}}{V_{rx} \frac{\partial V_{ry}}{\partial t} - V_{ry} \frac{\partial V_{rx}}{\partial t}} \quad (4)$$

ou encore en utilisant la notation de Newton pour la dérivée première par rapport à t :

$$q = \frac{\dot{x} V_{ry} - V_{rx} \dot{y}}{V_{rx} \dot{V}_{ry} - \dot{V}_{rx} V_{ry}} \quad (5)$$

C'est l'un des résultats essentiels délivrés par les chercheurs Siohoï Leng & Riad Benosman⁸. Pour achever le calcul de q , il est nécessaire de déterminer les composantes du vecteur réfléchi $\vec{V}_r = \begin{pmatrix} V_{rx} \\ V_{ry} \end{pmatrix}$. Elles dépendent de l'angle d'incidence i formé par les rayons

lumineux parallèles issue de la source à l'infinie (S). Or, i est directement dépendant :

- du paramètre t localisant sur le miroir (M) le point d'incidence P ;
- de l'angle horaire H qui est l'inclinaison comptée depuis l'axe Oy , du flot de rayons lumineux parallèles (il est compté positivement dans le sens indirect).

Pour $t \in I \subset \mathbb{R}$, on a la relation fondamentale des cadrans catacaustiques⁹ :

$$i = H - \bar{\psi} \quad (6)$$

La combinaison des relations (5) et (6) permet de déterminer le scalaire q , donc les composantes du vecteur \vec{OF} , autrement dit l'équation de la caustique (C) associé au miroir (M) pour un flot de rayons incidents parallèles d'angle horaire H . Dans le cas d'une courbe « simple », on parviendra à établir une expression algébrique des équations paramétriques. Mais dans la plupart des cas, seul le calcul numérique permet de tracer la caustique (donc d'en déterminer à volonté n'importe quel point).

Le problème n'est pas encore achevé car il reste à déterminer les points de

8 *Op. cit.*, équation 2, page 435. Elle comporte dans le texte quelques anomalies typographiques sans conséquence pour son interprétation.

9 Ψ est l'angle orienté (compté positivement dans le sens trigonométrique) entre l'axe Ox et la tangente (T) à (M) en P . On rappelle que $\bar{\psi} = 90^\circ - \psi$ et $\bar{\bar{\psi}} = 180^\circ - \psi$.

rebroussement de la caustique : lieux où l'intensité du flot de rayon lumineux parallèles issus de la source à l'infini (S) est maximal. Pour les déterminer, il faut trouver pour quels $t \in I \subset \mathbb{R}$ on a simultanément : $\dot{x}(t) = \dot{y}(t) = 0$. En pratique, on aura recours au calcul numérique. À chaque angle horaire H est donc associé un (ou plusieurs) point(s) de rebroussement. On ne cherchera pas non plus à ce stade, à déterminer l'équation paramétrique du lieux des points de rebroussement. Le gnomoniste n'aura donc plus qu'à positionner un plot ou n'importe quoi d'autre pour marquer le voisinage de l'intensité maximale produit au cours de l'instant vrai H .

3 Le miroir courbe à profil astroïde

Appliquons maintenant ces principes généraux à celui d'un miroir courbe en forme d'astroïde. La question avait été de savoir quelle est l'équation de la caustique d'un miroir en forme d'astroïde. Ceci afin de réaliser un prototype tout comme cela avait été fait pour le cadran à courbe deltoïde par M. Echard.

3.1 Condition de réalisation en cadran solaire

Les conditions minutieusement décrites dans l'étude en question (CI n°14) sont respectées pour la courbe astroïde. Cependant, la caustique ne reste pas identique à elle-même pendant la rotation du flot de rayons lumineux parallèles, elle se déforme. Mais on peut espérer s'en servir pour en faire un cadran solaire original comme on va le démontrer ci-après.

3.2 Description rapide de la courbe astroïde

Considérons une astroïde¹⁰ centrée en un point $O(0;0)$, origine du repère Oxy , d'équation paramétrique :

$$\begin{cases} x(t) = a \cos^3(t) \\ y(t) = a \sin^3(t) \end{cases} \quad (7)$$

où a est un réel ajustant la dimension de l'astroïde (facteur d'échelle). Sous cette forme, les quatre points de rebroussement de l'astroïde sont sur les axes du repère orthonormal (O, \vec{i}, \vec{j}) (respectivement $(a; 0)$, $(0; a)$, $(-a; 0)$ et $(0; -a)$). Dans toutes les figures, on a pris $a=1$. Le cadran sera formé de deux branches astroïdes dont le point de rebroussement $(0; a)$ est exactement dans le plan méridien côté Sud. Le plan contenant la courbe astroïde est incliné sur l'horizon sud d'un angle $\varphi \pm \delta$; c'est aussi le plan d'incidence du flot de rayons lumineux parallèles, qu'il faudra ajuster, à chaque date, pour obtenir la caustique.

3.3 Description vectorielle

Figure 2 et 3. Soit $P(t)$ un point courant de la courbe astroïde (M) avec $t \in I \subset \mathbb{R}$. La tangente (T) à (M) en P est dirigée par le vecteur $\vec{t} = \begin{pmatrix} -\cos t \\ \sin t \end{pmatrix}$. Une équation de la tangente (T) en $P(t)$ est donc :

¹⁰ La littérature scientifique et tellement abondante sur la courbe astroïde que je n'en dirais rien de plus que ce que le lecteur peut trouver dans toute bibliothèque ou sur l'Internet. Cependant, je n'ai rien trouvé sur la caustique propre à l'astroïde, si ce n'est un dessin explicite de M. Echard (cf. la première version du cadran solaire à miroir deltoïde datée de 2004).

$$x \sin t + y \cos t = \frac{1}{2} a \sin 2t \quad (8)$$

La normale (N) à la courbe (M) en $P(t)$ a pour vecteur directeur $\vec{n} = \begin{pmatrix} -\sin t \\ -\cos t \end{pmatrix}$. Une équation de la normale (N) en $P(t)$ est donc :

$$x \cos t - y \sin t = a \cos 2t \quad (9)$$

Proposons un flot de rayons lumineux parallèles issu d'un Soleil de l'après-midi (angle horaire positif) – on a représenté en figure 2 ou 3, un seul rayon lumineux pour plus de clarté. Alors, le vecteur incident a pour coordonnées $\vec{v}_i = \begin{pmatrix} -\sin H \\ -\cos H \end{pmatrix}$. Or, l'angle d'inclinaison¹¹ de la tangente (T) sur l'axe des abscisses est : $\psi = 180^\circ - t$ (propriété remarquable de la courbe astroïde). La normale (N) quand à elle fait un angle $\bar{\psi} = t$ par rapport à la direction Oy . Par conséquent, en vertu de la relation fondamentale (6), $i = H - t$, et le vecteur réfléchi, compte-tenu de la relation (1), s'écrit : $\vec{v}_r = \begin{pmatrix} -\sin(H-2t) \\ \cos(H-2t) \end{pmatrix}$. En utilisant maintenant la relation (5), et tous calculs fait, on obtient : $q = \frac{3}{4} a \sin 2t \cos(H-t)$. On en déduit ainsi aisément l'équation paramétrique¹² de la caustique au soleil du miroir astroïde (M) (placée dans cette configuration) pour un flot de rayons incidents parallèles conditionné par l'angle horaire H (cf. figures 2 & 3) :

$$\begin{cases} x(t) = a \cos^3 t - \frac{3}{4} a \sin 2t \cos(H-t) \sin(H-2t) \\ y(t) = a \sin^3 t + \frac{3}{4} a \sin 2t \cos(H-t) \cos(H-2t) \end{cases} \quad (10)$$

Cette famille de courbe n'a pas, à ma connaissance, reçu de nom particulier. Elle est dessinée en figure 1 pour $H = +60^\circ$, et en figures 2 et 3 pour $H = +15^\circ$.

3.4 Points de rebroussement : résolution numérique

La courbe caustique (C) de la courbe miroir astroïde (M) possède 6 points de rebroussement. Or, ce qui nous intéresse, ce n'est pas la famille des caustiques engendrés par l'angle horaire H (équations (10)), mais les différents points de rebroussement de cette famille de caustique. C'est en effet en ce point singulier, où l'intensité du flot de rayons parallèles réfléchi est maximal, que l'on marquera les différents angles horaires H , réalisant par conséquent un certain tracé horaire pour le cadran solaire. Il faut donc déterminer la valeur du

11 On a la relation générale $\tan \psi = \frac{y'(t)}{x'(t)}$. Appliquée ici, on obtient : $\psi = 180^\circ - t$.

12 On a utilisée les mêmes lettres tant pour désigner les coordonnées de la courbe astroïde (M) que pour désigner les coordonnées de la courbe caustique (C). Il n'y pas de raison particulière de faire de confusion dans l'affectation des différentes coordonnées aux courbes correspondantes.

paramètre t (sur l'intervalle $I=[0^\circ ; 180^\circ]$ dans notre configuration par exemple) de sorte que simultanément $\dot{x}(t)=\dot{y}(t)=0$. On ne retiendra que les points de rebroussement d'ordonnée positive.

Pour le calcul des dérivées des coordonnées de la caustique au miroir astroïde, nous avons respectivement :

$$\dot{x}(t) = -3a \sin t \cos^2 t + \frac{3}{2}a \sin 2t \cos(H-t) \cos(H-2t) - \left[\frac{3}{4}a \sin 2t \sin(H-t) + \frac{3}{2}a \cos 2t \cos(H-t) \right] \sin(H-2t) \tag{11}$$

$$\dot{y}(t) = 3a \cos t \sin^2 t + \frac{3}{2}a \sin 2t \cos(H-t) \sin(H-2t) + \left[\frac{3}{4}a \sin 2t \sin(H-t) + \frac{3}{2}a \cos 2t \cos(H-t) \right] \cos(H-2t) \tag{12}$$

L'introduction du second paramètre H complique à rendre inutiles les manipulations algébriques conduisant à une équation simple (c'est-à-dire de degré inférieur ou égal à 4) dont la résolution donnerait une expression algébrique des valeurs de t . Une telle équation n'existe que pour les valeurs $H=0^\circ$ et $H=90^\circ$. Pour toutes les autres valeurs de H , seule une résolution numérique simultanée des équations $\dot{x}(t)=0$ et $\dot{y}(t)=0$ avec toute la précision que l'on souhaite, permet d'atteindre les coordonnées des points de rebroussements qui nous intéressent. Elle est à faire après chaque changement de valeur de H .

On donne en table 1 quelques valeurs de t , $x(t)$ et $y(t)$ de la caustique pour différents angles horaires H^{13} .

Table 1 : Points de rebroussement des différentes caustiques à l'astroïde sur l'intervalle $I = [0^\circ ; 90^\circ]$

Angle horaire	Paramètre	Points de rebroussement (en unité de longueur)	
H (°)	t (°)	$x(t)$	$y(t)$
-30	16,2758	1,1320	0,1510
-15	21,1770	1,1540	0,2670
0	$\arccos(2/\sqrt{5})$	1,1450	0,4110
15	32,4060	1,0970	0,5720
30	38,6050	1,0080	0,7340
45	45,0000	0,8840	0,8840
60	51,3936	0,7340	1,0080
75	57,5931	0,5720	1,0970
90	$\arccos(1/\sqrt{5})$	0,4110	1,1450

13 Les décimales sont superflues et ne servent qu'à des fins de vérification. Une forte précision sur le paramètre t n'est pas utile. Le point de rebroussement est créé lors de l'accumulation de rayons lumineux, accumulation qui en réalité occupe une certaine plage lumineuse très intense au voisinage de ce point.

105	68,8230	0,2670	1,1540
120	73,7342	0,1510	1,1320

3.5 Le cadran solaire à miroir astroïde : aspect final

La position du miroir astroïde (M) peut-être adaptée selon le goût de l'expérimentateur cadranier – par exemple, il est tout à fait possible de n'utiliser qu'une seule branche de la courbe astroïde et de placer son axe de symétrie vers de Sud et re-dessiner l'ensemble des caustiques afin d'obtenir les lieux de rebroussement comme cela a été succinctement décrit ici. Pour la configuration proposée dans notre exemple d'application, on trouvera en figure 4 l'aspect final de ce cadran solaire catacaustique particulier. On peut regretter de ne pas proposer ici de maquette ou de prototype. J'aurai à revenir sur le sujet.

4 – Figures générales

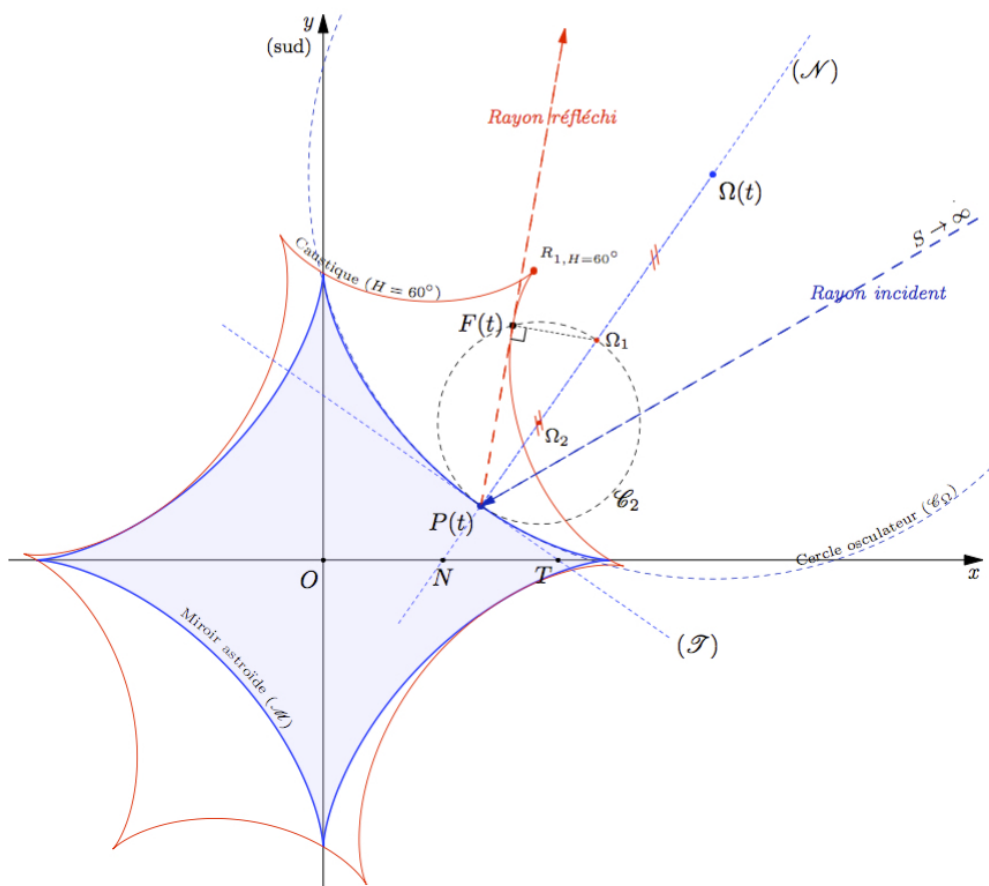


Figure 1 – Construction géométrique du point caustique F associé au point incident P du miroir courbe (M) pour un rayon lumineux issue d'une source ponctuelle supposé être à l'infini. Seules les branches contenues dans le demi-plan d'ordonnée positive servent de miroir courbe.

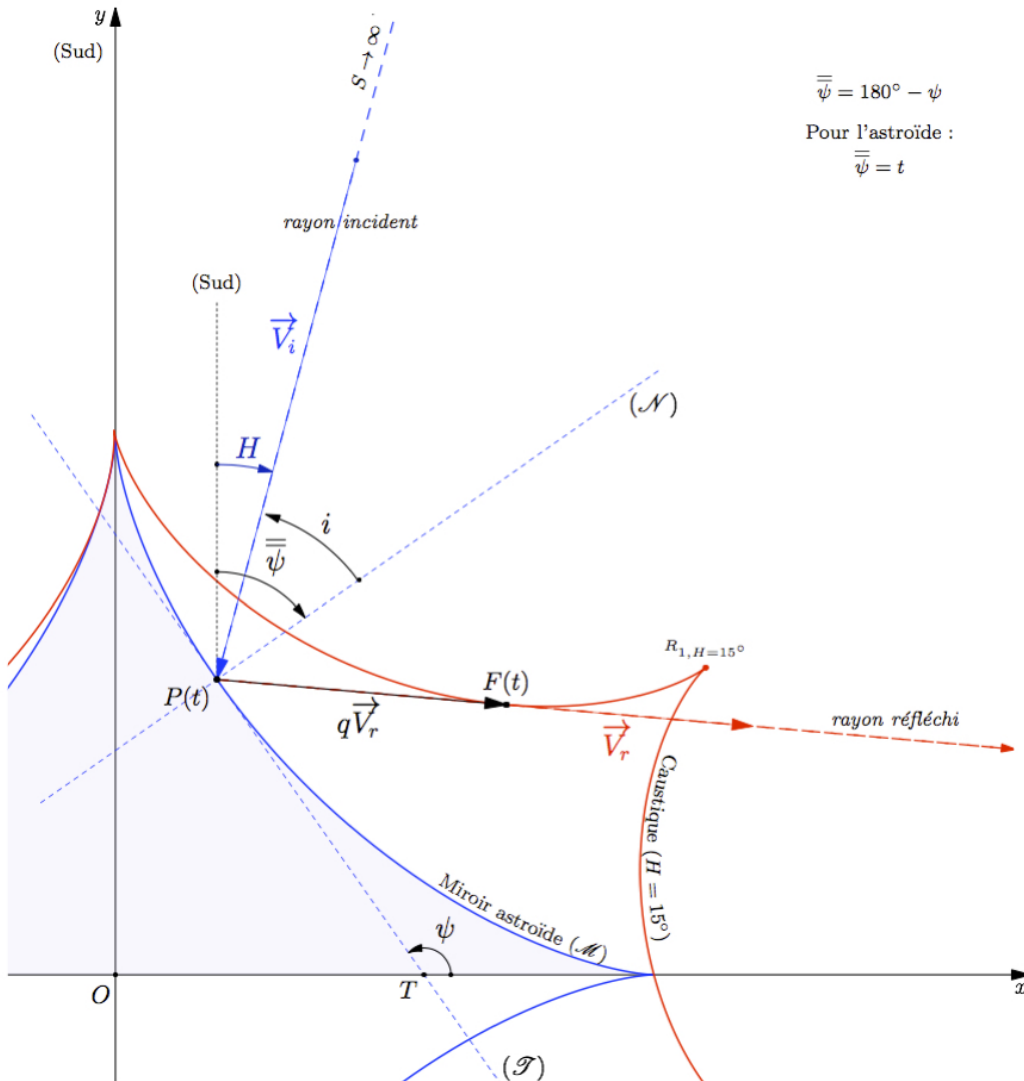


Figure 2 – Construction vectorielle du point caustique F associé au point incident P du miroir courbe (M) pour un rayon lumineux extrait d'un flot de rayons parallèles. Les rayons vecteurs incident et réfléchi sont \vec{V}_i et \vec{V}_r . La tangente et la normale à (M) au point courant P sont (T) et (N) . L'angle incident i est directement relié à l'angle horaire H via l'angle paramétrique $\psi(t)$. On a la relation angulaire fondamentale des cadrans catacaustiques : $i = H - \bar{\psi}$.

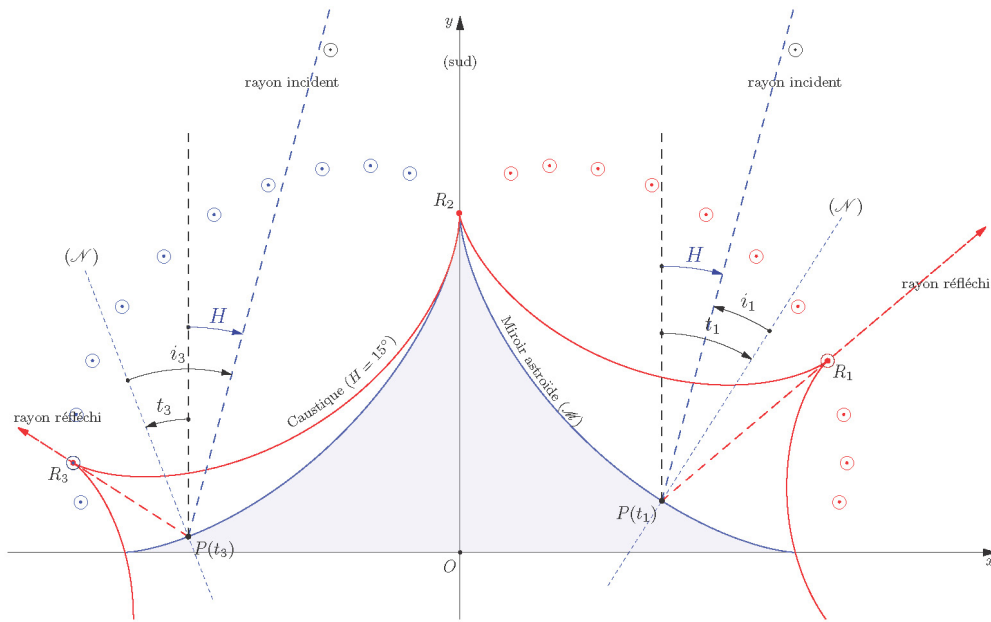


Figure 3 – Principe de fonctionnement du cadran à miroir astroïde. Dans cet exemple, les points de rebroussement R_1 et R_3 servent d'indicateur horaire pour l'angle horaire de 15° . Ils permettent de ce fait une auto-orientation de l'axe de symétrie (Oy) du couple de miroirs formé par les branches de l'astroïde (auto-orientation possible pour des heures voisines du midi seulement).

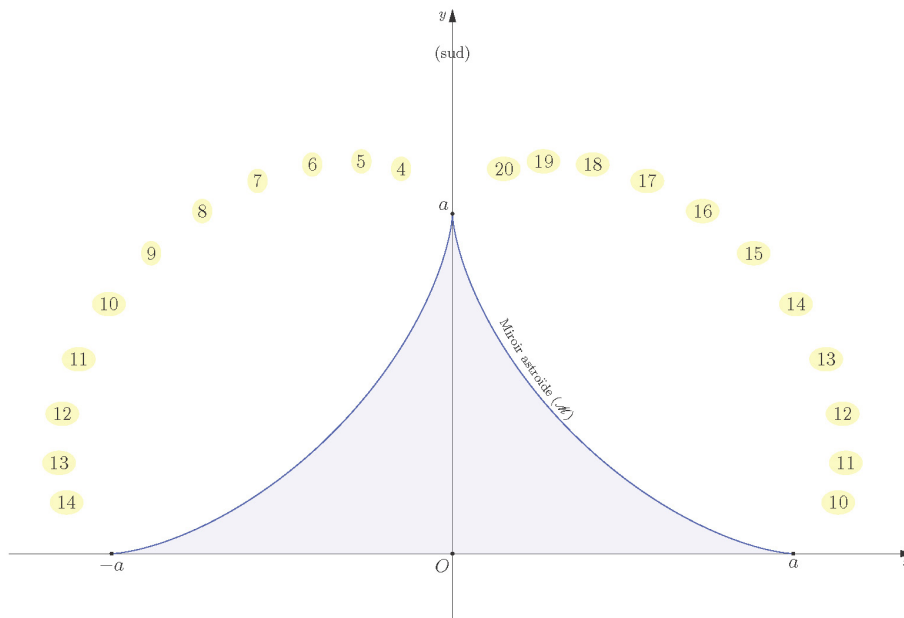


Figure 4 – Aspect final du cadran solaire catacaustique dont la courbe miroir est une astroïde. Chaque pastille horaire de temps vrai correspond à la position du point de rebroussement de la caustique par réflexion sur le miroir. Dispositif idéal, qui, s'il est conçu de petite taille, pourrait être placé dans la catégorie des cadrans solaires portatifs universel.

5 Conclusion

Après l'étude minutieuse de M. Echard sur le cadran à réflexion utilisant un miroir deltoïde, nous avons tenté de généraliser l'étude des cadrans catacaustiques à tout type de courbe plane. En guise d'exemple d'application, on a résolu le cas du miroir en forme de courbe astroïde, cas en continuité évidente du miroir deltoïde.

Les recherches bibliographiques sur les caustiques montrent que la littérature mathématique est extrêmement abondante sur le sujet, mais également la physique et la technologie où des travaux récents traitent toujours le cas des caustiques par réflexion ou par réfraction de sources ponctuelles à distance finie pour des systèmes catadioptriques en environnement 3D¹⁴. Le sujet est si vaste et embrasse tous les domaines qu'il est loin d'être clos.

La méthode géométrique introduite par Siohoï Leng & Ryad Benosman permet de résoudre le problème des caustiques de toute courbe plane, qu'elle soit définie par une équation ou par un nuage de points. Méthode que nous avons employé dans le cas de la courbe astroïde et pour laquelle les calculs algébriques pouvaient encore être menés. Les conditions de réalisation du dispositif catacaustique en cadran solaire équatorial s'y prêtaient également, ce qui est de très loin le cas de toute courbe miroir... Le lecteur pourra ainsi suivre les mêmes étapes pour construire « à sa guise » son cadran solaire catacaustique si les conditions s'y prêtent. Il devra cependant s'attendre à employer le calcul numérique.

Le cadran catacaustique est complexe tant dans la réalisation pratique que dans la recherche des conditions initiales à respecter pour qu'il réalise sa mission : indiquer *clairement* l'heure solaire. Le critère des conditions initiales passé avec succès, la limitation est encore double : (1) technologique, la capacité à réaliser un miroir lisse qui suive proprement la courbe choisie, et (2) mathématique, les calculs dans lesquels les expressions littérales peuvent ne jamais aboutir si la courbe lisse du miroir a une forme complexe. On est condamné à faire du calcul numérique, ce qui est un exercice dont il faut être formé pour parvenir à ses fins. Ici donc, un cadran solaire équatorial universel pas du tout ordinaire, mais extraordinaire.

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

Pour une meilleure lisibilité des dessins, les fichiers :

Fig 1 Collin caustique_geometrie ; Fig 2 Collin caustique_vectoriel ; Fig 3 Collin point_rebroussement_caustique ; Fig 4 Collin cadran_miroir_astroide en pdf.



14 La méthode géométrique développée par les auteurs cités est relativement simple et très naturelle, mais très vite un obstacle inextricable en calcul littéral. Elle a cependant l'avantage de s'appliquer à tous les cas envisageables. On a simplement tenté de l'appliquer à la gnomonique en examinant ce nouveau type de cadran solaire appelé *catacaustique*. Des travaux mathématiques sont encore en cours pour ce qui est de la détermination du degré des courbes et surfaces caustiques, mais ces préoccupations fondamentales en topologie et en géométrie algébrique ne font pas partie de la gnomonique.



Maquette de cadran sidéral

Christian Druon

Réalisation d'une maquette pour un projet de cadran solaire de temps sidéral destiné à l'observatoire de Lille.

Pourquoi un cadran donnant les heures sidérales ?

Ce pourrait être un objet de curiosité car il existe des horloges et des logiciels. Mais le temps sidéral est le temps des astronomes. De plus le tracé est particulièrement instructif et intéressant :

- les lignes horaires sont des droites,
- elles sont tangentes aux arcs des solstices,
- elles coupent les lignes horaires classiques et les arcs diurnes à des points communs.

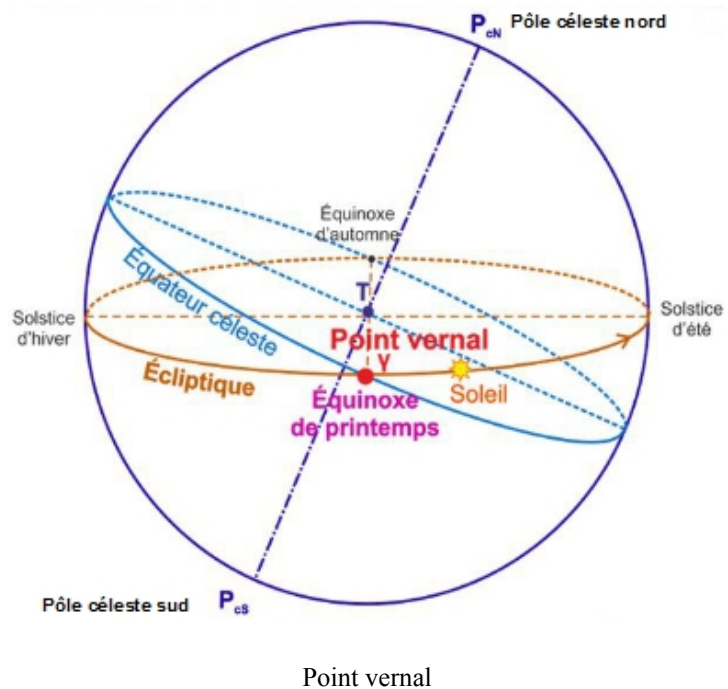
Définition du jour sidéral :

« On appelle jour sidéral l'intervalle de temps entre deux passages supérieurs consécutifs du point vernal au même méridien géographique ».

Durée du jour sidéral :
23h 56min 04s

Durée de l'année tropique :
(On appelle année tropique l'intervalle de temps entre deux passages consécutifs du centre du Soleil par le point vernal)

365,2422 jours solaires
366,2422 jours sidéraux



Rapport entre la seconde TU et la seconde TS :

$$1s \text{ TU} = 366,2422 / 365,2422 = 1,002\,737\,909 \text{ s TS}$$

Il existe peu de cadrans donnant les heures sidérales, par exemple :

Lycée Louis Le Grand à Paris (Photo 1).

Deutches Museum à Munich (Photo 2).

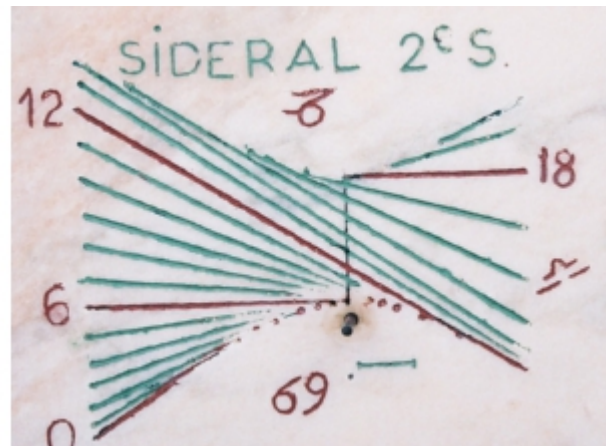
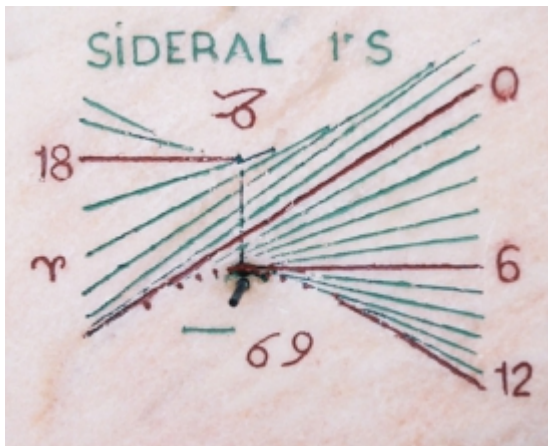
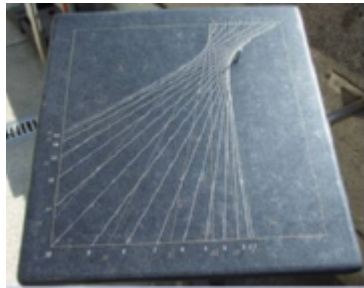
Certains cadrans réalisés localement (Photo 3).



Cadran du Lycée LOUIS LE GRAND
PARIS 5 (2010)



◀ ▲ Cadran n° 8 du Deuches Museum
à Munich



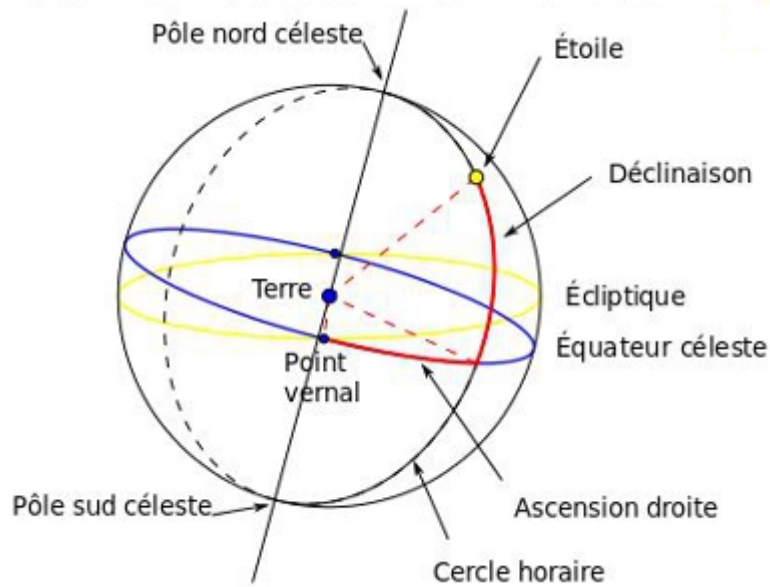
Cadran sidéral de Pierre Joseph Dallet

Cahier des charges :

- double tracé : heures solaires et heures sidérales ;
- style polaire ;
- cadran vertical méridional : utilisable matin et après-midi ;
- intéressant car symétrie du tracé ;
- les 2 familles de droites pour les 1er et 2ème semestres tracées sur la table : distinction par la couleur (rouge et bleu).

Quelques propriétés relatives au Temps Sidéral (TS)

Présentation générale :

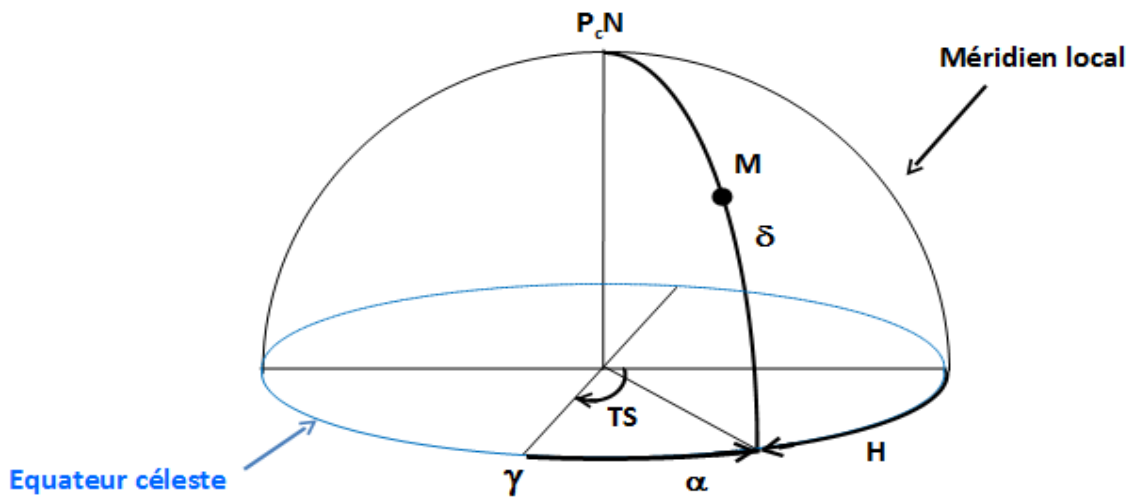


Relation entre TS, α et H

- TS : heure du temps sidéral
- H : angle horaire d'un astre
- α : son ascension droite
- δ : sa déclinaison

Relation fondamentale : $TS = H + \alpha$.
Si $H=0$ alors $TS = \alpha$

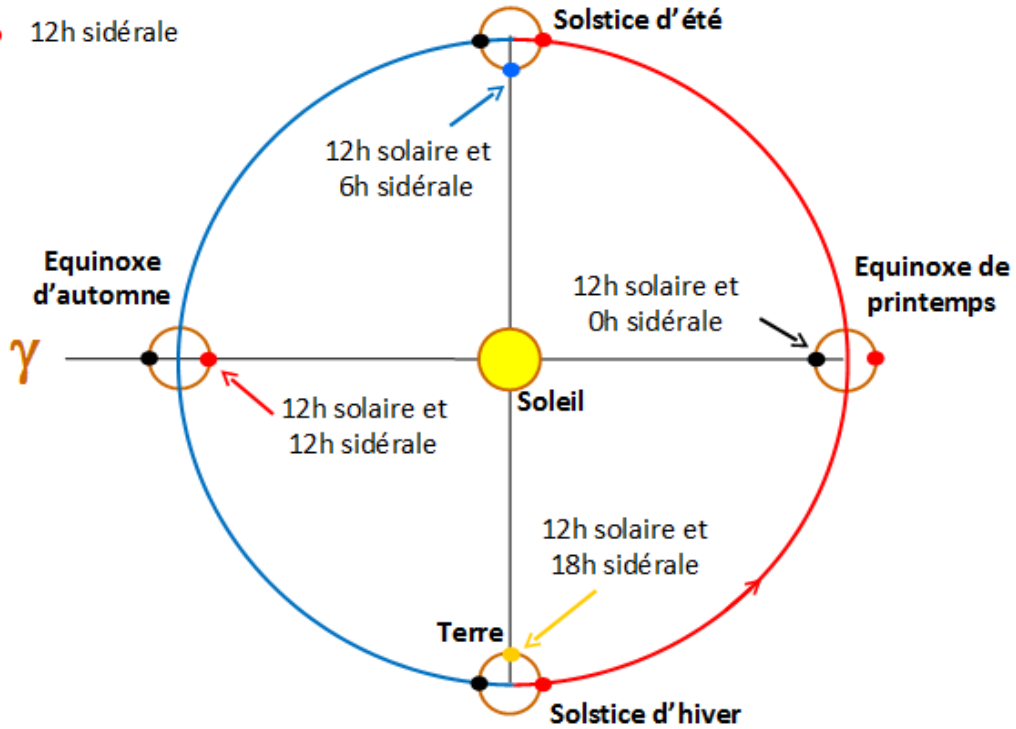
► Le temps sidéral est un angle, compris entre 0° et 360° , mais compté entre 0 et 24 heures par les astronomes



Situations particulières

Les solstices et les équinoxes.

- 0h sidérale
- 12h sidérale

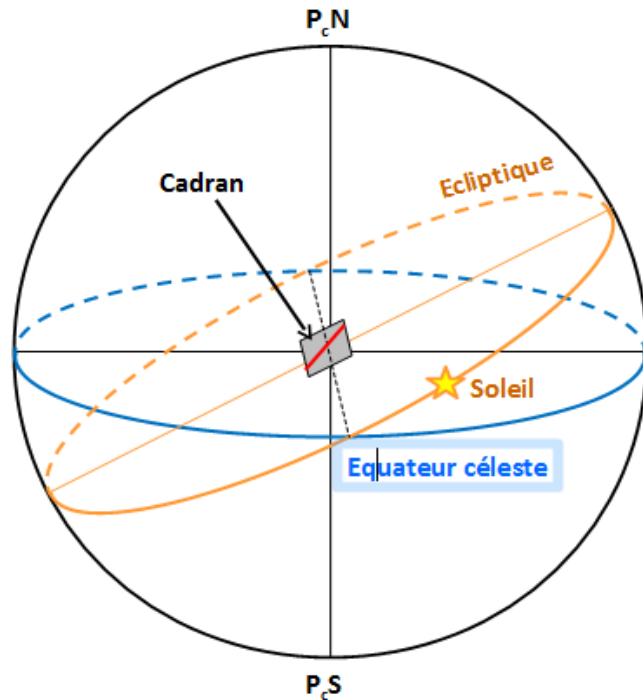


Les lignes horaires sidérales sur le cadran sont des droites

Pour une heure sidérale donnée, quelle que soit la saison, le plan du cadran solaire est identique.

Le Soleil se déplace sur l'écliptique portée par un plan qui coupe le plan du cadran suivant une droite.

Le rayon du Soleil passant par la pointe du style tombe sur cette droite. Cette droite est la ligne horaire de l'heure sidérale considérée.



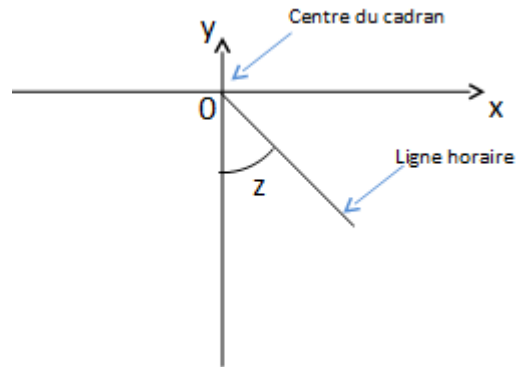
Relations utilisées pour le tracé

Pour les lignes horaires : $Tg Z = \text{Cos } \Phi \cdot Tg H$

Pour les arcs diurnes :

$$y = -\frac{U \cdot \sin \Phi \cdot \cos^2 \delta + \sin \delta \cdot \sqrt{x^2 \cdot [\cos^2 \delta - \cos^2 \Phi] + U^2 \cdot \cos^2 \delta \cdot \cos^2 \Phi}}{\cos^2 \delta - \cos^2 \Phi}$$

Φ : latitude
 δ : déclinaison du Soleil
 U : longueur du style polaire
 H : angle horaire



Tracé des lignes horaires sidérales

Tableau 1

ℓ (°)	δ (°)	Nom	α (°)
270	-23,44	Capricorne	270
300	-20,14	Verseau	302,18
330	-11,47	Poissons	332,09
360/0	0	Bélier	360/0
30	11,47	Taureau	27,91
60	20,14	Gémeaux	57,82
90	23,44	Cancer	90
120	20,14	Lion	122,18
150	11,47	Vierge	152,09
180	0	Balance	180
210	-11,47	Scorpion	207,91
240	-20,14	Sagittaire	237,82
270	-23,44	Capricorne	270

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \cdot \sin l$$

$$\cos \alpha = \cos l / \cos \delta$$

$$Tg \delta = Tg \varepsilon \cdot \sin \alpha$$

l : longitude de la constellation

ε : obliquité de l'écliptique (23,44°)

Tableau 2

$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$
270	270	-23,44
285	255	-22,724
300	240	-20,58
315	225	-17,044
330	210	-12,232
345	195	-6,403
360/0	180	0
15	165	6,403
30	150	12,232
45	135	17,044
60	120	20,58
75	105	22,724
90	90	23,44

► Plutôt que d'utiliser les valeurs classiques données dans le tableau 1, il est préférable de prendre les valeurs du tableau 2 :

- α est multiple de 15° donc de 1h,
- certaines valeurs de δ sont proches des valeurs classiques.

$$H = TS - \alpha$$

Lignes horaires sidérales :

Choix des arcs diurnes :

$$\delta = ? 23,44^{\circ} ; ? 22,724^{\circ} ; ? 20,58^{\circ} ; ? 17,044 ; ? 12,232^{\circ} ; ? 6,403^{\circ} ; 0$$

Pour chaque valeur de δ : 2 valeurs de α

D'où 2 familles de lignes horaires :

- l'une pour le premier semestre,
- l'autre pour le second semestre.

On utilise les relations : $H = TS - \alpha$ $h_{\text{sol}} = H + 12\text{h}$

Exemple 1 : tracé de la ligne horaire sidérale **TS = 11h**

a) Recherche d'un point A sur l'arc $\delta = 0$ ($\alpha = 0$ ou $\alpha = 180^{\circ}$)

* $\alpha = 0$

$$H = 11 - 0 = 11h \text{ donc } h_{\text{sol}} = 23h \text{ qui n'est pas solution}$$

* $\alpha = 180^\circ$ ou 12h

$$H = 11 - 12 = -1h \text{ donc } h_{\text{sol}} = 11h \text{ d'où le point A}$$

b) Recherche d'un point B sur l'arc $\delta = -20,580^\circ$ ($\alpha = 300^\circ$ ou $\alpha = 240^\circ$)

* $\alpha = 300^\circ$ ou 20h

$$H = 11 - 20 = -9h \text{ donc } h_{\text{sol}} = 3h \text{ qui n'est pas solution}$$

* $\alpha = 240^\circ$ ou 16h

$$H = 11 - 16 = -5h \text{ donc } h_{\text{sol}} = 7h \text{ d'où le point B}$$

c) Recherche d'un point C sur l'arc $\delta = +17,044^\circ$ ($\alpha = 45^\circ$ ou $\alpha = 135^\circ$)

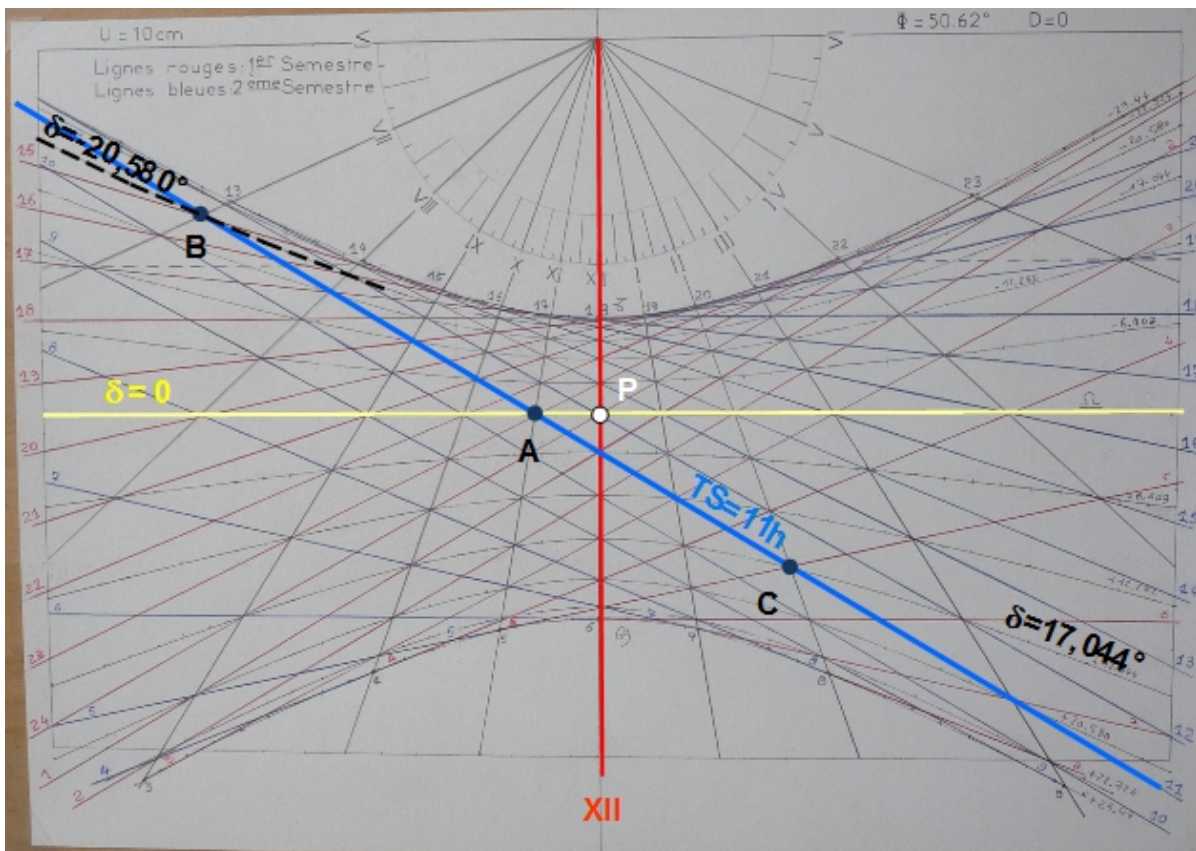
* $\alpha = 45^\circ$ ou 3h

$$H = 11 - 3 = 8h \text{ donc } h_{\text{sol}} = 20h \text{ qui n'est pas solution}$$

* $\alpha = 135^\circ$ ou 9h

$$H = 11 - 9 = 2h \text{ donc } h_{\text{sol}} = 2h \text{ d'où le point C}$$

On remarque que ces 3 points sont bien alignés



Exemple 2 : détermination de TS en un point

Reprenons les points A, B et C précédents et calculons le TS associé à l'autre valeur de α .

* Point A

$$h_{\text{sol}} = 11\text{h} \text{ donc } H = -1\text{h}$$

$$\delta = 0 \text{ avec } \alpha = 0$$

$$TS = H + \alpha \text{ donc } TS = -1\text{h} \text{ soit } 23\text{h} : \text{ la ligne TS} = 23\text{h} \text{ passe par A}$$

* Point B

$$h_{\text{sol}} = 7\text{h} \text{ donc } H = -5\text{h}$$

$$\delta = -20,58^\circ \text{ avec } \alpha = 300^\circ \text{ soit } 20\text{h}$$

$$TS = -5 + 20 = 15\text{h} : \text{ la ligne TS} = 15\text{h} \text{ passe par B}$$

* Point C

$$h_{\text{sol}} = 14\text{h} \text{ donc } H = +2\text{h}$$

$$\delta = +17,044^\circ \text{ avec } \alpha = 45^\circ \text{ soit } 3\text{h}$$

$$TS = 2 + 3 = 5\text{h} : \text{ la ligne TS} = 5\text{h} \text{ passe par C}$$

Points remarquables

Point P :

$$H = 0 ; \delta = 0 \text{ avec } ? = 0 \text{ ou } ? = 180^\circ \text{ soit } 12\text{h}$$

$$\text{avec } \alpha = 0 \text{ on a : } TS = 0 + 0 = 0 : \text{ la ligne TS} = 0\text{h} \text{ (ou } 24\text{h) passe par ce point,}$$

$$\text{avec } \alpha = 180^\circ \text{ on a : } TS = 0 + 12 = 12\text{h} : \text{ la ligne TS} = 12\text{h} \text{ passe par ce point.}$$

Points sur la ligne méridienne $12h_{\text{sol}}$:

$$TS = H + \alpha = \alpha$$

$$\text{pour un } \delta \text{ donné : } \alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ \text{ ou } 540^\circ$$

$$\text{donc : } TS_1 + TS_2 = 12\text{h ou } 36\text{h}$$

Points sur l'arc du solstice d'hiver:

$$\delta = -23,44^\circ \text{ avec } \alpha = 270^\circ \text{ soit } 18\text{h}$$

$$TS = H + 18 = h_{\text{sol}} - 12 + 18 = h_{\text{sol}} + 6\text{h} \text{ donc : } TS = h_{\text{sol}} + 6\text{h}$$

Points sur l'arc du solstice d'été :

$$\delta = +23,44^\circ \text{ avec } \alpha = 90^\circ \text{ soit } 6\text{h}$$

$$TS = H + 6 = h_{\text{sol}} - 12 + 6 = h_{\text{sol}} - 6\text{h} \text{ donc : } TS = h_{\text{sol}} - 6\text{h}$$

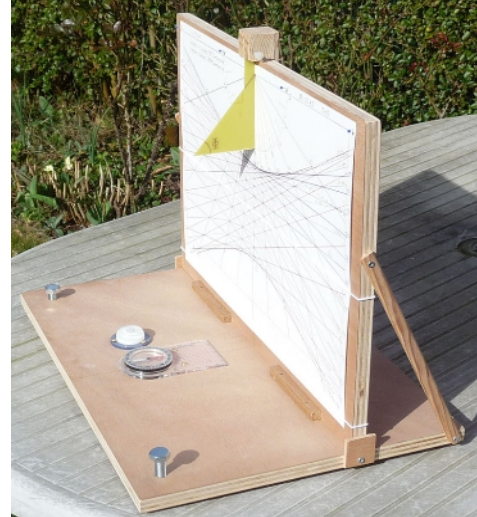
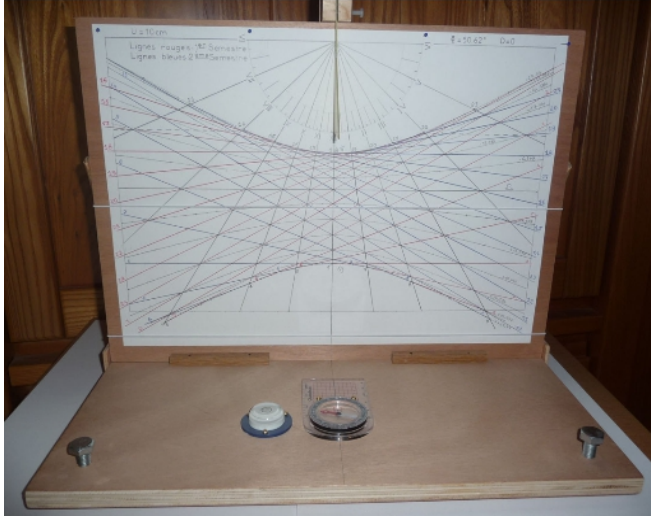
Dessin des lignes :

Pour faciliter la lecture on utilise 2 couleurs pour le tracé de ces familles de droites :

- lignes rouges pour le 1^{er} semestre
- lignes bleues pour le 2^e semestre

Autre particularité : les lignes horaires sidérales (droites) sont tangentes aux arcs des solstices.

On obtient finalement un tracé comportant deux familles de droites présentant une symétrie qui donne une certaine harmonie à la table du cadran solaire.



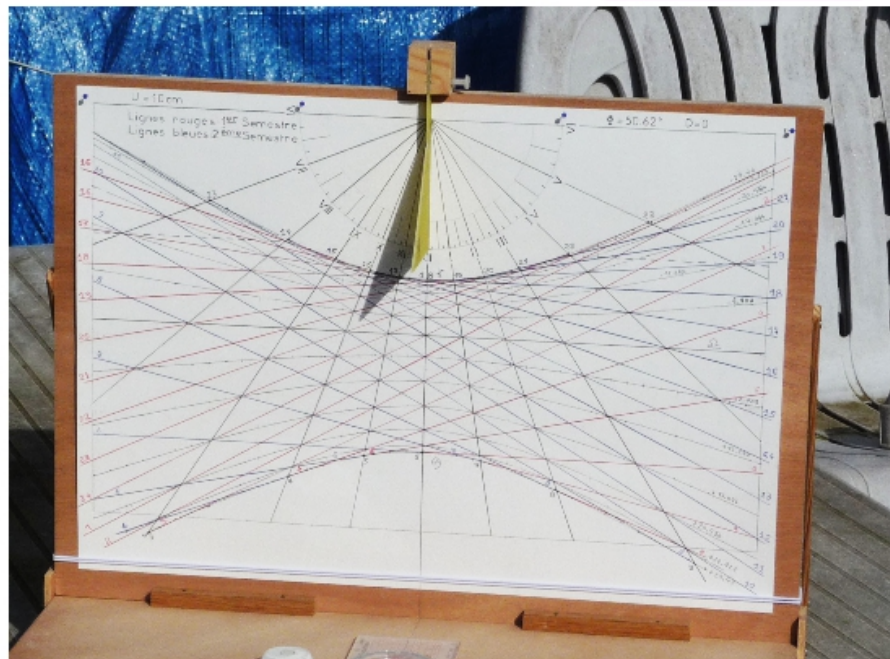
Lecture des heures sidérales

- Principe de lecture :
- ° L'ombre de l'extrémité du style donne l'heure sidérale.
 - ° La lecture de l'heure sidérale n'est immédiate et valable que si l'extrémité de l'ombre tombe sur une ligne.
 - ° A l'intérieur d'un losange ou d'un triangle, il faut procéder à une interpolation.
 - ° La précision est nettement moins bonne dans les zones des solstices car il y a un tassement des lignes.
 - ° Mais la lecture est commode sur les arcs

Exemple de lecture 1 : le 11 mars 2015 à 11h09

Lecture heure solaire : 10h10
 $10h10 + 1h - 12min (long.) + 10min (Equ.) = 11h09$

Lecture TS : 21h40
 Logiciel : 21h38

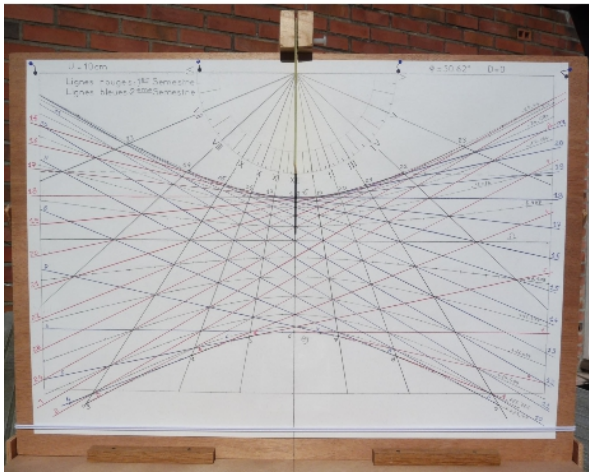


des solstices, car elle diffère de 6h par rapport à l'heure solaire.

Exemple de lecture 2 : le 12 mars 2015 à 12h58 ($\delta = -3^{\circ}14'$)

Lecture heure solaire : 12h00
 $12h+1h-12min (long.)+10min(Equ.) = 12h58$

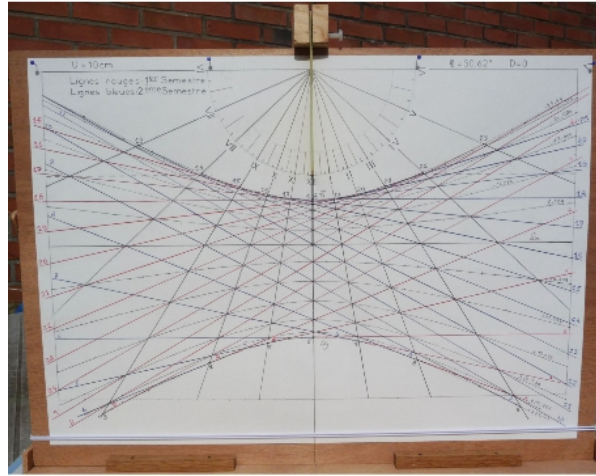
Lecture TS : 23h30
 Logiciel : 23h29



Exemple de lecture 3 : le 21 mars 2015 à 12h55 ($\delta = 0^{\circ}19'$)

Lecture heure solaire : 11h58
 $11h58+1h-12min (long.)+7min(Equ.) = 12h53$

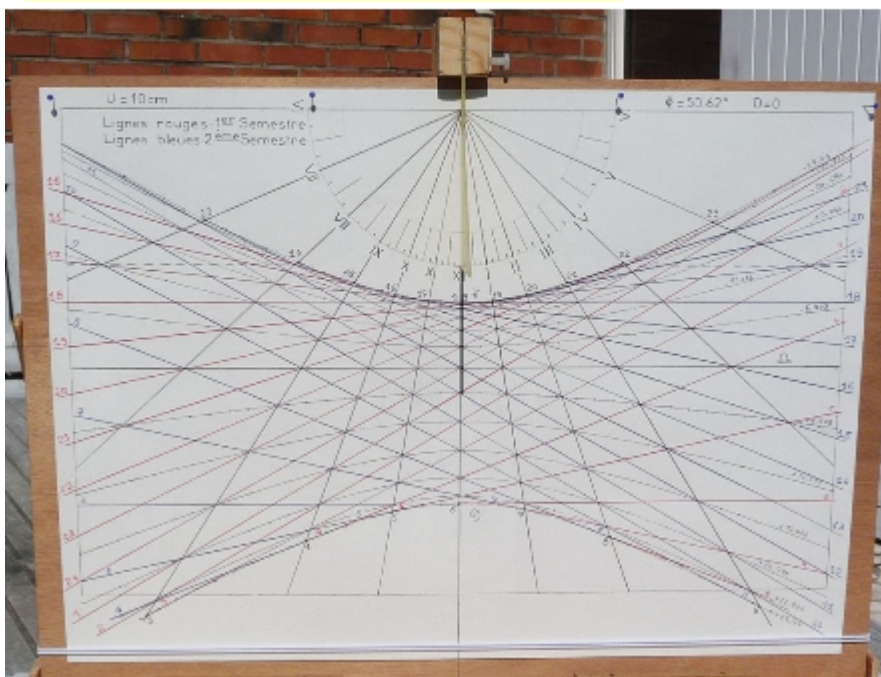
Lecture TS : 24h
 Logiciel : 0h02min



Exemple de lecture 4 : le 05 avril 2015 à 13h51 ($\delta = 6^{\circ}09'$)

Lecture heure solaire : 12h02
 $12h02+2h-12min (long.)+3min(Equ.) = 13h53$

Lecture TS : 1h
 Logiciel : 0h58min



Références :

-Denis Savoie
La Gnomonique,
 Les Belles Lettres,
 2007

-Robert Sagot et
 Denis Savoie
 Cadran de temps
 sidéral,
*Observations et
 Travaux*, n°24 (IV,
 1990)

-Jean Pakhomoff
 Considérations sur
 le tracé et la lecture
 d'un cadran à heures
 sidérales,
[www.pakhomoff.net
 /theorid.html](http://www.pakhomoff.net/theorid.html)





La colonne d'Uranie

Paul Gagnaire

Dans le numéro 11 de Cadran Info et dans le chapitre ITER_08_10 du DVD de ses œuvres, Paul Gagnaire a décrit et conté l'histoire de la fameuse colonne d'Uranie de Lyon¹. Il a eut l'idée de reprendre cette « bonne vieille Colonne » et de faire une lecture annotée des deux textes polémiques de 1770.

Avant de lire les deux documents en annexe de la version numérique du présent Cadran Info :

- Notons qu'il manque le premier texte, *le Mémoire lu à l'Académie de Lyon²*, et par ce fait, il faut lire d'abord la "*Réponse du sieur Terrier*" puis la "*Réfutation ...*". Les remarques de P. Gagnaire sont dans les phylactères. Il suffit de cliquer dessus pour les lire.

- Voici une sorte d'introduction à la lecture des documents relatifs à notre Uranie.

Les confidences de Jean-Baptiste Terrier

Daignez, Mesdames, agréer mes respectueux hommages et, vous, Messieurs croyez-moi votre humble serviteur. Que Dieu vous tienne en sa bonne et sainte garde.

Je me nomme Jean-Baptiste, François Terrier. J'étais architecte, gnomoniste et professeur d'architecture militaire et civile, de 1754 à 1775, à Lyon. J'ai dessein de vous conter cette singulière aventure qui marqua ma carrière d'architecte et fit de moi, pour un temps, le personnage le plus célèbre de Lyon. Pour tout dire en trois mots, je fus le gnomoniste de la méridienne tracée sur la Colonne d'Uranie, en 1768 et qui devait y perdurer jusqu'en 1858. L'histoire de cette Colonne et de sa méridienne a été plusieurs fois racontée, généralement d'une façon peu satisfaisante et ce n'est qu'en ces dernières années de votre XXe siècle que mon



lointain collègue, P. Gagnaire, la put exposer aux membres éminents de la Commission des cadrans solaires de la SAF, puis aux simples amateurs, dans son opus magnum « *Iter ad splendorem mundi gnomonica* ». Je vous en résume les grandes dates :

- 1 On peut également consulter le site de notre collègue Michel lalos : http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/autres_depts/rhone/uranie/cs_69_lyon_uranie_pg.html
- 2 J'essaie de trouver ce Mémoire, lu à l'Académie, mais je crois qu'il est perdu.

1°) 30 décembre 1764 : l'architecte Pierre-Gabriel Bugnet est chargé de la composition des plans de la Colonne et d'assurer l'exécution du monument, sous la direction de Bertaud.

2°) de mai 1765 à avril 1770 : travaux de la Colonne et sculpture d'Uranie par Clément Jayet.

3°) 18 novembre 1768 : pose de la statue d'Uranie. Début des travaux de la méridienne, qui dureront jusqu'en août 1769.

4°) 4 décembre 1770 : lecture du Mémoire de mon contradicteur à l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de la Ville de Lyon (ne semble pas avoir été imprimé)³.

5°) Je publie ma Réponse ..., le 22 janvier 1771 (imprimée le 8 février 1771).

6°) 13 mars 1771 : publication de la Réfutation ...

7°) 9 avril 1849 : commémoration de la Révolution de 1848 et de la Révolte des canuts de 1834. On attache un drapeau rouge à la tête d'Uranie qui se détache et se brise au sol.

8°) en 1858 destruction de la Colonne et de la statue d'Uranie.

Lorsque, dans l'hiver 1768, je pris conscience, peu à peu, des difficultés qui m'attendaient, je me pris à regretter amèrement l'accord que j'avais donné à Bugnet pour tracer, sur le fût de la Colonne, une méridienne de temps moyen. Certes, il ne s'agissait que d'une courbe en huit comme l'avait inventée ou, du moins, popularisée, l'excellent Jean-Paul Grandjean de Fouchy dans les années 1730, mais, pour celle qui m'incombait, tout se révélait hors normes et, comme écrira votre collègue, je me suis « *attaqué à un travail proprement infaisable avec rigueur et exactitude, même à partir de calculs irréprochables* ». Voici, en résumé, la liste des problèmes rencontrés :

1°) la Colonne d'Uranie était d'ordre ionique, c'est-à-dire un quasi-cylindre cannelé. Les cannelures sont, traditionnellement, au nombre de 24, séparées par un listel plat. La largeur des cannelures est de 2 et celle des listels est de 1. La circonférence totale se divise donc en alternances de $(24 \times 2) + 24 = 72$; donc l'angle au centre, d'une cannelure mesure 10° ; celui d'un listel 5° . La cavité des cannelures, si elle est bien réussie, vaut un demi-cercle. Et ce n'est pas tout, car le diamètre de la colonne n'est pas constant ; le fût ne serait donc pas contenu dans un cylindre vertical, mais dans un cylindre légèrement conique, plus gros à sa base qu'en son sommet. Sur les photographies de Froissard rassemblées dans « *Iter ...* », on peut estimer le rapport du diamètre à la base, au diamètre au sommet, compris entre 1,15 et 1,165. Si l'on préfère inverser le rapport, on se trouve entre 0,86 et 0,87. Cela veut dire que presque chaque point significatif de la courbe en huit, aura une distance au centre, qui lui sera propre ; c'est donc une variable qui prendra 365 valeurs, autant que de points à calculer. Elle aura pour limites : à la base, 90 cm et au sommet, 78 cm.

2°) le choix du système stylaire avait ses limites entre deux contraintes, profiter au maximum de la surface de la Colonne et conserver au style des dimensions raisonnables, car augmenter exagérément la longueur du style ne pouvait que l'exposer à toutes sortes de malencontreuses liées au vent, au poids du disque à œillette, à la malveillance. On convint de

³ On peut conjecturer que l'auteur de ce Mémoire fut Guillaume Crozet (1724-1775) astronome et gnomoniste de valeur qui s'était choisi pour devise : « En Physique et en Astronomie, il ne faut avoir que la foi des yeux et non les yeux de la foi ». Voir :

1°) Histoire de l'Académie royale de Lyon ... par Jean-Baptiste Dumas 1839, Volume 1, page 312 §1768 et surtout la page 81 dont nous donnons une capture d'écran. "C'est lui qui, pendant plus de vingt ans, rédigea les pages astronomiques de l'Almanach de la Ville de Lyon".

2°) Manuscrits de la Bibliothèque de Lyon ou Notices sur leur ancienneté, leurs auteurs ... par Antoine-François Delandine, Paris/Lyon 1812, Volume 3, page 320 § 24 « Eloge historique de Monsieur Crozet par Monsieur de La Tourette, 1776 ».

construire un style polaire, suffisamment bien soutenu par des « ferrailles », dont l'extrémité porterait un disque à œilleton de 18 pouces de diamètre (45,72 cm). Malgré mes avis, on le fit naître, poésie simplette, des mains d'Uranie, ce qui exigea des volutes et des jambes d'appui supplémentaires, pour une utilité parfaitement nulle. Le problème ardu était de placer le centre de l'œilleton, le plus exactement possible, dans le méridien. La tache de lumière produite aurait une forme elliptique, plus ou moins allongée et, hélas, parfois brisée sur l'arête des cannelures, mais du point central de lumière, projeté sur le point horaire gravé, on attendait la meilleure précision possible. Finalement, le centre percé du disque s'écartait de la Colonne de 3,175 mètres, ce qui faisait descendre le point du solstice d'été 7,45 mètres plus bas, soit environ à 5 mètres au-dessus des spectateurs. Si l'on m'eût écouté et renoncé à faire tenir ce style par Uranie, on aurait pu le faire naître plus bas et ainsi rapprocher l'Ecrevisse (votre Cancer) de la tête des spectateurs. On aurait pu aussi discuter des avantages et des inconvénients engendrés par les deux positions possibles du disque à œilleton : soit vertical et perpendiculaire au plan méridien soit incliné de 44° (colatitude) donc perpendiculaire aux rayons du Soleil méridien d'équinoxes. C'est ce qui fut fait. Là aussi, j'aurais dû me rebiffer.

3°) établir le méridien de la Colonne s'est révélé très malcommode. Il était impossible d'opérer sur le sol, par la méthode des cercles hindous, car les alentours de la Colonne servaient de parking à de nombreuses charrettes ; le sol n'était pas bien horizontal et le fût de la Colonne n'y pénétrait pas, car il reposait sur un socle où se logeait la machinerie des fontaines ; enfin, les vasques de celles-ci entouraient l'ensemble. Je dus donc grimper maintes fois, de jour et de nuit, sur le plateau où était implanté le socle cylindrique d'Uranie, ce qui me mettait 16 mètres au-dessus du sol et ce plateau ne mesurait pas 10 mètres carrés. Le gnomoniste acrobate, drôle d'image ! Là, tenant Uranie à bras le corps et manœuvrant, comme je pouvais, mon quart de cercle portatif, je guettais les passages du Soleil et des étoiles dans le plan méridien et matérialisais sa trace sur le plateau. Encore une fois, la sagesse eut été de renoncer, mais quand on est pauvre, il faut être fier.

4°) dans ces conditions, comment savoir quand un astre transite par le méridien local, autrement qu'en chronométrant son parcours. Il fallait donc utiliser des montres irréprochables, procurant la seconde de temps. Ici, j'avoue avoir parfois été trompé par mes instruments et mon contradicteur à l'Académie ne se fera pas faute de le relever. Pour ma décharge, si j'en avais besoin, il ajoute candidement que lui aussi, a eu parfois affaire à des montres dont les cadrans, mal gradués, faisaient tenir une minute en 59 ou 58 ou 57 secondes, à moins que ce ne fut en 61 ou 62. Il eut fallu disposer de pendules d'observatoire ou même de bons engins tels que ceux que Harrison fabriquait en Angleterre. J'aurais dû exiger, menacer de me retirer et, peut-être, le faire vraiment. Je ne suis pas sûr que mes commanditaires aient bien compris que la méridienne de la Colonne, en raison de ses dimensions exceptionnelles, ne fournirait des informations précises que si on la construisait, auparavant, avec une précision exceptionnelle.

5°) une telle précision affectait aussi bien les calculs que le travail manuel à effectuer sur la Colonne pour y inscrire les points calculés. Dans ma « Réponse ... » je précise que j'ai effectué les calculs astronomiques et trigonométriques avec les exigences suivantes : *les angles jusqu'aux secondes d'arc ; les distances jusqu'aux fractions décimales de ligne*, (soit 0,2 de vos millimètres). Tout cela a été contrôlé par des amis sûrs et compétents, car toute œuvre humaine est imparfaite et l'humilité reste la marque de la sagesse et de la prudence. Nous avons donc déterminé, pour chaque point journalier de la courbe en huit, la hauteur et l'azimut du Soleil, grâce aux formules des auteurs cités, notamment Monsieur Deparcieux, en sa Gnomonique, puis nous les avons transformés en distances sur la Colonne. Ici, les

difficultés furent terribles car les points se plaçaient aussi bien sur les listels que dans les cannelures, en leurs fonds ou sur leurs bords, voire à cheval sur l'arête entre listels et cannelures. Il ne pouvait qu'en résulter de pénibles imprécisions dans la future lecture des points de lumière, car l'œil du disque projetait, selon les dates et les reliefs de la Colonne, une ellipse de lumière variable et déformée. Il est maintenant évident que tracer une courbe en huit à travers les cannelures d'une colonne, est une mauvaise idée ; peut-être, une colonne dorique, à peine creusée, serait-elle plus accueillante. Néanmoins les points de la courbe en huit furent inscrits sur la Colonne et cela nous tint occupés jusqu'en août 1769.

Alors, les Lyonnais, de passage place des Cordeliers, purent régler leurs montres de gousset sur le midi moyen d'Uranie. Alors, des contradicteurs relevèrent des erreurs, mais souvent avec des montres qui ne valaient pas mieux que celles que j'avais utilisées ; l'un d'eux, le 4 décembre 1770, lut en séance publique à l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de la Ville de Lyon, un mémoire où il exposait que :



1°) les frontières entre les signes du zodiaque, ou du moins, certaines d'entre elles, étaient mal placées.

2°) que la méridienne retardait de 1 minute et 20 secondes, au solstice d'été et de 2 minutes et 20 secondes aux équinoxes ; que par conséquent, elle devrait retarder de 3 minutes au solstice d'hiver. Ce dernier point relevait d'extrapolation ; les autres, d'observations, plus ou moins bien conduites.

Je fus atterré. Ainsi j'avais mis neuf mois pour accoucher d'un instrument mauvais. Je repris les choses calmement et je publiais, le 22 janvier (imprimé le 8 février 1771), un petit imprimé, intitulé « Réponse du Sieur Terrier ... ». Je vous en résume les conclusions :

1°) sur le retard de la méridienne, je ne pouvais que déplorer que les vérifications eussent été conduites dans mon dos et présentées à l'Académie sans que j'en eusse eu connaissance, au préalable, par simple courtoisie. Pratiquées d'une façon non contradictoire, peut-être avec des montres douteuses, elles étaient, tout simplement à refaire convenablement. Toutefois, je ne niais pas qu'elles pussent être fondées, car mes montres ne valaient pas forcément mieux que celles de mes opposants et j'avais déjà signalé que des travaux intempestifs au sommet de la Colonne avaient pu altérer le bon ordre du système stylaire, tellement compliqué. Méridien aléatoire ou style biaisé, ou les deux ? On ne peut plus savoir. Par lapsus calami malencontreux, je m'attirais, en outre, les sarcasmes de mes adversaires. En effet, ceux-ci avaient parfaitement raison en disant que le retard pronostiqué, pour le solstice

d'hiver, serait plus important que les 1 minute et 20 secondes lues au solstice d'été. Un simple coup d'œil suffit pour voir que, sur un cadran vertical, méridional, on fait tenir peu de temps en beaucoup d'espace, en été et que c'est exactement le contraire en hiver, beaucoup de temps en peu d'espace. Donc, une erreur d'azimut engendrera une erreur d'angle horaire, croissante de l'été à l'hiver. Or, dans ma « Réponse ... » j'écrivis exactement le contraire et, céans, je corrige ma position fautive.

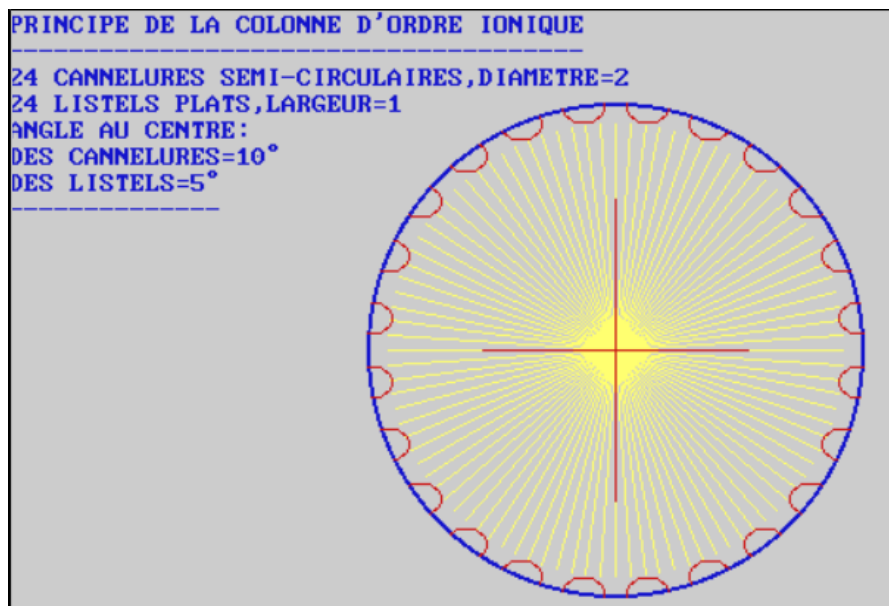
2°) le franchissement tardif ou précoce des frontières du zodiaque ouvre une autre remarque ; elle vaut aussi pour le retard ou l'avance journalière du cadran. Les frontières des signes zodiacaux, tout comme les valeurs de l'équation du temps, ne sont prises en compte qu'une seule fois sur un cadran solaire, or elles glissent plus ou moins perceptiblement dans le cycle quadri-annuel où cohabitent trois années communes et une année bissextile. Par commodité, maintenant, vous avez accoutumé de considérer, comme moyenne satisfaisante, l'année bissex + 2. Pour moi c'était 1766, (1764 + 2), dans le quatuor 1764/65/66/67. Or l'observation alléguée dans la « Réfutation ... » a eu lieu le 21 juillet 1770 à midi. A cet instant, le centre de l'ellipse solaire était déjà passé dans le Lion, alors que selon les Ephémérides ce passage n'a lieu que le 22 juillet à 22 heures. Je note que 1770 est bien bissex + 2.

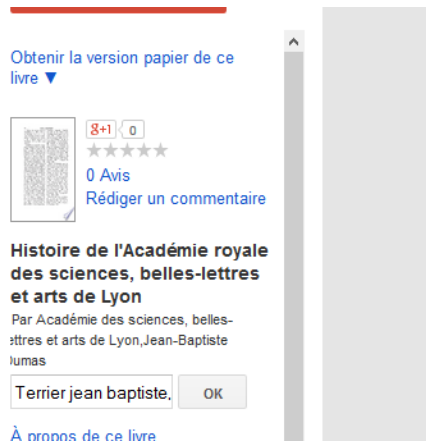
Que trouve-t-on dans votre remarquable IMCCE ? Ceci : le 22 juillet 1770, à 22 heures, la déclinaison du Soleil valait $20^{\circ}10'50''$. Mon contradicteur a entièrement raison ; c'est l'instant où le Soleil entre dans le Lion. La veille, à midi, il est encore dans l'Ecrevisse et déjà le point de lumière est dans le Lion ; ma méridienne est fautive sur ce point précis, mais, pas plus que pour les retards, on ne peut généraliser. Le pouvait-on, en 1770 ? Certainement pas à partir de quelques observations extrapolées ; il eût fallu conduire tout un processus de vérification, avec des arbitres impartiaux et des montres irréprochables. Si, en conclusion, mes calculs étaient apparus faux ou si les reports des points théoriques sur la Colonne avaient été mal faits, on m'en blâmait et on m'oubliait. Si les erreurs n'étaient dues qu'à un accident du style, on le redressait et Lyon avait un cadran original, difficile d'exécution et performant, digne de la capitale des Gaules.

Il n'est peut-être pas trop tard pour que votre métropole réussisse enfin cette dernière opération. Lyon n'a pas les monuments gnomoniques qu'elle mérite. Que ses édiles lui donnent demain une œuvre digne de son histoire.

Dicté par J.-B. Terrier

pcc : P.Gagnaire





81

M. Crozet (4 décembre 1770) prouva que le méridien de la place des Cordeliers (1) est défectueux. Les lignes du zodiaque ne sont pas placées avec justesse, et la ligne méridienne est sujette à une erreur de trois minutes. Il proposa d'élever au-dessus de l'observatoire du Grand-Collège, un lanternet plus à découvert où il pût mieux faire ses observations. Les Pères de l'Oratoire lui donnèrent une chambre et un lit auprès de l'observatoire, et il campa sur le champ de bataille.

Il n'y avait pas long-temps que les Oratoriens avaient obtenu la direction du collège; je dois faire connaître

Aujourd'hui, deux siècles et demi après ces polémiques et un siècle et demi après la destruction de la Colonne, est-il possible de rendre bonne et sereine justice, d'apprécier les problèmes affrontés et de rendre aux erreurs leur importance relative ? Nous le tentons ici, en toute modestie, faisant fi des sarcasmes échangés et des considérations hors sujet.

Tout d'abord, nous acceptons, généreusement, les observations de Guillaume Crozet :

1°) au solstice d'été, la méridienne retarde de 1 minute et 10 secondes (c'est une observation)

2°) aux équinoxes, elle retarde de 2 minutes et 20 secondes (c'est une observation, mais il en faudrait deux.)

3°) vers le solstice d'hiver, elle retardera de 3 minutes (c'est une extrapolation)

4°) la frontière de déclinaison solaire, à l'entrée dans le Lion, est 1 pouce trop haut (26 mm).

Ensuite, nous considérerons la table des limites, en azimut, du midi moyen. Pour faciliter les vérifications que voudraient effectuer nos lecteurs, nous avons pris les valeurs de 2015.

Les colonnes 2 et 3 procurent la déclinaison du Soleil, en degrés, minutes et secondes puis en degrés décimaux. Les colonnes 4 et 5 montrent l'équation du temps en minutes et secondes puis en minutes décimales. La colonne 6 donne l'angle horaire du Soleil moyen ; si le signe est (-) le midi moyen (des montres) a lieu avant le midi vrai. C'est le contraire si le signe est (+). La colonne 7 indique l'azimut correspondant du Soleil moyen avec les mêmes conventions de signes ; le Soleil de signe (-) n'a pas encore atteint le Sud.

Dates	Déc-Sol ° ' ''	Déc-Sol DD	EQT m.s.	EQT MD	AH-Sol Moy	AZ-Sol Moy
12/02	-13°52'10''	-13°8694	+17m11s	+14m183	-3°545	-3°99
03/11	-14°53'13''	-14°8869	-16m27s	-16m45	+4°113	+7°56
14/05	+18°29'39''	+18°4942	-3m41s	-3m683	+0°921	+1°91
26/07	+19°32'49''	+19°5469	+6m32s	+6m533	-1°633	-3°48
22/12	-23°26'04''	-23°4344	-1m50s	-1m8333	+0°4583	+0°45
20/03	-0°29'29''	-0°4914	+7m42s	+7m701	-1°925	-2°66
23/09	+0°08'08''	+0°1355	-7m21s	-7m35	+1°8375	+2°57
21/06	+23°26'03''	+23°4342	+1m37s	+1m6167	-0°4042	-0°98

Rappelons que l'équation du temps de signe (+) fait retarder le cadran (TVL) sur le temps moyen. Par conséquent, elle fait intervenir le midi moyen avant le midi vrai ; cela se traduit par le signe (-) qui affecte l'angle horaire du Soleil moyen et son azimut, qui se situent avant XII et avant le Sud. Ces midis moyens qui précèdent les midis vrais, se lisent sur les demi-boucles tracées à gauche du huit, pour le consultant. Pour l'équation du temps de signe (-), toutes ces considérations s'inversent.

Les quatre premières lignes renseignent sur les jours où les 4 valeurs extrêmes de l'équation du temps sont atteintes (maxima d'hiver et d'été du « ventre » du huit). Les quatre suivantes renseignent sur les jours d'équinoxes et de solstices où ont eu lieu les observations. La gravité des erreurs relevées par Crozet se mesure ainsi, à la lumière de cette table :

1°) au solstice d'été l'équation du temps vaut 1m37s (retard de la méridienne) et l'erreur 1m10s de retard supplémentaire.

2°) aux équinoxes, il est clair que l'observation n'a été faite que lors d'un seul équinoxe. Au printemps l'équation du temps fait retarder la méridienne de 7m42s et à l'automne elle la fait avancer de 7m. Il est impossible que, dans les deux cas, l'observation donne le même retard de la méridienne et nous ne pouvons rien assurer, mais il est vraisemblable, en raison de la chronologie des éléments de la polémique, que l'observation a été faite en automne.

3°) l'extrapolation pour le solstice d'hiver, soit 3 minutes de retard, renverserait le sens de l'information pour le consultant : le midi moyen se place 1m50s après le midi vrai et la Colonne le placerait 1m10s avant.

4°) sur l'erreur en déclinaison il n'y a rien à dire ; il suffit sans doute de baisser très légèrement le style pour rattraper ce pouce (26mm) de dérive. En effet, cette erreur est insignifiante, même si elle saute aux yeux: rapporter ce pouce à la distance atteinte par le centre de l'ellipse de lumière de la date, soit 6,488 mètres revient à poser, en millimètres, $25.4 / 6488 = 0,0039$. Eh, oui ! Certaines erreurs s'absorbent dans l'épaisseur du tracé et d'autres, bien plus bénignes, "cuisent les yeux".

Les erreurs intrinsèques qui génèrent toujours un retard de la méridienne, nous semblent à la fois rédhitoires, car elles manifestent une mauvaise construction de l'instrument, et assez faciles à corriger, puisqu'on en connaît les valeurs, mais le passant qui vient régler sa montre sur le temps moyen n'a pas forcément la patience de le faire. Peut-être, suffirait-il de pousser le disque à œillette de quelques lignes vers la droite pour les neutraliser ; on ne peut plus savoir. Mais il faut garder en esprit qu'un style droit de 3175mm, s'il est dévié en azimut, va pousser son point de lumière trop à gauche ou trop à droite, sur la ligne d'horizon qui passe par lui, sur un plan vertical. La mesure de cet écart en azimut est :

Style dévié de 1°, digression égale à : $3175 * \tan(1^\circ) = 55,42$ millimètres, soit 2 pouces.

Style dévié de 0,25°, digression égale à : $3175 * \tan(0.25^\circ) = 13,86$ millimètres.

De même, on aimerait posséder les calculs de Terrier. Le lecteur qui voudrait se représenter l'énormité du travail à conduire – et par logarithmes – peut consulter le livre de Denis Savoie « La Gnomonique » pages 243 - 246 car il s'agissait bien de calculer un cadran sur un cône et non pas sur un cylindre. Le rayon de la colonne allait de 0m78 en haut à 0m90 en bas, pour une hauteur de 13m, donc se réduisait de 1cm tous les mètres ; l'envergure du huit de 7,45 mètres de haut. Assurément c'était un travail énorme et fastidieux. Le report de

quelque 365 points sur la colonne en était un autre et il fallait s'arranger avec les cannelures.

Nous n'hésitons pas à le répéter, *tout aurait dû dissuader Terrier de tenter cette aventure.*

Est-il possible d'aller plus loin c'est-à-dire de connaître ce qu'aurait dû faire Terrier et ce qu'il a réellement fait ? La première question est simple à traiter ; il suffit de faire les calculs expliqués aux pages déjà citées de « La Gnomonique » de Denis Savoie. Nous l'avons fait et nous allons le présenter. La seconde question est impossible à traiter avec certitude, mais ne serait-ce pas un joli jeu pour nos lecteurs, que d'imaginer « ce qu'aurait pu » faire Terrier, avec l'outillage intellectuel dont il disposait. C'est pour eux que nous avons laissé vide la colonne 'Terrier' dans le tableau ci-après. Il nous semble impossible que Terrier ait su et pu effectuer tous les calculs de D. Savoie, pour 365 points. A-t-il pointé les 'y' sur la ligne de midi vrai ? A-t-il calculé les 'x' par les azimuts atteints par les points de son huit et rapportés à la circonférence de 5m65, au sommet de la colonne, se réduisant à 5m 277 à sa base ? Sans doute pas, car les écarts seraient beaucoup plus importants que ceux qu'a relevés Guillaume Crozet.

Les 'x' se mesurent sur la circonférence du cône qui passe par le pied du style droit, positivement vers la droite.

Les 'y' se mesurent sur la génératrice atteinte par les 'x', positivement vers le haut. Nous avons limité nos calculs aux quatre dates où le huit atteint ses digressions maximales par rapport au midi vrai, mais rien n'empêche de calculer les 365 points.

La Colonne calculée selon D. Savoie (les 'x' et les 'y' sont donnés en centimètres):

Uranie conique	12 février	3 novembre	14 mai	26 juillet
Déclinaison solaire	-13°8694	-14°8869	+18°4942	+19°5469
Angle horaire	-3°545	+4°113	+0°921	-1°633
Latitude	45°767	45°767	45°767	45°767
Rayon du cône, au style	88cm	88cm	88cm	88cm
Longueur style droit	317.5cm	317.5cm	317.5cm	317.5cm
Angle de pente du cône	0°75	0°75	0°75	0°75
Mesure des 'x' (D.Savoie)	-21.9	25.26	9.25	-16.77
Mesure des 'x' (Terrier)				
Mesure des 'y' (D.Savoie)	-187.48	-178.21	-602.14	-525.69
Mesure des 'y' (Terrier)				

Nota :

Paul Gagnaire s'est lancé dans un travail démentiel. Il a créé une feuille Excel de 42 colonnes et de 365 lignes. Cette présentation découpant les équations de Denis Savoie (*La Gnomonique* pp.243-246), lui a permis de vérifier à la calculette que les résultats sont bons.

« Je me suis mis dans la peau de Terrier et j'ai fait calculer les déclinaisons et l'équation du temps chaque jour, puis j'ai dépelotonné Savoie.

Le résultat est impressionnant. Je doute que Terrier ait agi ainsi. Je pense que, déjà, il a pris pour déclinaisons et pour équation du temps, les valeurs de Deparcieux qu'il cite. Evidemment, cela fait entrer deux fois 365 valeurs à la main, mais c'est plus rapide que de les calculer par logarithmes.

Pour le reste des calculs, je doute fortement que Terrier ait pu et su faire ce que Denis Savoie explique. Il a dû prendre une "combine" commode et expéditive, bien qu'un peu approximative.

C'est cela que j'aimerais découvrir, des pistes de réflexion sont données sur la feuille EXCEL».

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

° les fichiers : A_Reponse_du_sieur_Terrier_architecte_à_L;.pdf et
B_Réfutation_de_l_imprimé_de_M_Terrier_a.pdf

° la feuille Excel : C_URANIE-2015-DS.xlsx : calculs et représentation de la courbe en 8.

La colonne et la statue dans le Soleil (dessin A)

On peut estimer la longueur du Style polaire à, environ, 5.50 m, d'où son ancrage compliqué.

Le Cancer se plaçait quelques 7 mètres au-dessus du sol et le Capricorne 14 mètres, donc 5 et 12 au-dessus des spectateurs. Le huit, à lui seul, se développait sur 6.25 mètres en hauteur (7.45-1.20) et, entre ses bornes azimutales, l'arc ne mesurait que 48 centimètres.

Déclinaisons du Soleil en 1760, selon Bedos de Celles :

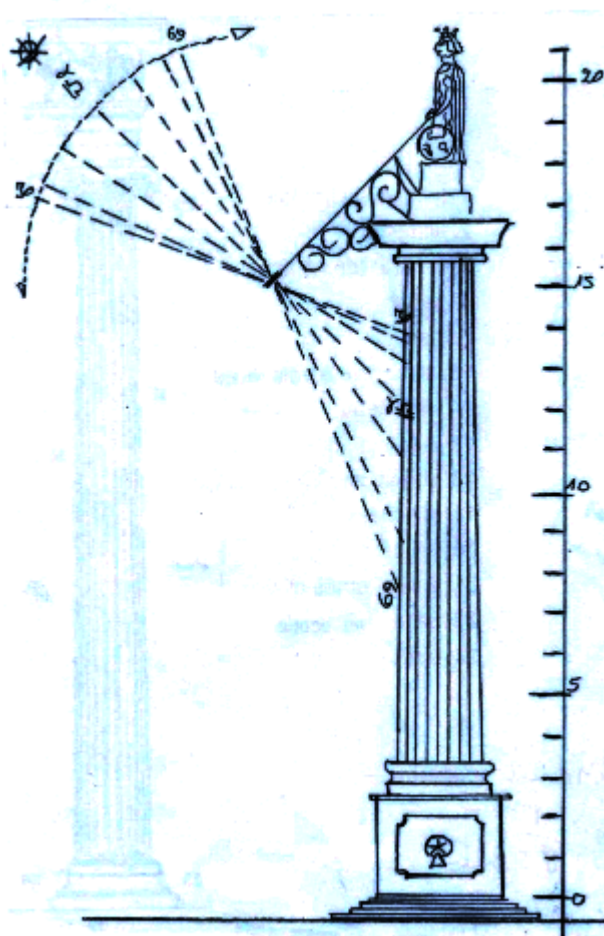
Cancer :	23° 28'
Gémeaux et Lion :	20° 11'
Taureau et Vierge :	11° 21'
Bélier et Balance :	0°
Scorpion et Poissons :	- 11° 29'
Sagittaire et Verseau :	- 20° 11'
Capricorne :	- 23° 28'

La distance de l'œilleton à la colonne et donnée par Terrier : 9 pieds 1/3 plus 6 pouces soit :

9 * 0.324	=	2.916 m
0.33 * 0.324	=	0.107 m
6 * 25.4 mm	=	<u>0.152 m</u>
Total :		3,175 m

Rayon de la colonne, environ : en haut = 0.80 m en bas = 0.90 m
Angle de pente = environ 0°75 (environ 10 cm. pour 13 m).

Dessin A ►



Emprise latérale maximale de la courbe en huit (dessin B)

Exemple avec les valeurs réelles de la courbe de Terrier :

$OY = LSD = 317,5 \text{ cm}$

$CY = R = 78 \text{ cm. } D = 1,56$

$CIRC = D * PI = 490 \text{ cm}$

Angle alpha = 4°04 à gauche (fév.) et 4°58 à droite (oct.)

$AZ = LSD * \tan(4°04) = 22,42 \text{ cm}$

$BZ = LSD * \tan(4°58) = 25,43 \text{ cm}$

$AZ + BZ =$ corde de l'angle au contre omega = 47,85 cm

Angle omega (table des cordes) = 35°,75

Omega / 360 = emprise de l'arc gnomonisé, en % = 9,93%. La longueur de cet arc gnomonisé est donc de 48,66 cm.

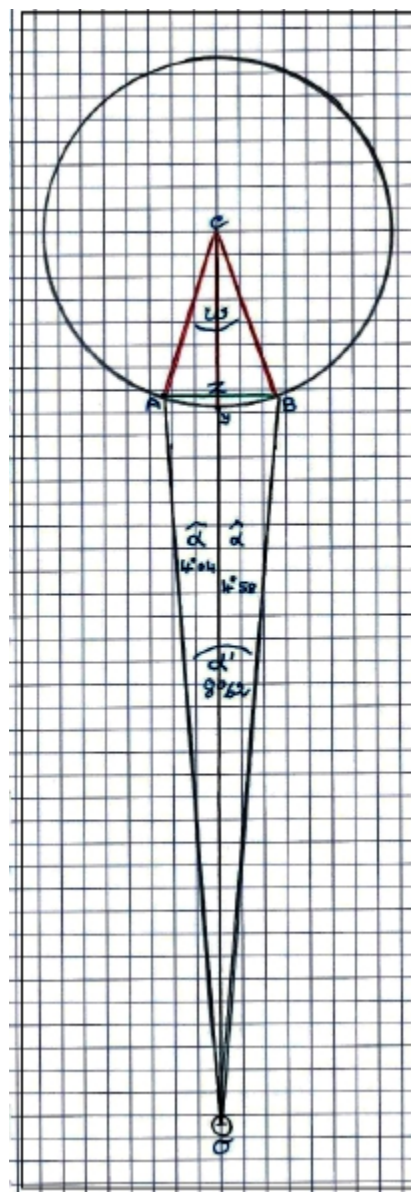
La grosse boucle de la méridienne, en haut et en hiver, a pour bornes azimutales 4°04 à gauche (février) et 4°58 à droite (octobre). La petite, en bas et en été, 3°46 à gauche (juillet) et 1°92 à droite (mai).

La digression maximale de l'équation du temps, par rapport à XII heures TVL est d'environ + 16 minutes et – 16 minutes.

On voit le dilemme du gnomoniste : accroître l'emprise du huit et accepter un style droit de 4 ou 5 ou 6 mètres, ou bien conserver un style droit de l'ordre de 3 mètres, plus raisonnable.

Echelle d'origine du dessin ci-contre au 1/20

Longueur du style droit	200cm	317,5 cm	400 cm
Rayon et diamètre des colonnes	78 et 156 cm	78 et 156 cm	78 et 156 cm
Longueur des circonférences	490 cm	490 cm	490 cm
Azimut à gauche : fév. = 4°04	14,126 cm	22,42 cm	28,25 cm
Azimut à droite : oct. = 4°58	16,02 cm	25,43 cm	32,04 cm
AZ + BZ = corde de angle omega	30,146 cm	47,85 cm	60,29 cm
Angle omega (table des cordes)	22°25	35°75	45°5
Emprise de l'arc gnomonisé en % de la longueur de CIRC	6,18 % (22,25 / 360)	9,93 % (35,75 / 360)	12,64 % (45,5 / 360)
Longueur de cette emprise	30,28 cm	48,66 cm	61,94 cm



Dessin B





Mesure de la déclinaison d'un mur

Philippe Langlet

Cadranier professionnel, Philippe Langlet nous présente son appareil mobile, permettant les relevés nécessaires au calcul de la déclinaison d'un mur.

Durant ma carrière de cadranier, je me suis vite heurté au problème des déplacements chez les clients pour effectuer les pointages nécessaires au calcul de la déclinaison du mur devant recevoir le cadran.

Après de nombreux essais, je me suis aperçu qu'il fallait un appareil le plus simple possible et sans pièces mobiles genre fil à plomb par exemple. Le but est identique à la méthode de la planchette.

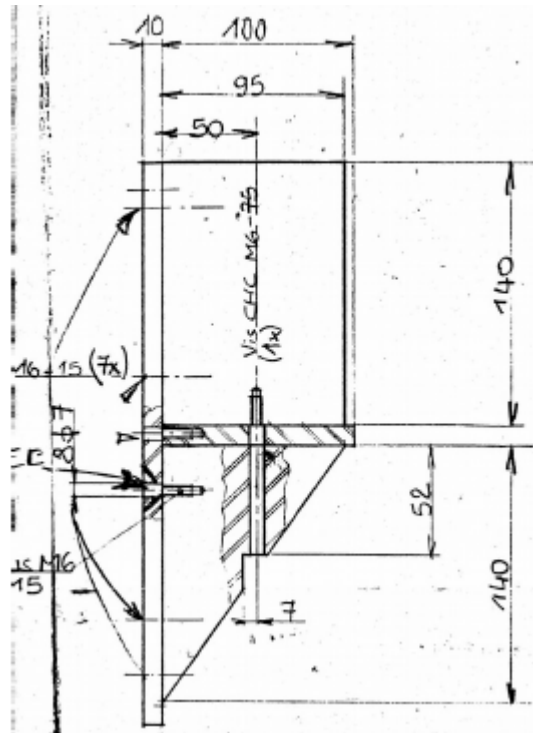
Avec cette méthode, j'obtenais une précision à la lecture du cadran de l'ordre de 1 à 3 minutes.

L'appareil décrit ci-dessous rassemble ces conditions. Il a été réalisé en aluminium

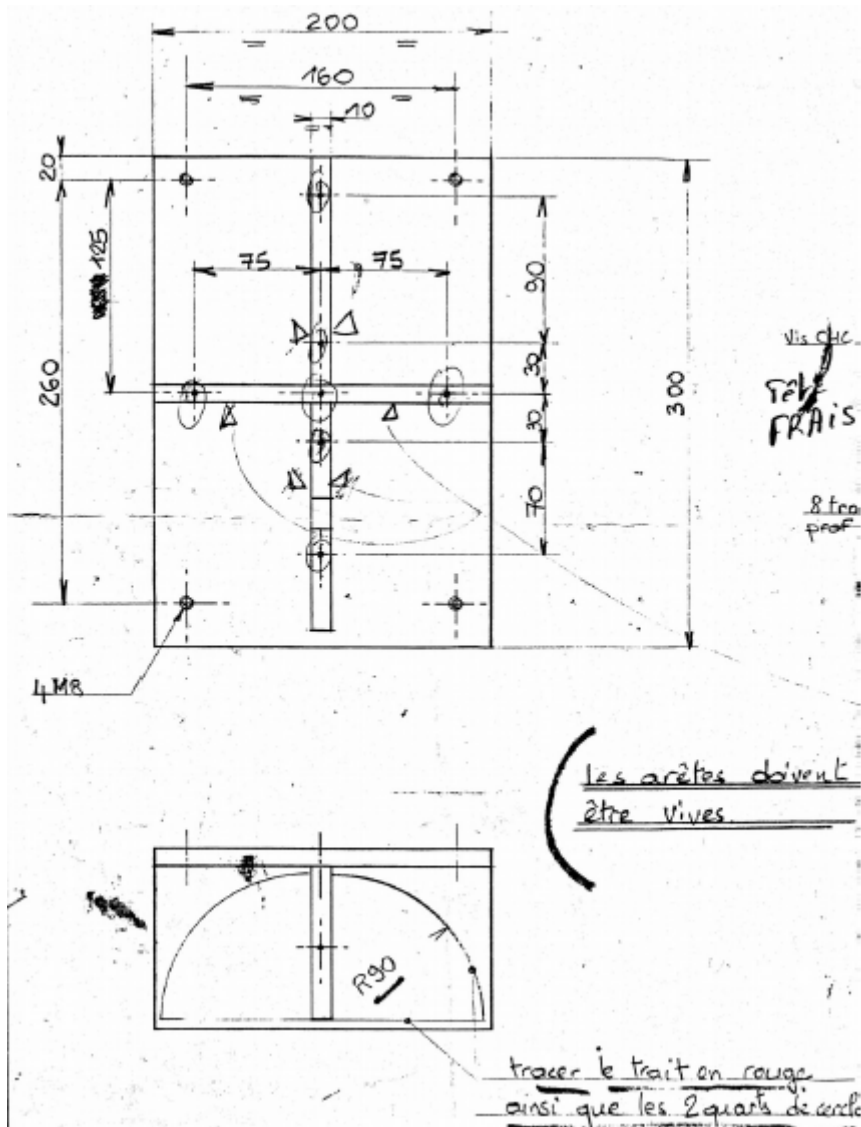
de 10 mm d'épaisseur par une entreprise d'outillage afin d'obtenir un équerage parfait. J'ai juste rajouté un niveau à bulle circulaire que l'on utilise pour mettre de niveau les pieds de télescope amateur. Il a été collé avec une fine pellicule de silicone.

Plans de construction :

Ils sont donnés ci-contre :
vue de gauche avec coupe et page suivante : vue de face et vue de dessus.



Plans de construction :



Mode d'emploi

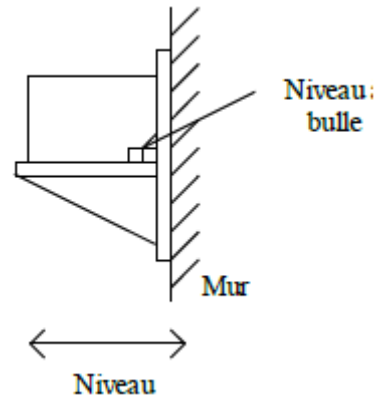
Vous devrez être très minutieux durant l'opération, la précision du cadran en dépend.

Si la surface de votre mur est irrégulière, (creux, bosses), fixez une planche rigide à l'emplacement du futur cadran avant de positionner l'appareil. Le mur doit être ensoleillé lors des mesures.

Avant l'opération, réglez votre montre à la précision de la seconde.

Positionnez l'appareil à l'endroit où doit être installé le cadran en le plaquant sur le mur, photo 1 et en vous

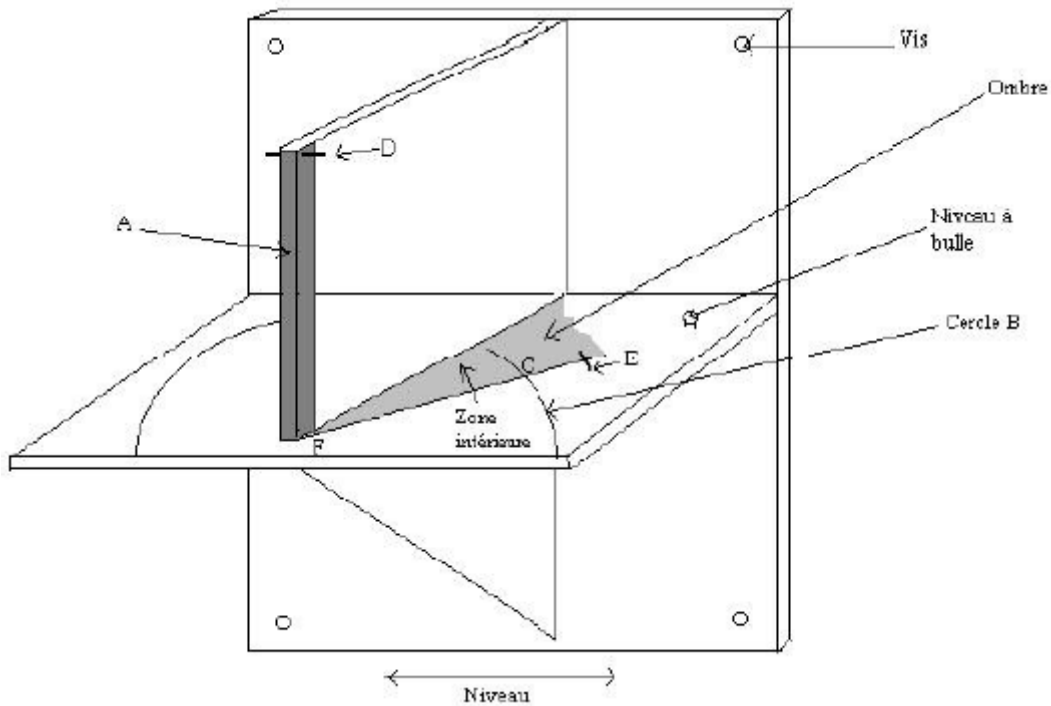
servant des 4 vis pour régler, mettez l'appareil de niveau suivant le croquis. (Vérifiez avec le



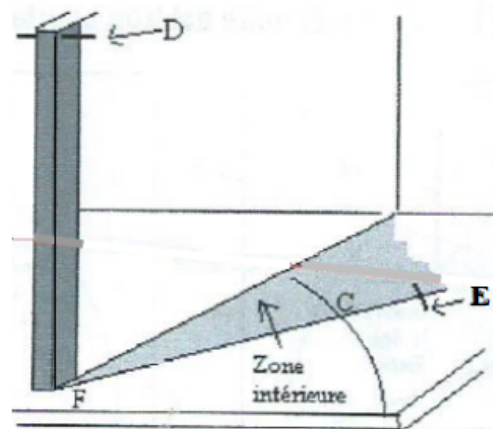
petit niveau à bulle fourni avec l'appareil, photo 2) puis sans bouger, marquez avec un critérium pointe fine (faire un trait fin) l'endroit où l'ombre de l'arête A peint en noire coupe le cercle B en C et notez instantanément l'heure, minutes et secondes, photo 3.

Refaites cette opération 6 fois à 5 minutes d'intervalle minimum en recommençant depuis le début (c'est à dire repositionner l'appareil). Numérotez les points dans l'ordre du relevé de 1 à 6.

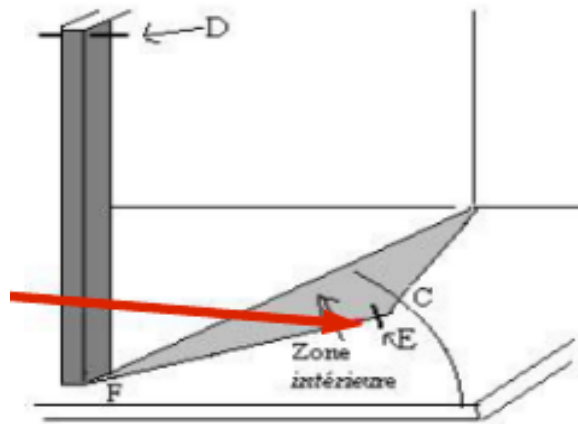
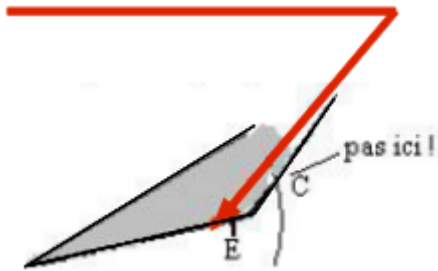
Attention : si l'ombre de la tige filetée D se trouve dans la zone intérieure (avant le cercle B), attendre que le Soleil ait soit avancé dans la journée, ou faire le relevé le lendemain plus tôt, ou tracer les traits sur le bord de la ligne FC mais avant l'ombre E de la tige filetée D. Selon les configurations, cela est assez fréquent en juin et juillet du fait de la hauteur du Soleil qui est au plus haut à cette époque.



Représentation du cas le plus courant ►



Attention : Si l'ombre E de la tige D se trouve dans la zone intérieure (avant le cercle E)*, attendre que le Soleil ait avancé dans la journée ou faire le relevé le lendemain mais plus tôt ou encore, marquer les points sur le bord de la ligne FC mais AVANT l'ombre E.



Cas où l'ombre E se trouve avant le cercle B

* Assez fréquent en juin /juillet.

Photos 4 et 5



▲ Photo 1

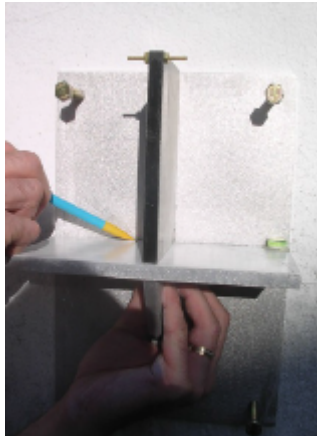


Photo 2 ►



Photo 3 : Faire des traits fins de 1cm de long environ, à cheval sur l'arc de cercle. Photo 5 ▼

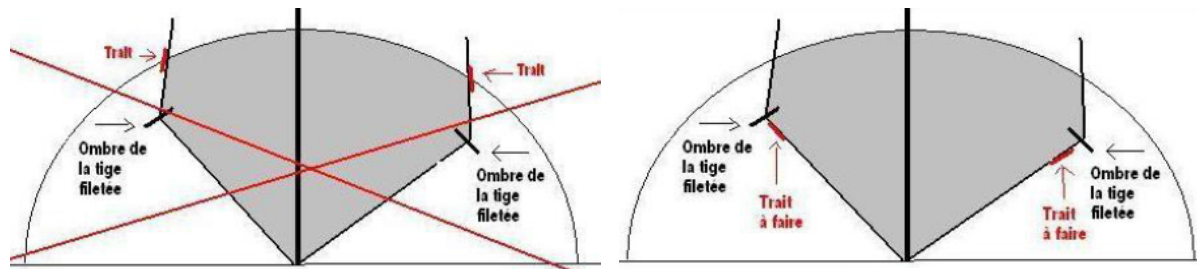
Photo 4 ▼



▲ Tracer le trait un peu avant l'ombre de la tige filetée ►



Cas où l'ombre est trop courte et brisée



Incorrect

Correct

Vous devez faire le trait avant
la tige filetee (photo 5)

L'ombre est d'un côté ou de l'autre, selon la journée et l'orientation du mur

Passons maintenant aux calculs.

Je me sers des éphémérides de la SAF.

Φ = Latitude du lieu.

Ex : $47^{\circ} 59'$

I = l'heure du relevé moins 1 h ou 2 h (hiver ou été) soit l'heure T.U et convertie en angle.

Ex : $17h 4' 55'' - 2h = 15h 4' 55''$

$I = 15h 4' 55'' * 15 = 226^{\circ} 13' 45''$

δ = Déclinaison du Soleil à l'heure du relevé s'obtient en prenant la déclinaison du jour du relevé + ou - la différence de déclinaison entre le jour du relevé 0 h T.U et le lendemain 0 h T.U divisée par 24 et multipliée par le nombre d'heures entre 0 h TU et l'heure du relevé. Ne pas oublier le signe + ou -

Ex : le 21 avril = $+ 11^{\circ} 47''$ et le 22 avril = $+ 12^{\circ} 7'$

soit : les relevés du mur ayant eu lieu entre 14h 52 et 15h 15 soit moyenne = 15h.

$12^{\circ} 7' - 11^{\circ} 47'' = 0^{\circ} 20'$

$0^{\circ} 20' / 24 * 15 = 0^{\circ} 12' 30''$

La déclinaison du Soleil est de : $+ 11^{\circ} 47' + 0^{\circ} 12' 30'' = + 11^{\circ} 59' 30''$

Ici nous avons additionné car la déclinaison du Soleil augmente, si elle était en baisse, nous aurions soustrait.

P = Passage du soleil au méridien de Paris le jour du relevé et P' le passage du soleil au méridien de Paris le lendemain du jour du relevé.

Convertir P angle, (on multiplie par 15 P),

Ex : Ex : le 21 avril = $11h 49' 18''$ et le 22 avril = $11h 49' 6''$

$P = 11h 49' 18'' * 15 = 177^{\circ} 19' 30''$

J = Heure vraie = $24h + (\text{Passage soleil au méridien de Paris le jour du relevé} - \text{Passage du soleil au méridien de Paris le lendemain})$ et résultat converti en angle.

Ex : $J = 11h 49' 18'' - 11h 49' 6'' = - 0h 0' 12''$

$24h + (- 0h 0' 12'') = 23h 59' 48''$ on convertit en angle soit : $23h 59' 48'' * 15 = 359^{\circ} 57'$

L = Longitude du lieu plus la longitude de Paris (2°20'14").

Ex : 3° 24' 30" Est

$L = - 3^{\circ} 24' 30'' + 2^{\circ} 20' 14'' = - 1^{\circ} 4' 16''$ longitude est de Paris (Ne pas oublier le signe + ou - dans la formule ci-dessous).

L'angle H est l'angle horaire du lieu d'observation, soit $H = 360 \times \frac{(I-P)}{J} - L$

Ex. : $H = 360 \times \left(\frac{226^{\circ} 13' 45'' - 177^{\circ} 19' 30''}{359^{\circ} 57'} \right) - (-1^{\circ} 4' 16'') = 49^{\circ} 58' 55''$

$A =$ Azimut du soleil : $\tan A = \frac{\sin H}{\sin \phi \cos H - \cos \phi \tan \delta}$

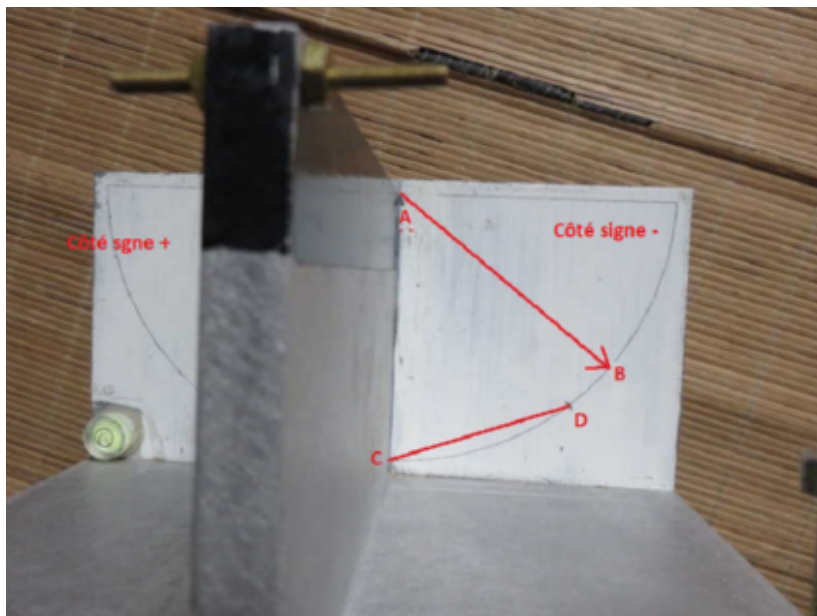
Ex.: $\tan A = \frac{\sin(49^{\circ} 58' 55'')}{\sin(47^{\circ} 59') \cos(49^{\circ} 58' 55'') - \cos(47^{\circ} 59') \tan(11^{\circ} 59' 30'')} = 66^{\circ} 20' 18''$

Nota : Il peut arriver en été si l'on opère très tôt ou très tard pour faire les relevés, que l'on trouve :

- 1) Le matin une valeur positive pour tg A.
- 2) Le soir une valeur négative pour tg A.

S'il en est ainsi :

Dans le cas 1) retrancher 180° de la valeur positive à la valeur positive trouvée pour A.
 Dans le cas 2) ajouter 180° à la valeur négative trouvée pour A.



Angle V (angle mesuré sur l'appareil) signe - pour les mesures effectuées à gauche de l'appareil (vue de face) et de signe + pour les mesures effectuées à droite.

D est la marque au crayon de l'ombre que vous avez notée.

$$\sin V = CD / (AB * 2) = Q \qquad V = Q * 2$$

$$\text{Ex: } \sin V = + 81,2 / (90 * 2) = + 26^\circ 48' 53''$$

$$V = + 26^\circ 48' 53'' * 2 = + 53^\circ 37' 47''$$

La déclinaison du mur D = A – V

$$\text{Ex : } D = - 66^\circ 20' 18'' - (+ 53^\circ 37' 47'') = + 12^\circ 42' 32'' \text{ sud-ouest.}$$

Si le résultat avait été négatif, cela aurait été un cadran sud-est.

Pour approfondir les calculs se reporter aux livres de Denis Savoie ou aux articles de Cadran Info traitant du sujet¹.

Un petit logiciel d'automatisation des calculs sera réalisé.



Vue générale de l'appareil



L'appareil monté sur un support fixe.

Lors de notre réunion de mai 2015 à Grenoble, Philippe Langlet a offert un appareil de relevé de déclinaison au « groupe sauvegarde des cadrans de la CCS ».

En tant que pilote de ce groupe, l'appareil a été remis à Jérôme Bonnin afin de le mettre à disposition suivant les besoins.



¹ Liste des articles parus dans Cadran Info à demander à Ph. Sauvageot



Cadran portatifs et déclinaison magnétique (XVI - XVIIIe siècles).

Eric Mercier

Grâce à l'analyse de traités de gnomonique et d'instruments conservés dans les musées, cet article essaye d'établir comment la déclinaison magnétique (découverte au XVe), et ses variations géographique (découverte à la fin du XVe) et séculaire (découverte au milieu du XVIIe), ont été prises en compte dans la fabrication des cadrans portatifs du XVI au XVIIIe siècle. Il apparaît que cette prise en compte a été très progressive et que, sur cette question, les instruments et les traités semblent avoir en grande partie évolué indépendamment.

Remarque liminaire

Cet article, qui traite de l'orientation des cadrans portatifs du XVI, XVII et XVIIIe siècles, a pour champ potentiel d'investigation toute la production d'instruments et toute la littérature gnomonique de l'époque. Je ne prétends donc pas être exhaustif ! Il ne s'agit ici que d'une première approche. Je serais très reconnaissant à tout lecteur qui me ferait connaître des éléments qui pourraient renforcer, affiner ou remettre en cause les conclusions provisoires de ce travail.... d'avance : Merci !

I) Introduction

Les premiers cadrans solaires portatifs étaient des cadrans de hauteur. On peut citer par exemple : les cadrans de berger, le cadran de Regiomontanus, la navicula, la partie solaire des astrolabes, les quadrants et de nombreux autres (Cowham 2008, Massé 2009). Ces instruments exploitaient le fait que connaître (1) la latitude du lieu, (2) la hauteur angulaire du soleil au-dessus de l'horizon, (3) la date du jour et (4) la période de la journée (matin ou après midi) ; permet de calculer l'heure.

L'inconvénient majeur de ce type de cadran est qu'au environ de midi, la course du soleil se parallélise à l'horizon si bien que la mesure de l'heure devient très imprécise. Pour augmenter la précision, il est nécessaire de s'intéresser à un autre paramètre de positionnement solaire : l'azimut (ou des valeurs proches comme l'angle horaire ou la longitude écliptique). En dehors de l'avantage de l'augmentation de précision autour de midi, les cadrans basés sur ce(s) paramètre(s) permettent souvent de s'affranchir de la connaissance de la date et toujours du moment de la journée. Mais inversement pour faire la mesure, il faut orienter l'instrument, typiquement selon le méridien local. Pour ce faire, il existe essentiellement deux solutions :

- soit coupler dans le même instrument deux types de cadran (analemme / horizontal ; horizontal / déclinant etc...). L'orientation de l'instrument est correcte quand les deux cadrans indiquent la même heure. Ce genre de solution, jamais très populaire, nécessite un instrument d'une certaine taille qui est plutôt à classer dans la catégorie des

cadrans « de table » que dans celle des cadrans portatifs¹.
-soit utiliser le magnétisme terrestre et ajouter une boussole au cadran.

Le problème est que la boussole n'indique pas exactement le Nord géographique (et astronomique) : en effet, le Nord magnétique est différent du Nord géographique, la différence entre les directions locales de ces deux pôles s'appelle la « déclinaison magnétique » (Fig. 1). Cette déclinaison n'est pas une constante : elle varie selon le lieu (variation géographique de la déclinaison) et dans le temps (variation séculaire de la déclinaison) et enfin, elle peut prendre une valeur importante

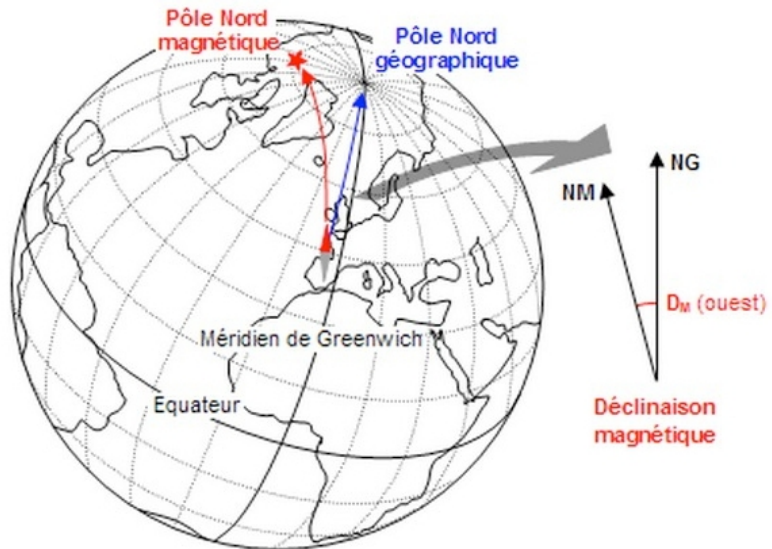


Fig. 1 : La déclinaison magnétique

(22° à Paris en 1800, par exemple, mais il n'y a pas de limite théorique à cette valeur). Dans l'idéal, un cadran solaire portatif à boussole devrait donc être muni d'un dispositif permettant de corriger la déclinaison selon le lieu et selon l'époque.

Du point de vue qui nous intéresse ici (utilisation du magnétisme terrestre pour l'orientation d'un instrument), les découvertes fondamentales ont toutes été faites avant le milieu XVIIe. L'objet de cet article est de discuter la manière dont ces découvertes ont été prises en compte par les gnomonistes du XVIe au XVIIIe en insistant particulièrement sur les gnomonistes français.

II) Histoire des découvertes concernant le magnétisme terrestre

Dans les lignes qui suivent, je vais très succinctement présenter l'histoire des découvertes concernant le magnétisme terrestre. Cette question ne semble pas faire l'unanimité des historiens concernés, je me limiterai donc aux faits admis en renvoyant le lecteur à la bibliographie (notamment Lanza & Meloni, 2006).

C'est en Chine qu'il faut aller chercher les premières mentions de magnétisme terrestre et de boussole. Sans remonter à l'époque de l'empereur Huang Ti, (vers 2632 av JC) qui est censé avoir utilisé une boussole lors d'une bataille, la plus vieille description d'une boussole date de 1088. En Europe, c'est en 1187 qu'un moine anglais (Alexander Neckam) décrit pour la première fois la boussole et son usage, mais la première investigation scientifique et la découverte de la polarité date de 1269 avec les écrits de Pierre Le Pellerin qui ne seront imprimés qu'en 1588 (Crichton 1937). Dans le monde arabo-musulman, les

¹ Les exemples les plus anciens de cadran mixte horizontal/analemme ne semblent dater que de la fin du XVIIe (Higton 2002 p. 230-231 ; Delalande et Delalande 2013, p. 336), par contre, les cadrans à faces multiples sont apparus au XVIe.

premières mentions datent de 1232 et 1282 (Schmidl 1997), soit plus tardivement qu'en Europe si bien que les auteurs admettent généralement que la transmission de cette découverte s'est fait directement de la Chine à l'Europe.

La déclinaison magnétique est mentionnée entre 1111 et 1117 dans un ouvrage chinois (Pen-Thsao-yan). En Europe, les choses sont beaucoup moins claires. On a longtemps attribué à Christophe Colomb cette découverte (lors de son premier voyage à travers l'Atlantique en 1492), mais c'est probablement un gnomoniste qui peut revendiquer la paternité de cette découverte. En 1451, Georg Peurbach a réalisé, en Autriche, un cadran solaire à boussole



Fig. 2 : Le cadran construit en 1451 par Georg Peurbach pour l'Empereur Frédéric III. La photo de droite montre le fond de la boussole où apparaît une ligne oblique par rapport au Nord et qui marque la déclinaison magnétique.

Cette ligne est d'origine. (photos de : <http://members.aon.at/sundials/bild2e.htm>)

sur laquelle est porté un repère de déclinaison magnétique (11° vers l'Est : Fig. 2). Les spécialistes qui ont examiné ce cadran considèrent que cette indication est d'origine. En 1510, Hartmann, un jésuite, réalise à Rome les premières investigations scientifiques sur le phénomène et en 1524 est publiée ce qui semble la première illustration (Fig 3).

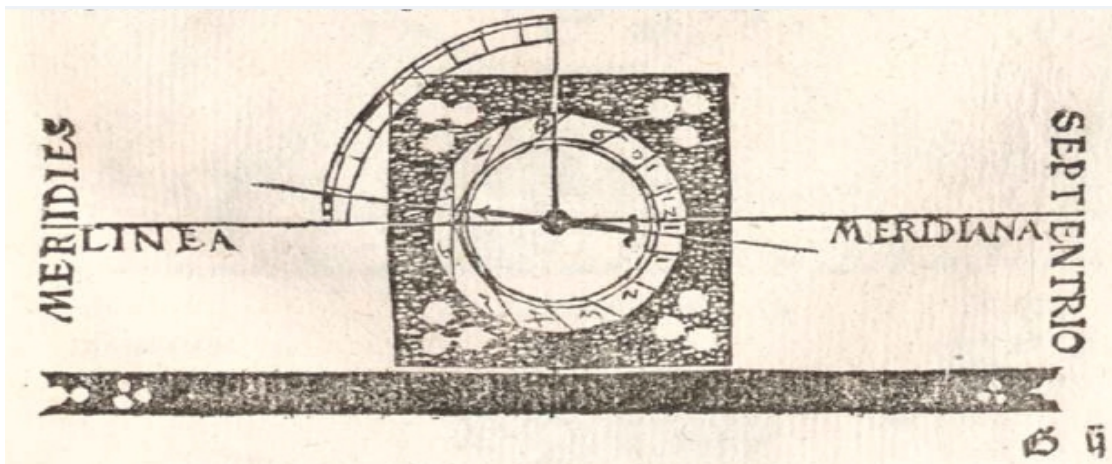


Fig. 3 : Une des plus vieilles illustrations de la déclinaison magnétique, tiré de Apian, Cosmographicus Liber (1524).

Si ce n'est pas Christophe Colomb qui a découvert, en Europe, la déclinaison magnétique, il est probable que ce soit lui qui ait, pour la première fois, noté la variation géographique de ce paramètre (1492). Puis, dès 1536, de Santa Cruz a réalisé en Espagne les premières cartes de déclinaison. À cette époque on espérait déterminer la longitude du lieu, paramètre éminemment critique en navigation, grâce à la déclinaison magnétique locale.

La variation séculaire de la déclinaison n'a été mise en évidence que vers 1633 quand Henry Gellibrand a comparé ses propres mesures avec des mesures anciennes réalisées au même lieu et surtout quand il a attribué les différences constatées à un phénomène géophysique plutôt qu'à des erreurs de mesure (Azpiazu, & Gil 1921).

III) La déclinaison magnétique en Europe du XVI au XVIIIe siècle

A partir de la 1640, les savants vont surveiller systématiquement l'évolution du champ magnétique et notamment de sa déclinaison. Il a été possible de retrouver des mesures antérieures et de reconstituer l'évolution de la déclinaison depuis le milieu du XVIe. La figure 4 synthétise ces mesures (de plus en plus précise avec le temps) à Paris et Londres (voir Cafarella et al. (1992); Barraclough (1995); Soare et al. (1998) ; Korte et al (2009) pour des données, respectivement à : Rome, Edinburgh, la Roumanie, et Munich). Ces données ont permis de caler des modèles numériques qui calculent la déclinaison magnétique en tout lieu du globe pour les périodes historiques (Korte & Constable 2011).

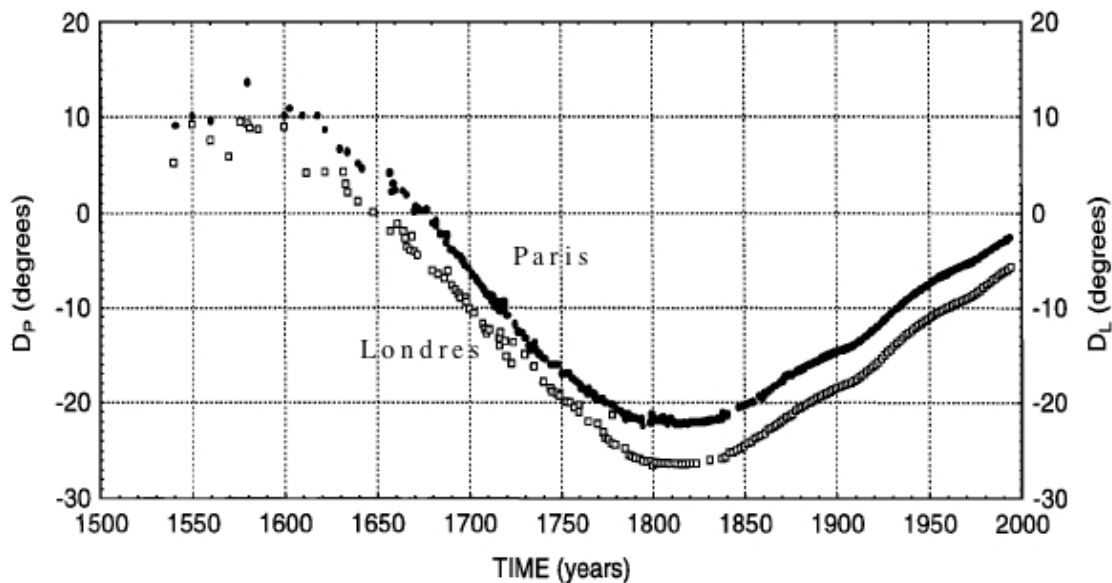


Fig. 4 : Les données historiques de la déclinaison à Paris et Londres (d'après Alexandrescu et al, 1997)

IV) Déclinaison magnétique et cadrans solaires

Au début du XVIe siècle, la notion de déclinaison magnétique et sa variabilité géographique était donc connue. Il faudra attendre le second quart du XVIIe siècle pour que la variation séculaire soit mise en évidence. On devrait donc s'attendre à ce que, dès le début du XVIe siècle, les cadrans portatifs à boussole tiennent compte de la déclinaison magnétique. Dans l'absolu, on devrait même s'attendre à ce que la valeur de cette déclinaison soit modifiable sur les cadrans universels antérieurs au milieu du XVIIe siècle, et sur tous les

cadrans (universels ou non) à partir de cette date !.

Ce n'est évidemment pas si simple et, en dépit du génie de Georg Peurbach (Fig. 2), il a fallu un certain temps pour que les subtilités du magnétisme terrestre soit prises en compte dans la fabrication des cadrans portatifs.

Il y a deux manières de prendre en compte la déclinaison magnétique pour orienter un instrument à boussole (Fig. 5) ; soit :

- positionner un repère vers lequel doit pointer l'aiguille aimantée (Type I, Fig. 5)
- décaler le Nord de la boussole (et les autres indications) de la valeur de la déclinaison (Type II, Fig. 5).

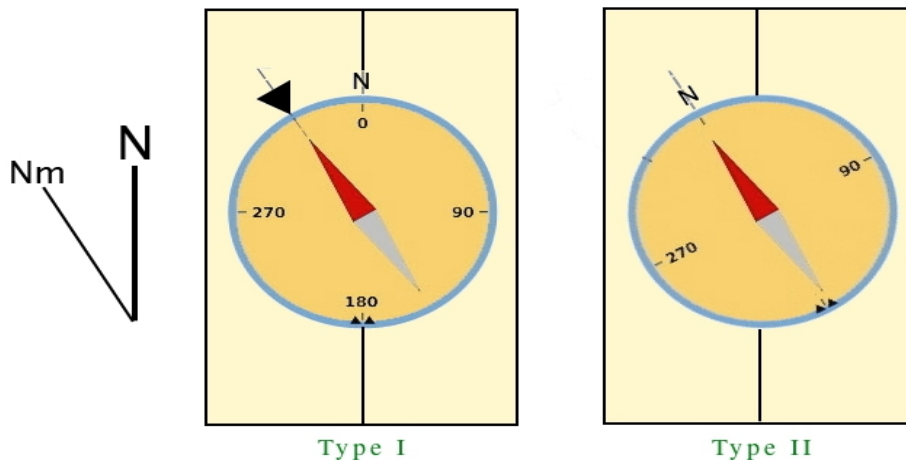


Fig. 5 : Les deux types de corrections de la déclinaison : Type I, la boussole est alignée sur le méridien et un repère indique la déclinaison ; Type II, la boussole est décalée par rotation et son Nord correspond au Nord magnétique.

V) Le XVI^e siècle

A) les traités de gnomonique

Il existe une abondante bibliographie gnomonique datant du XVI^e siècle², mais l'essentiel de ces ouvrages est en latin. Le dépouillement reste à faire ; je ne parlerai ici que d'un des seuls ouvrages en français, qui est le « *Recueil d'horlogiographie, contenant la description, fabrication et usage des Horloges Solaires* » de J. Bullant (1561). Dans le chapitre sur les cadrans équatoriaux, l'auteur signale qu'ils sont universels et qu'ils peuvent être équipés d'une aiguille aimantée (p. 32) pour « *les porter d'une région à l'autre* ». On trouve une autre allusion à l'aiguille aimantée dans le chapitre sur la mesure de l'orientation d'un mur (p. 52). Mais, dans les deux cas, il n'y a aucune mention de la déclinaison magnétique.

B) les instruments

Il existe relativement peu de cadrans portatifs à boussole du XVI^e siècle qui ont été conservés dans les collections privées ou publiques. On ne trouve que quelques dizaines de mentions dans les catalogues classiques (Louvre : Frémontier-Murphy (2002) ; British

² Voir par exemple la « Biblioteca digitale gnomonica » de Nicola Severino ; <http://www.nicolaseverino.it/Siti%20Web/Cinquecentine.htm>

Muséum : Ward (1981) ; Greenwich : Higton (2002) ; Florence : Turner (2007) ...) et dans les synthèses (Higton (2001), Cowham (2011), Delalande & Delalande (2013)). De plus, les instruments préservés datent surtout de la seconde moitié du XVI^e siècle.

Dans de nombreux cas, la photographie ou la description ne donne pas d'information utilisable sur la prise en compte éventuelle de la déclinaison. Quand une photographie existe et que l'angle de prise de vue est favorable, on constate qu'assez généralement la déclinaison magnétique est prise en compte avec une valeur compatible avec l'époque (3 à 15° vers l'Est). Les corrections de Type I ou II semblent globalement aussi fréquentes (Fig. 5).

Certaines boussoles montrent plusieurs repères de déclinaison qui témoignent de correction vers l'Ouest et donc d'une utilisation sur plusieurs décennies (voire largement plus d'un siècle !)³.

Parmi les instruments de ce siècle, l'un d'entre eux paraît remarquable car il est muni d'un repère de déclinaison mobile sous la forme « anneau tournant » (Fig. 6). La date de 1587 est gravée sur l'instrument qui est attribué à Linden sur la base d'homogénéité de forme (R16, Delalande & Delalande 2013, p. 58). Cet instrument est muni d'un cadran horizontal et d'un cadran vertical. Il ne s'agit donc pas d'un instrument « universel » appelé à voyager. Comme la variation séculaire de la déclinaison n'était pas connue à l'époque, on peut s'interroger sur la motivation de ce perfectionnement très en avance sur son temps. Interrogation d'autant plus légitime



Fig. 6 : La boussole du cadran de 1587 à anneau tournant et repère de déclinaison mobile. Ces caractéristiques sont très énigmatiques (extrait d'une photo de Delalande & Delalande (2013) modifiée).

qu'un instrument du même atelier et de même type (R29, Delalande & Delalande 2013, p. 106) ne présente aucun dispositif, même fixe, de correction de la déclinaison.

A ce sujet, il faut en effet noter que si la déclinaison magnétique est prise en compte dans la majorité des instruments du XVI^e siècle, il existe un nombre significatif de cas où aucune correction n'est prévue. Que signifie ce choix du cadranier ? : ignorance ?, acceptation de l'approximatif ?, ou désir du client ? : rien ne permet de trancher.

VI) Le XVII^e siècle

A) les traités de gnomonique

La bibliographie gnomonique est plus abondante au XVII^e siècle qu'au siècle précédent. Mais surtout la proportion d'ouvrage en langues nationales, et donc en français, explose⁴ ! Néanmoins, il apparaît qu'une minorité seulement de ces ouvrages s'intéressent aux

³ Par exemple le cadran R27 de Delalande & Delalande (2013, p. 98) daté de 1599, avec des repères à 10°E (original), 10°W, et 20°W (ajouts tardifs). Autre exemple, le cadran 45 de Higton (2002 p. 87) daté de 1577, avec des repères à 15°E (original) et 15°W (ajout tardif).

⁴ Voir par exemple la « Biblioteca digitale gnomonica » de Nicola Severino ; <http://www.nicolaseverino.it/Siti%20Web/Seicentine.htm> et l'inventaire de Francis Ziegeltrum <http://francis.ziegeltrum.perso.sfr.fr/methododes.html>

cadrans portatifs et évoquent les problèmes de magnétisme. On dispose néanmoins d'un certain nombre de jalons.

Marchant (1616), dans son « *Usage de quelques horloges universels et du cylindre* » évoque certains cadrans à boussole (« *Horloge horizontal universel* » (sic) et « *Horloge universel en forme de croix* ») et comme Bullant (1561), ne fait aucune mention à la déclinaison, ni a fortiori à sa variation géographique ; ce à quoi l'on serait en droit de s'attendre vu le caractère universel des cadrans étudiés.

Par contre Tarde (1621) dans « *Les usages d'un quadrant à l'esguille aymantée* » (Fig. 7) nous dit (p. 13), en parlant de « *la ligne de l'Esguille, qui est peinte au fonds de la boîte* », que « *plusieurs la prennent pour la méridienne & se trompent..* », car « *elle biaise un peu du côté du Levant, ce que les mariniers appellent vulgairement Nordefer. Mais les gens de lettres appellent cela la déclinaison de l'aymant* ». Voilà donc exprimée, pour la première fois dans la littérature gnomonique francophone, la notion de déclinaison magnétique, concept qui ne devait pas être si répandu à cette époque, car l'auteur mentionne le fait que certaines personnes se trompent en ignorant cette notion. Ensuite l'auteur insiste sur le fait qu'il est important de « *sçavoir combien de degrez decline l'aymant en la Province où nous voulons nous servir* (du cadran) ». C'est cette fois-ci la notion de variation géographique qui est affirmée. La suite du texte précise longuement comment établir la méridienne et la déclinaison du lieu selon plusieurs méthodes.

LES VSAGES
DV QVADRANT
A L'ESGVILLE AYMANTEE.
DIVISE EN DEUX LIVRES.

Le premier donne la cognoissance du Quadrant.
Le second, les vsages, vtilitez & seruices qui en peuuent estre tirez; comme de mesurer toutes distances, hauteurs & profondeurs; prendre & rapporter au petit pied toutes sortes de plans; faire la Carte & description d'un pays; & toutes les autres operations de la Bouffole.

Par JEAN TARDE, Chanoine Theologal de Sarlat.



A PARIS,
Chez JEAN GRESSELIN, rue S. Jacques, à l'Aigle d'or,
& au Palais en la Galerie des Prisonniers.
M. D C. X X I.
Avec Privilège du Roy.

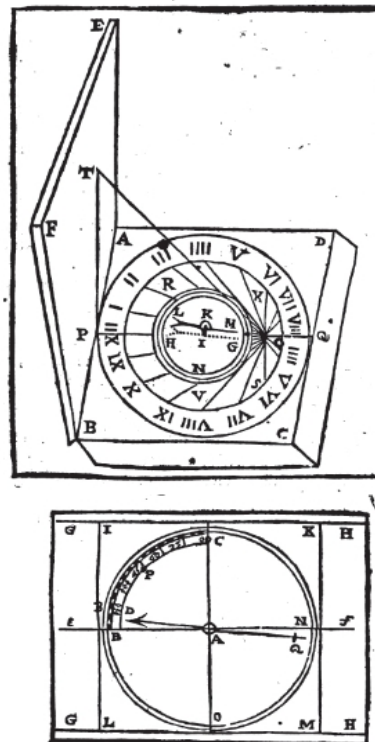


Fig. 7 : Couverture et deux illustrations significatives du traité de Tarde (1621)

Bobyne (1644) dans « *Horographie curieuse contenant diverses méthodes nouvelles et générales...* » (p. 15 et suivantes) dit en gros la même chose dans un style plus concis.

Georges (1660), dans son remarquable ouvrage, sans doute injustement méconnu « *Horologe magnétique elliptique ou ovale nouveau de facile usage...* » , qui fait de lui un des co-inventeur du cadran analemmatique (Mercier 2014), discute également de la déclinaison magnétique et de sa variabilité géographique (p. 180 et suivantes). Il conteste à cette occasion qu’il existe un lien direct entre déclinaison et la longitude (ce qui est vrai), affirme que « *souvent ez lieux voisins d’un mesme Pays distant seulement de 5 ou 6 lieux, on remarque du changement de 2 ou 3 degrez de déclinaison* » (ce qui est faux⁵) et que la déclinaison maximale possible est de 12° (ce qui est également faux). Toujours est-il que George propose de placer un « directoir » sur la face interne du couvercle de ses cadrans qui, dans une certaine mesure, sont universels. Celui-ci est conçu pour être facilement réglable en fonction de la déclinaison magnétique du lieu (Fig. 8)⁶.

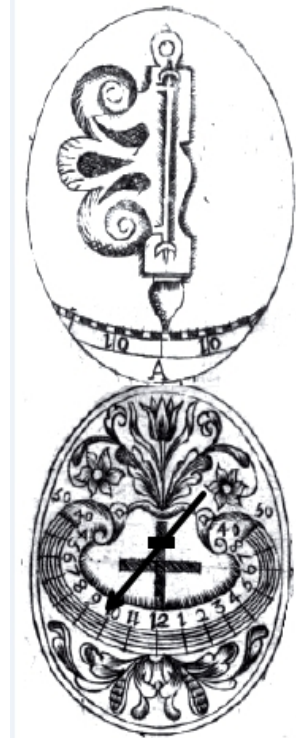


Fig. 8 : Un cadran de Georges (1660) reconstitué à partir des illustrations originales. L’intérieur du couvercle (à droite) accueille un « directoir » qui doit être réglé en fonction de la déclinaison magnétique puis orienté vers le Soleil. L’aiguille du cadran analemmatique préalablement réglé à la date du jour, indique alors l’heure. ►

de Sainte Marie Magdeleine (1665) dans son « *Traité d’horlogiographie, contenant plusieurs manières de construire, sur toutes surfaces, toutes sortes de lignes horaires ...* » nous dit (p. 40) que pour trouver la déclinaison d’un mur, la manière la plus simple est d’utiliser la boussole « *presque seule usitée par les artisans ; cette façon néanmoins est peu assurée, si on ne trouve au préalable la vraye déclinaison de l’aiguille, qui diffère presque en chaque pays* ». La encore on trouve, comme chez Tarde, une dénonciation du fait que certains cadraniers ne tiennent pas compte de la déclinaison magnétique. Ceux-ci dit, en France à cette époque, cette approximation était très acceptable (voir Fig. 4). Plus loin (p. 249) il donne des conseils pour construire un cadran universel (équatorial) portatif ; il évoque la boussole mais ne parle plus du problème de la déclinaison.

La Hire (1698) dans « *La gnomonique ou méthodes universelles pour tracer des horloges solaires ou cadrans sur toutes sortes de surfaces* » est très critique au sujet de l’usage des boussoles sur les cadrans portatifs car « *pour ce qui est des petites boussoles qu’on ajoute à la plupart de ces sortes de cadrans (portatifs), on n’en tire que très peu d’utilité, à cause que l’aiguille aimantée demande une correction continuelle & différente en différents temps.* » (in Préface de l’ouvrage). On notera que l’expression « *correction*

⁵ à moins que Georges ait mené ses investigations au dessus du gisement de fer de Lorraine, très proche de Toul, ville où il résidait et où son ouvrage fut publié. Dans ce cas, de telles anomalies locales sont parfaitement envisageables.

⁶ Les cadrans de Georges partagent avec les diptyques dieppois la particularité de devoir être orienté vers le Soleil ; c’est l’aiguille de l’aimant qui indique l’heure sur une graduation appropriée. La visée du Soleil parallèlement au « directoir » décale d’autant du cadran en fonction de la déclinaison magnétique et corrige de ce fait la lecture de l’heure.

continue & différente en différents temps » semble être la première prise de conscience de la variation temporaire de la déclinaison dans la littérature gnomonique française. Dans le corps du texte, quand il s'agit de présenter des cadrans universels portatifs (p. 220 et 247), l'auteur utilise, en dépit de ce qu'il dit dans sa Préface, une boussole fixée sur l'instrument pour permettre sa mise en œuvre.

Le XVII^e siècle est donc la période où apparaît dans la littérature, la première mention de déclinaison magnétique et de sa variation géographique (Tarde 1621) et la première mention de la variation séculaire (ou plus exactement de fluctuations temporaires). Voyons maintenant les instruments eux-mêmes. Ceux-ci sont plus fréquemment conservés dans les collections publiques ou privées que ceux du siècle précédent.

B) les instruments

On y trouve des cadrans avec des corrections de Type I ou II (Fig.5), et également des cadrans sans dispositif de correction. Contrairement à ce qui se passait au XVI^e siècle, il est probable qu'une part importante de ces cadrans ne soient pas fautifs. En effet, pendant presque la moitié de ce siècle, la déclinaison est restée très faible (inférieure à 5° pendant la seconde moitié du siècle à Paris par exemple, Fig. 4) ; l'absence de correction était admissible pendant ces périodes.

Je n'insisterai ici que sur trois types de cadrans, les cadrans attribuables à Georges (1660), les diptyques dieppois et les Butterfield. Ces derniers, dont la fabrication est à cheval sur XVII^e et XVIII^e siècle seront envisagés plus loin.

Les cadrans solaires de Georges : aucun cadran actuellement connu n'est signé par cet auteur, mais il existe dans les musées quatre instruments qui sont indiscutablement inspirés par son ouvrage (British Museum, 1896,0411.168, Greenwich Museum ASTO220, Musée de Liège 349, Musée de Genève MHS 1850). Hélas, ils ont tous les quatre perdu le couvercle qui devait accueillir le « directoire ». Fred Sawyer (Président de la NASS) m'a aimablement indiqué un cinquième instrument, vendu en 1997 par Christie's et qui a conservé couvercle et son « directoire ». Il est à noter que le catalogue de la vente parle à son sujet de « clinomètre⁷ » ce qui est, selon l'opinion de F. Sawyer que je partage totalement, une erreur (Fig. 9). Enfin, la collection Greppin (dispersée en 1975) contenait un cadran (N° 3014) assez proche de celui de Christie's, il possédait également un « directoire », mais le cadran est marqué par une date très problématique (1604) peut-être gravée tardivement.

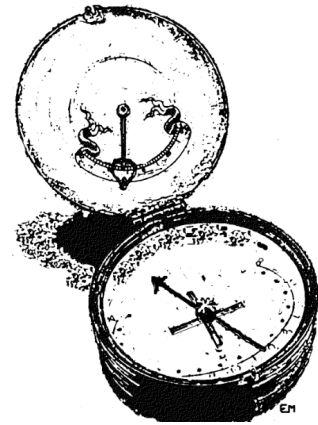


Fig. 9 : Dessin du cadran de Georges vendu en 1997 par Christie's. c'est un des deux cadrans connus qui a conservé son « directoire », clairement visible à l'intérieur du couvercle.

Les diptyques dieppois (le « type Bloud » des catalogues) ont une relation particulière avec la déclinaison magnétique car, selon une opinion largement reprise dans la bibliographie (Rohr 1986, p. 148 ; Turner in Lloyd 1992, p. 102 ; Higon 2001, p. 91 ; Cowham 2011, p. 53 ...etc...), c'est l'augmentation de cette déclinaison à la fin du XVIIe siècle qui a provoqué l'arrêt de leur fabrication⁸.

Comme cela est détaillé dans Mercier (2014) : (1) il était possible de tenir compte de la déclinaison magnétique sur les cadrans dieppois, (2) les cadraniers dieppois étaient conscients de ce fait et l'on connaît au moins 3 instruments qui sont conçus avec une correction (celle-ci est déjà signalée par Lloyd (1992) pour l'un d'entre eux), (3) il y a des hypothèses alternatives beaucoup plus crédibles pour expliquer la fin de la fabrication de ces instruments.

⁷ dispositif permettant de mesurer l'inclinaison d'un instrument par rapport à la verticale (ou à l'horizontale).

⁸ Il semblerait que ce soit Henri Michel, peut être involontairement, qui soit à l'origine de cette fable, c'est en tout cas dans un de ses ouvrages que j'en ai trouvé la première trace (Michel, 1966). On y lit (p. 53) au sujet de cadran de Bloud : « *s'il ne s'est pas répandu autant que le Butterfield ou le cadran d'Ausbourg, c'est peut-être parce qu'il ne pouvait plus être exact quelques temps après son invention ! En effet le principe du cadran de Bloud ne tient pas compte de la déclinaison magnétique, c'est-à-dire de l'angle que l'aiguille aimantée fait avec la direction du Nord vrai. Avant 1666, cette aiguille déviait vers l'Est ; depuis, elle dévie vers l'Ouest* ». Comme on le voit, c'est loin d'être affirmatif (!), d'autant plus que plus loin (p. 56), il signale que les Bloud étaient protestants et qu'après la révocation de l'édit de Nantes, ils durent émigrer. H. Michel précise alors : « *ceci explique peut-être, mieux que mes considérations sur la déclinaison magnétique, la disparition des cadrans de Bloud au XVIIIe siècle* ».

Ceci dit, il serait malhonnête de ne pas remarquer que H. Michel parle très peu de la déclinaison magnétique dans ses ouvrages sur les cadrans portatifs. Dans son article de 1933 (Michel 1933), il fait une discrète allusion à des cycles astronomiques chinois basés sur la déclinaison magnétique ; mais quand (p.164) il évoque le cadran de 1451 illustré à la figure 2 du présent article, il ne mentionne pas la correction de la déclinaison magnétique. Par ailleurs, il n'y a aucune allusion au phénomène dans le catalogue des cadrans portatifs du Musée de Liège de 1952 (réédité sous forme de brochure en 1953 et 1974) ; et une seule mention, retranscrite plus haut dans la présente note, dans l'ouvrage, plus élaboré, sur le même sujet (Michel 1966). Je ne sais comment interpréter un tel silence venant d'un scientifique de premier ordre, ingénieur des mines et auteur de livres scientifiques qui font encore actuellement référence.

Par ailleurs, il faut noter que comme la période de leur fabrication correspond, fortuitement (!), à la période où la déclinaison était très faible ou nulle, il est parfaitement compréhensible de ne trouver que peu d'instruments avec la correction. Enfin, quand elle existe, cette correction est de type II (Fig. 5) et surtout elle est fixe. Cette dernière caractéristique constitue un recul par rapport aux cadrans de Georges (1660), à correction réglable, qui sont les précurseurs des instruments dieppois. Il est vrai que Georges (1660) a conçu un cadran portatif universel, ce qui ne fut jamais l'ambition de Charles Bloud et des cadraniers dieppois (voir Mercier 2014).

VII) Le XVIIIe siècle

Du point de vue qui nous intéresse, ce siècle est particulier car il est caractérisé par une augmentation continue de la déclinaison magnétique qui va atteindre de fortes valeurs en fin de siècle (22° à Paris en 1800).

A) les traités de gnomonique

Comme pour le XVIIe siècle, la bibliographie gnomonique est abondante⁹, mais là encore, ce n'est qu'une partie des ouvrages qui s'intéressent aux cadrans portatifs et donc au géomagnétisme.

Richer (1701), dans « *La gnomonique universelle* » présente (p. 43) la variation de la déclinaison en ces termes « *l'éguille aimantée ne se tourne pas droit aux poles, mais tantost elle décline du septentrion vers l'Occident de quelques degrès, tantost de plusieurs degrès dans le même pays : quelquefois on l'a décliner dans le même endroit & peu de temps après du Septentrion vers l'Orient : en quelques endroits elle ne décline point du tout..* ». Comme dans La Hire (1698), c'est le sentiment d'un phénomène chaotique qui se dégage, mais la variation dans le temps est bien reconnue.

Bion (1709), le célèbre fabricant d'instrument scientifique, a, pour la première fois, dans son « *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique* », une vision lucide de la variation séculaire de la déclinaison (p. 103) : « *en 1610, elle déclinait à Paris de 8 degrez du Septentrion vers l'Orient ; en 1658 elle déclinait point du tout, en 1709, elle décline de 10 degrez 15 minutes vers l'Occident.* ». Dans l'édition de 1725 il actualise ses chiffres (13°W à Paris) et insiste sur la variation géographique. Dans l'édition de 1752, c'est le texte de 1725 que l'on retrouve, mais là encore avec une actualisation des chiffres (17°W à Paris).

Sully, qui était le Maître horloger du Duc d'Orléans, et qui est connu pour son travail sur la première méridienne de l'église Saint Sulpice à Paris, est lumineux de concision quand en 1737, dans « *Règle artificielle du temps* » il écrit (p. 312) : « *la déclinaison de l'aimant est variable en différents temps & en différents lieux* ». Par ailleurs il souligne que chaque année est publié un livre « *Le livre de la connaissance du Temps* » (sorte d'almanach ?) dans lequel est mentionnée la déclinaison observée l'année précédente à Paris. Quelques pages plus tôt (p. 305), dans sa description d'un cadran portatif qui a sa faveur (probablement un cadran équatorial), il insiste sur l'existence, dans la boussole, d'un index réglable pour marquer la

⁹ Encore une fois, voir : la « *Biblioteca digitale gnomonica* » de Nicola Severino ; <http://www.nicolaseverino.it/Siti%20Web/Settecentine.htm> et l'inventaire de Francis Ziegeltrum <http://francis-ziegeltrum.perso.sfr.fr/methodes.html>

déclinaison. C'est, depuis Georges (1660), la première mention de la nécessité d'un tel repère réglable.

Le cheminement scientifique est maintenant achevé, un siècle après la découverte de la variation séculaire de la déclinaison magnétique, les traités de gnomonique intègrent ce phénomène et recommande l'installation d'un index réglable dans la boussole. Mais je voudrais pousser un peu plus loin l'inventaire pour évoquer le traité de Bedos de Celles qui constitue lui-même une sorte d'achèvement.

Bedos de Celles (1760), dans la première édition de son « *Gnomonique pratique ou l'art de tracer les cadrans solaires avec la plus grande précision* » ne s'appesantit pas longtemps sur le phénomène lui-même, il nous rappelle juste (p. 285) que « *la déclinaison de l'aiman .. change assez souvent, & n'est pas la même dans tous les pays* ». Comme Sully (1737), il décrit longuement le cadran portatif qui a sa préférence, mais contrairement à Sully, il illustre ce cadran (Fig. 10). Il insiste, et on le voit sur la figure, que ce cadran est muni d'un index réglable (aiguille de déclinaison selon la terminologie de Bedos de Celles).

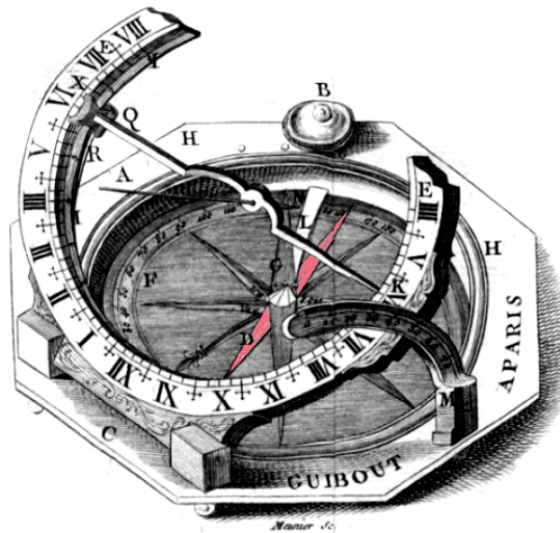


Fig. 10 (page précédente) : Le cadran décrit par Bedos de Celles (1760), il est caractérisé, notamment, par une « aiguille de déclinaison » (D, colorée ici en rose) qui est un index réglable en fonction de la déclinaison magnétique et qui doit s'aligner avec l'aiguille aimantée (G) lors de la mise en œuvre du cadran.

B) les instruments

Contrairement à ce que l'on observe aux siècles précédents, la proportion d'instrument qui ne sont pas munis de dispositif de correction de la déclinaison magnétique est très faible. On peut même se demander si l'absence de ce genre de dispositif ne signe pas une restauration malheureuse. Sans être très fréquents, les index réglables sont bien représentés (exemple : cadrans F13, F14 et H14 de Delalande & Delalande 2013). Des dispositifs originaux sont parfois mis en œuvre, comme ce cadran signé Delure Paris (1/4 du XVIIIe) (Fig. 11) où c'est l'anneau des heures qui tourne autour de la boussole centrale fixe, pour compenser la déclinaison (variante du



Fig. 11 Le cadran ASTO236 de Greenwich, c'est l'anneau des heures (solidaire du style) qu'il faut faire tourner par rapport à la boussole pour corriger la déclinaison (photo : <http://prints.rmg.co.uk/artist/30331/claude-delure>, description dans Higton, 2002).

type II).

J'insisterai particulièrement sur les cadrans Butterfield, qui furent construits en France à partir du dernier quart du XVII^e siècle jusqu'au moins 1760 puisque Bedos de Celles en parle comme d'un sujet d'actualité dans son traité. De nombreux cadraniers qui ont plus ou moins copié le modèle d'origine de Michael Butterfield (1635-1724), sont impliqués dans cette fabrication.

Fig. 12 : Un cadran Butterfield (faces dessus et dessous) privé de sa boussole. On voit clairement la couronne qui sertie la boussole une fois en place. ►



Comme on le constate sur la figure 12, la boussole de ces cadrans est généralement sertie dans une loge grâce à une pièce qui comprend une couronne et qui est fixée par trois vis sur la platine. Il s'agit d'une configuration particulièrement favorable pour positionner de façon décalée, par rapport au Nord, la boussole circulaire, et

de ce fait utiliser une correction de la déclinaison de type II. De fait, cette solution est souvent appliquée sur les Butterfield (A de la Fig. 13). Très curieusement, on va également trouver d'autres mode de correction associés à une boussole réglée sur le Nord géographique. La plus simple est l'ajout d'un simple repère (B, Fig. 13). On va également observer le même genre de repère, mais associé à des graduations limitées à la région septentrionale (C, Fig. 13), ou encore, et c'est le plus rare, on peut noter la présence d'un index réglable (D, Fig. 13)¹⁰. Ces solutions multiples, alors qu'il semble exister une solution évidente (A), posent problème.

¹⁰ L'index réglable semble exister déjà sur les cadrans de la fin du XVII^e siècle : cadran H19 et surtout H18 de Delalande & Delalande (2013), ce dernier étant daté de 1684-1687 par un poinçon.



Fig. 13 : Différents dispositifs de correction de la déclinaison magnétique sur des cadrans Butterfield. A : Rotation de la boussole ; B : présence d'un petit repère ; C : repère + graduation fine à proximité du Nord pour s'adapter à la variation séculaire ; D : Index réglable (« aiguille de déclinaison ») ici en position N-S.

Sans apporter de réponse sur le fond, on remarquera juste que chaque fabricant semble favoriser l'une ou l'autre de ces solutions techniques, c'est du moins ce qui se dégage des écrits de ces fabricants eux-mêmes. Ainsi, Bion (1709), dans sa description du cadran Butterfield (p. 221) parle de « *ligne de déclinaison* ». Lasnier, dans un petit opuscule qui était probablement distribué avec ses cadrans¹¹ et que l'on peut dater de 1735 d'après la déclinaison magnétique contemporaine mentionnée, parle lui de « *ligne qui est au fond de la boussole* ». Baradelle, dans un opuscule¹² du même genre que celui de Lasnier et daté de 1747, parle « *d'une petite flèche qui indique la déclinaison, ou sur un petit index de cuivre que l'on ajoute lorsqu'on veut en payer l'augmentation : cet index s'ajuste sur le degré de déclinaison...* » suggérant ici l'existence d'« option », que le client doit payer en supplément, pour avoir un index réglable¹³ sur les cadrans que l'on achète à ce fabricant.

Au sujet de cet index, Sully (1737) nous précise (p. 317) en parlant des Butterfield que « *..la ligne de déclinaison, étant fixée sur la plupart des anciens cadrans à boussole, elle les rend plus ou moins défectueux, suivant qu'on s'en sert dans les années où la déclinaison est plus ou moins approchante...* ». Cela veut-il dire que les index mobiles ont surtout été utilisés

¹¹ Lasnier : « Description et Usage du cadran au Soleil à boussole », 4 p.

¹² Baradelle : « Description et usage du cadran à boussole universel et portatif » 8p.

¹³ il existe un, ou peut être deux, opuscule du même genre venant de chez Butterfield lui-même, mais je n'ai pas pu m'en procurer de copie.

sur ces cadrans récents par rapport à l'époque où il écrit ? ; il demeure un doute car les Butterfield à index mobile semblent rares dans les collections. Par ailleurs Bedos de Celles (1760 p. 280) nous dit que ces cadrans ont « *une forte petite boussole & (sont) toujours sans aiguille de déclinaison* », ce qui est évidemment abusif, mais doit quand même refléter une certaine rareté de la dite aiguille (ou index réglable).

VIII) Conclusions.

Comme cela a déjà été souligné en introduction, cette étude est préliminaire et les conclusions sont provisoires. Il est manifestement encore nécessaire d'accumuler les données, sur les instruments et les écrits, pour affiner l'analyse. Néanmoins à ce stade, les conclusions suivantes semblent (provisoirement) acceptables.

La déclinaison magnétique, et ses variations géographique et séculaire, ont donc mis un certain temps avant d'être pris en compte dans la fabrication des cadrans portatifs. Plus d'un siècle après la fin de ces découvertes, on est encore loin de voir installé un index réglable sur tous les cadrans portatifs, index pourtant indispensable à la prise en compte des variations de la déclinaison magnétique.

La comparaison entre les conclusions que l'on peut tirer de l'analyse des traités d'époque et des instruments est surprenante :

- d'une part il est clair que les instruments sont en avance sur les traités au niveau :

(1) de la prise en compte de la déclinaison (1451 pour les cadrans (Fig. 2), 1621 pour les traités, du moins en français) ;

(2) de l'intégration d'un dispositif réglable de marquage de la déclinaison (cadrans universels de Georges en 1660 & Butterfield de la fin du XVIIe siècle¹⁴, 1709 pour les traités).

- mais d'autre part :

(1) on a le sentiment que lorsque un progrès est entériné par un ouvrage, les suivants en tiennent compte et il n'y a pas de retour en arrière. Selon cette analyse, les traités de Tarde (1621) et Bion (1709) constituent des étapes importantes.

(2) les progrès n'ont jamais été universels sur les instruments : pendant tout le XVI et XVIIe siècle, on a eut des cadrans sans correction ; et le principe de l'index réglable n'a jamais été adopté sur tous les cadrans, même à la fin du XVIIIe siècle, limite haute de notre étude.

Références bibliographiques

Alexandrescu M., Courtillot V., & Le Mou J.L. (1997) : High-resolution secular variation of the geomagnetic field in western Europe over the last 4 centuries- Comparison and integration of historical data from Paris and London ; Journal of Geophysical Research, 102, B9, p 20245-20258.

de Azpiazu, U. & Gil, R. (1921) : Le magnétisme terrestre ; Journal: Ciel et Terre, Volume 37. Bulletin of the Société Belge d'Astronomie, Brussels, p.84.

Barraclough, D., 1995. Observations of the Earth's magnetic field in Edinburgh, from 1670 to the present day. Tran. R. Soc. Edinburgh Earth Sci. 85, 239-252.

Cafarella, L., DeSantis, A., Meloni, A., (1992) : Secular variation in Italy from historical geomagnetic field measurements. Phys. Earth. Planet. Inter. 73, 206-221.

Crichton M.(1937) : Chapters in the history of terrestrial magnetism, 2, The discovery of the magnetic declination, J. Geophys. Res., 42, 242-280.

¹⁴ Je n'évoque pas ici le cadran de 1587 (Fig. 6) qui demeure mystérieux.

- Korte, M. & Constable, C., (2011) : Improving geomagnetic field reconstructions for 0–3 ka. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 188, 3-4, 247-259.
- Cowham M. (2008) : A study of altitude dials, British Sundial Society, 63 p.
- Cowham M. (2011) : A dial in your poke, 2eme édition, 208 p.
- Delalande D. & Delalande E. (2013) : Cadrans solaires / Sundials ; catalogue d'exposition, Paris, 431 p.
- Frémontier-Murphy C. (2002) : Les instruments de mathématiques XVIIe-XVIIIe siècle. RMN, 368 p.
- Higton H. (2001) : Sundials, an illustrated history of portable dials. Philip Wilson ed., 136 p.
- Higton H. (2002) : Sundials at Greenwich : a catalogue of the sundials, nocturnals and horary quadrants in the national Maritime Museum, Greenwich. Oxford University Press, 463 p.
- Korte M, Manda M, Matzka (2009) : A historical declination curve for Munich from different data sources, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, doi:10.1016/j.pepi.2009.08.005
- Lanza R. & Meloni A. (2006) : The Earth's magnetism, Springer, 278 p.
- Lloyd S.A. (1992) : Ivory diptych sundials 1570-1750, Harvard University Press, 169 p.
- Massé Y. (2009) : De l'analemme aux cadrans de hauteur, édition à compte d'auteur, 96 p.
- Mercier E. (2014) : Cadrans portatifs de Dieppe, *Cadran-Info*, 30, p. 45-65.
- Michel H. (1933) : Les anciens instruments de mathématiques, *Ciel et Terre*, Vol. 49, p. 157-169.
- Michel H. (1952) : Catalogue des montres solaires du Musée de la Vie Wallonne à Liège, *Ciel et Terre*, Vol. 68, p. 253-287.
- Michel H. (1966) : Les Cadrans Solaires de Max Elskamp. 66 p. Musée de vie Wallone, Liège.
- Rohr R. R. J. (1986) : Les cadrans solaires (Histoire, Théorie, Pratique), Ed. Oberlin, 214 p.
- Schmidl P. G. (1997) : Two early arabic sources of the magnetic compass. *Journal of Arabic and Islamic Studies* 1 (1997–98), p.81-132
- Soare, A., Cucu, G., Alexandrescu, M. M., 1998. Historical geomagnetic measurements in Romania. *Annali di Geofisica* 41, 539–554.
- Turner A.J. (2007) : Catalogue of sun-dials, nocturnals and related instruments, Istituto r museo di storia della scienza, Florence, 173 p.
- Ward F.A.B (1981) : A catalogue of european scientific instruments in the departement of medieval and later antiquities of the British Museum. British Museum Publications Limited.





Les heures de prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous.

Eric Mercier

A partir d'un catalogue de 176 tympans d'astrolabes maghrébo-andalous (XIe- XIXe siècle) qui présentent des tracés de courbes de prières, et par comparaison avec des tracés théoriques calculés par un logiciel original pour chaque latitude, cet article essaye de retrouver les anciens paramètres de calcul de ces prières. L'image qui se dégage est très homogène et suggère une remarquable pérennité des conventions utilisées sur près de 8 siècles. Cette conclusion est très différente de celle que l'on peut tirer d'une part des sources écrites et d'autre part des cadrans solaires Tunisiens.

I) INTRODUCTION

Quand on compare le tracé d'un cadran solaire musulman ancien, au tracé théorique que l'on peut obtenir par calcul (voir par exemple Mercier 2014), on est souvent confronté à des décalages de certaines lignes de prière. Ceci peut s'expliquer de diverses façons :

- soit une erreur dans l'analyse (par exemple : non-prise en compte de l'éventuelle distorsion de la photographie ; ou erreur dans l'évaluation de la hauteur du gnomon, souvent absent sur les cadrans anciens),
- soit une erreur originelle de calcul du gnomoniste, ou une erreur de report du cadranier,
- soit une particularité historique locale dans le mode de détermination de l'heure des prières canoniques.

Cette dernière hypothèse n'est pas la plus improbable dans la mesure où les paramètres de calcul de certaines prières ont fortement varié selon les époques, et les pays (cf. infra)¹, et que l'histoire de ces variations reste à écrire. Pour illustrer ce problème, on peut citer Janin (1977) qui sur la base d'un cadran solaire (Grande mosquée de Kairouan) et d'un astrolabe quadrant tunisien (conservé à la BNF Paris) a été amené à émettre l'hypothèse de l'existence d'une règle particulière du calcul de Zuhr en Tunisie².

D'une manière générale, l'analyse du tracé des cadrans solaires islamiques anciens serait grandement facilitée si l'on disposait d'une source historique indépendante expliquant le calcul des heures de prières selon le contexte historico-religieux. L'analyse des manuscrits anciens n'est manifestement pas assez engagée pour qu'une telle synthèse ait pu être proposée. Il m'a semblé que l'étude des astrolabes, souvent bien datés et bien localisés, pouvait apporter des éléments utiles. En effet, les astrolabes musulmans, et spécialement ceux originaires de l'espace maghrébo-andalous (occident musulman), présentent très fréquemment des tracés relatifs aux prières canoniques (Fig. 1).

¹ Actuellement, encore, le calcul de Fajr et Isha par exemple, diffère fortement selon l'obédience musulmane à laquelle on se réfère (voir Annexe 1 de Mercier, 2014).

² Selon l'hypothèse de Janin (1977), en Tunisie, Zuhr commencerait quand l'ombre d'un gnomon vertical (de longueur G) atteint la longueur de son ombre à midi solaire (Hm) plus 1/3 de sa hauteur (soit : ombre = Hm + 0,33 G).

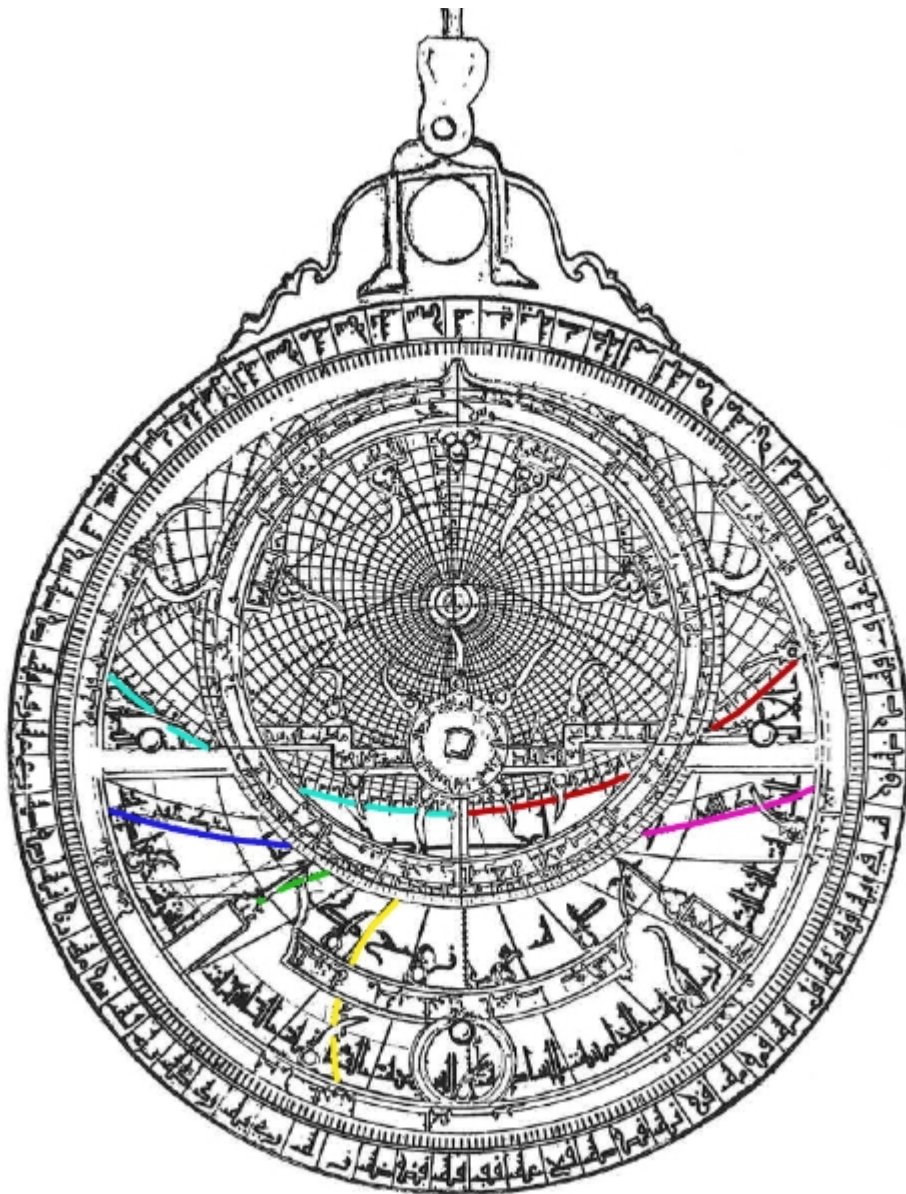


Fig. 1 : L'astrobale de Abul Hassan Ali et Abd-Alla Mohammad (1543 JC).
Les courbes de prières (surlignées par une couleur conventionnelle : voir Fig. 2) sont inscrites sur le tympan que l'on observe à travers l'araignée (dessin d'après Gunther 1976, p. 294 modifié).

II) LES PRIERES DE L'ISLAM.

Il y a cinq prières canoniques dans la religion musulmane, et ce sont des critères d'astronomie solaire qui permettent de fixer le début, et la fin, de chaque période favorable à chacune de ces prières. Dans le détail, et pour certaines de ces prières, l'accord ne s'est jamais fait sur la définition précise des critères. La figure 2 va me permettre d'illustrer le mode de calcul des instants encadrant les périodes favorables, et sa variabilité.

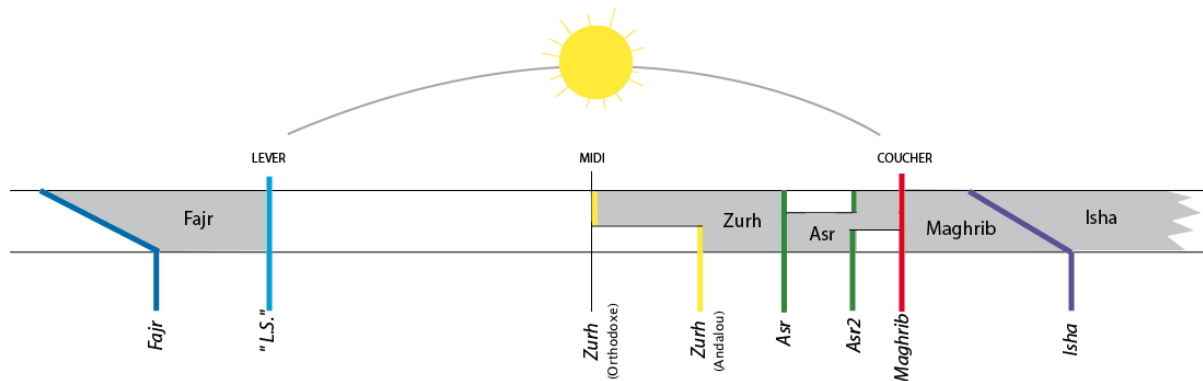


Fig.2 : Les prières de l’Islam (d’après Mercier (2014) complété) ;
 les couleurs des moments de début et fin seront homogènes dans tout l’article.

Zuhr ; actuellement la majorité des musulmans fixent le début de cette prière à « quelques » minutes après midi solaire (Zuhr « orthodoxe »). Dans le domaine maghrébo-andalou ancien, on a considéré que Zuhr devait commencer quand l’ombre d’un gnomon vertical (de longueur G) atteignait la longueur de son ombre à midi solaire (H_m) plus $\frac{1}{4}$ de sa hauteur (soit : ombre = $H_m + 0,25 G$). Cette règle fut énoncée pour la première fois par al Biruni au Xe siècle JC en Afghanistan/Ouzbékistan (Kennedy 1976). La manière dont elle a pu se répandre dans l’occident musulman pour finir par être considérée, dès le XIe siècle, comme une règle typiquement « andalouse » (en fait maghrebo-andalouse : King 2014, p. 205 & 549) demeure un mystère. Dans cette étude, j’ai envisagé une troisième manière de calculer Zuhr : c’est celle que Janin (1977) a cru pouvoir mettre en évidence et qui serait, selon lui, typiquement tunisienne (voir note infrapaginale 2).

Asr ; c’est la prière la plus importante du rite, son début commence quand l’ombre d’un gnomon est égale à $H_m + G$. L’instant de Asr second, ou **Asr2**, est marqué par l’instant où l’ombre du gnomon est égal à $H_m + 2G$. Cet instant est considéré par certains musulmans comme le vrai début la période de prière (rite hanafite moderne), ou par d’autres comme la fin de cette période (voir infra) mais la majorité des musulmans n’en tient pas compte.

Maghrib débute au coucher du Soleil.

Isha débute quand le Soleil est à une certaine hauteur sous l’horizon. Des valeurs allant de -12° à -20° (voir plus ?) ont été retenues et sont encore retenues selon les obédiences ou autorités concernées.

Fajr ; le début de cette période, à l’aube, est également défini par une hauteur du Soleil sous l’horizon et, comme pour Isha, cette hauteur est très variable selon les époques et les lieux (avec des valeurs allant de -12° à -21°). On notera que selon la tradition ancienne qui considère que l’aube dure plus longtemps que le crépuscule, la valeur angulaire caractéristique de Fajr est souvent plus élevée, en valeur absolue, que celle de Isha (Ferrari 2011, p. 91).

III) METHODOLOGIE DE L’ETUDE

J’ai développé un logiciel qui dessine le tympan d’un astrolabe planisphérique pour une latitude donnée. Ce qui est original c’est que le programme dessine les différentes

variantes possibles pour chacune des prières ; leurs tracés coexistent donc sur le tympan « numérique » ou « modèle » (Fig. 3).

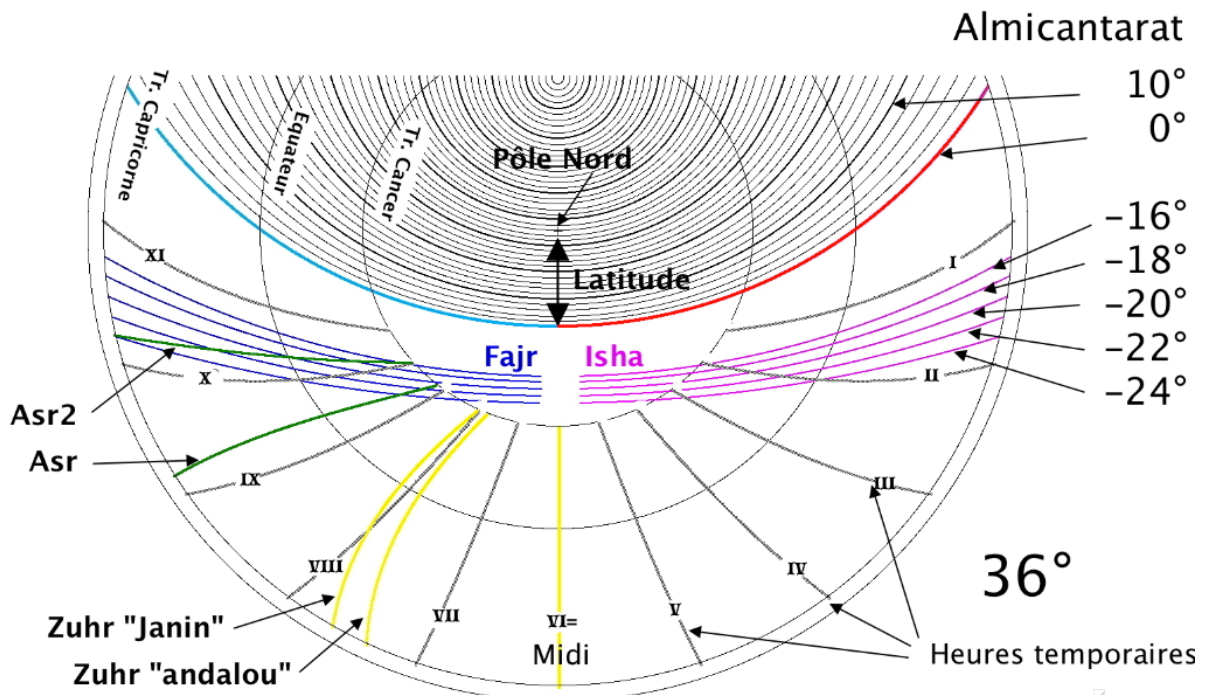


Fig.3 : Exemple d'un modèle de tympan calculé pour 36°. On note :

- le tracé du pôle Nord, de l'équateur et des tropiques.
- les almicantarats correspondants à la période diurne (en noir en haut de la figure, avec une équidistance de 2°, les azimuts ne sont pas représentés sur cette figure par soucis de clarté). Une partie de l'almicantarats 0° correspond à Maghrib, l'autre partie au « Lever du Soleil » qui n'est pas une prière mais qui fixe la fin de la période de Fajr.
- les almicantarats correspondants à des hauteurs solaires de -16° à -24° qui caractérisent largement les variantes de calcul des prières de la nuit (Isha et Fajr).
- Puis, en utilisant un autre système de projection (c'est-à-dire le renvoi, par symétrie axiale, des tracés qui suivent et qui devraient se trouver en haut du tympan³) :
- les heures temporaires (I à XII)
- les lignes correspond aux trois calculs possible de Zuhr (le Zuhr orthodoxe correspond au midi solaire, soit la 6^e heure temporaire)
- les tracés de Asr et Asr2.

Les différents tracés sont très dépendants de la latitude choisie (Fig. 4) ; celle-ci est donc un élément critique. Aussi faut-il insister sur le fait que la latitude d'un tympan d'astrolabe est toujours connue, soit par l'inscription (retranscrite et traduite sur la notice du catalogue), soit par lecture directe de l'angle entre le pôle Nord et l'almicantarats 0° (Fig.3). Par comparaison entre la photo du tympan et la modélisation à la même latitude, il est possible de « choisir » la représentation adéquate sur la modélisation et par là, les paramètres de calcul utilisés par le concepteur de l'astrolabe (Fig.5)⁴.

³ Voir : Michel (1976) ; D'Hollander (1999) ; Morrison (2007)

⁴ Pour des raisons expliquées plus loin, la précision de la méthode pour les prières de la nuit (Fajr et Isha) reste limitée à +/- 1°.

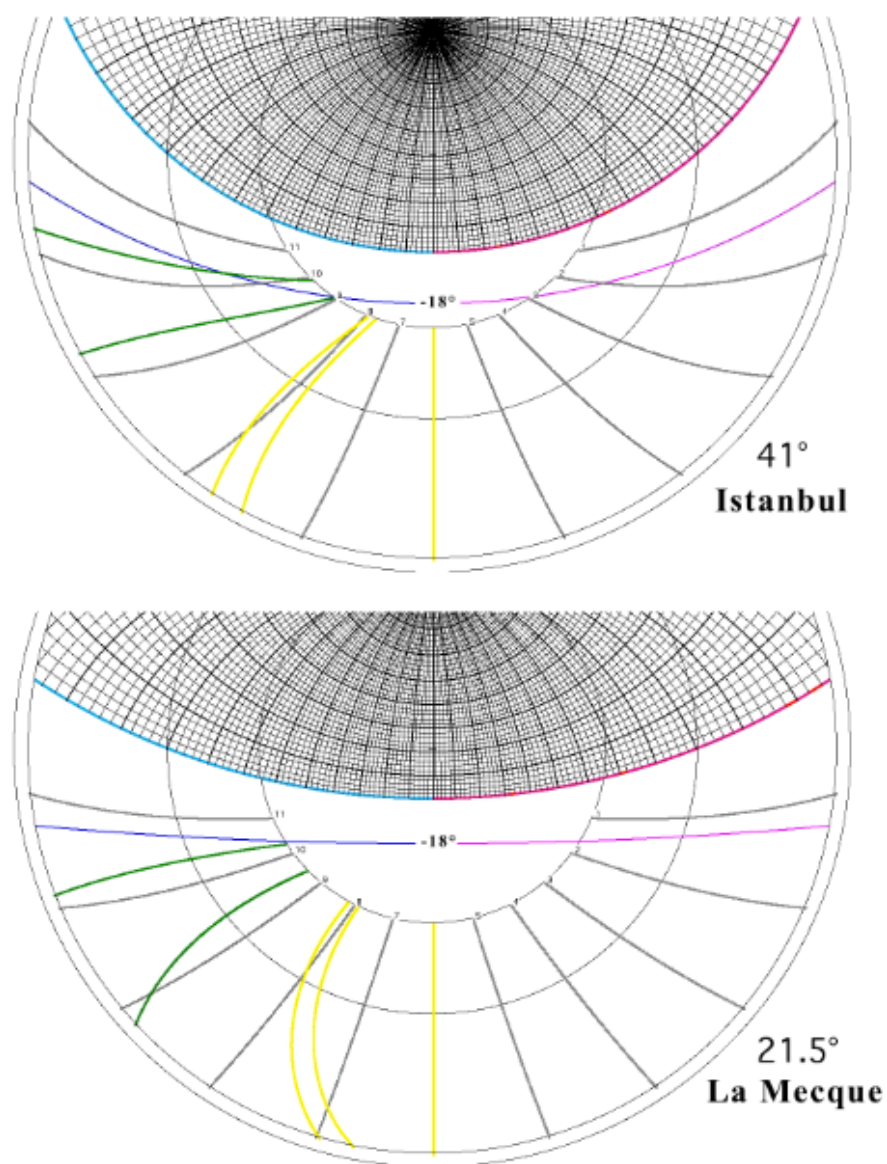


Fig. 4 : Modèles de tympan pour Istanbul et La Mecque (les almicantarats des prières de la nuit sont limités au seul -18° pour faciliter la comparaison). On remarque que, selon la latitude, les tracés de prières (en couleur) interceptent les autres lignes (tropiques, équateur, heures temporaires) à des endroits très différents.

J'ai étudié, grâce à cette méthode, 176 tympan qui portent au moins une indication de prière et qui sont issus de 40 astrolabes différents. Ces instruments sont principalement présents dans des catalogues de collections publiques ou privées⁵ et proviennent tous de l'occident musulman. À partir de cette analyse, je propose une base de données (BDD) reproduite en annexe et qui détaille, outre les caractéristiques pertinentes des instruments et des tympan, les heures de prières représentées et les paramètres de calcul déduits grâce à la méthode proposée.

⁵ Sources utilisées pour constituer la BDD : Brioux (1980) ; Cleempoel (2005), D'Hollander (1999), Frémontier-Murphy (2002), Gibbs & Saliba (1984), Gunther (1976), King (2014), Pingree (2009), Samsó et al (1995), Vernet J. (1992), MHS Oxford (2015)

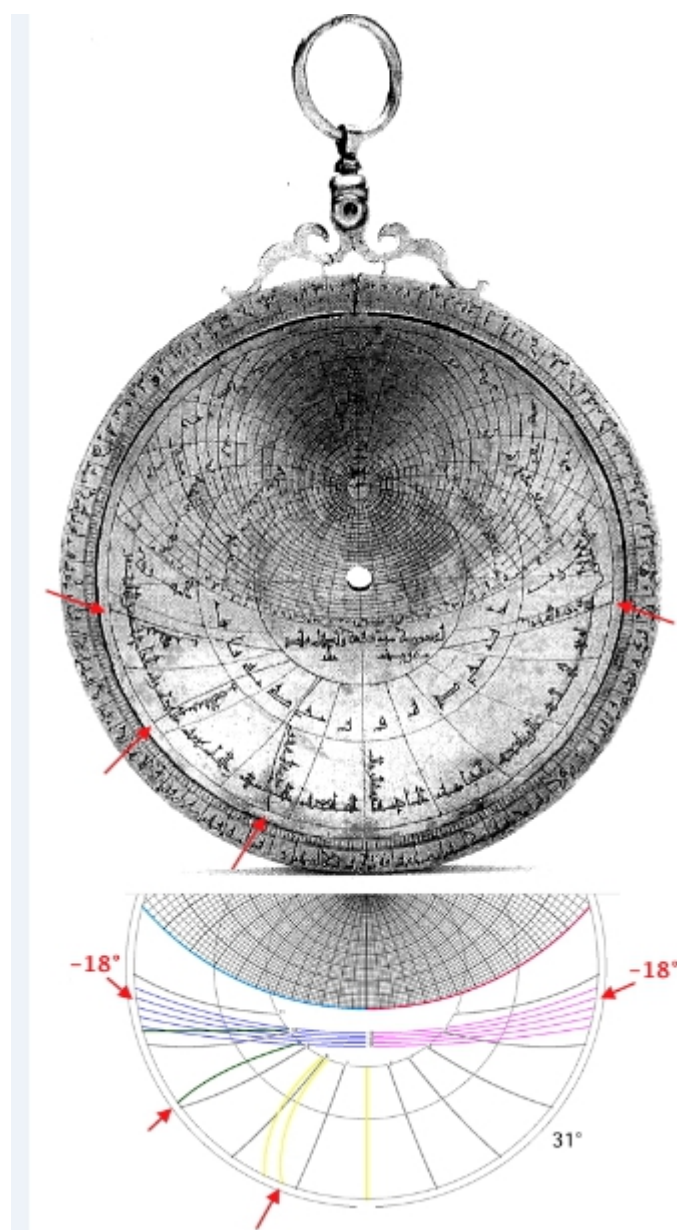


Fig. 5 : Exemple d'application de la méthode sur le tympan à 31° de l'astrolabe du Musée de Toulouse (présenté ici sur sa « mère »). Les prières représentées sont : Maghrib, Isha (-18°), Fajr (-18°), Zuhr (andalou), et Asr.

IV) ANALYSE DE LA BASE DE DONNEES

La répartition temporaire de l'échantillonnage⁶ de la BDD est très hétérogène (Fig.6) avec une surreprésentation au début du XIIIe siècle et au début de XVIIIe siècle. On remarquera que cette répartition est assez proche de celle de Price (1955) (Fig.7) qui porte sur des astrolabes complets et sur une emprise géographique plus vaste puisqu'il s'agit de tout le monde musulman.

⁶ En fait de la partie bien datée de la BDD, soit 136 tympan sur 176.

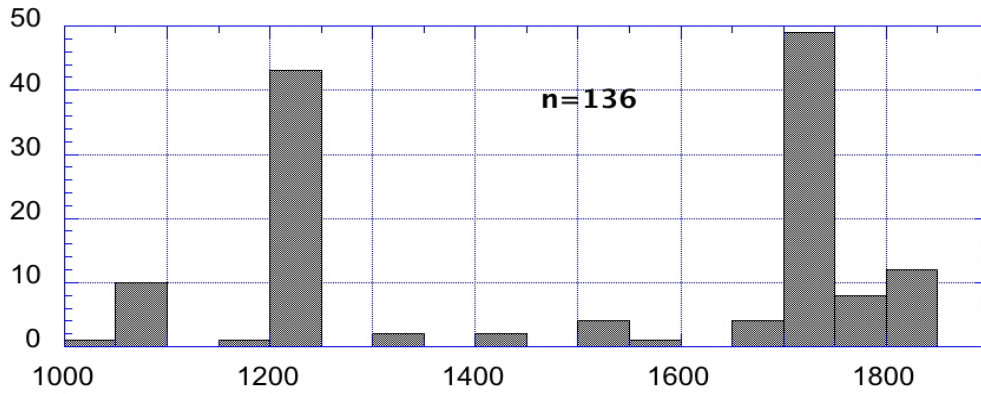


Fig.6 : Répartition temporelle de la date de construction des astrolabes accueillant les tympans étudiés.

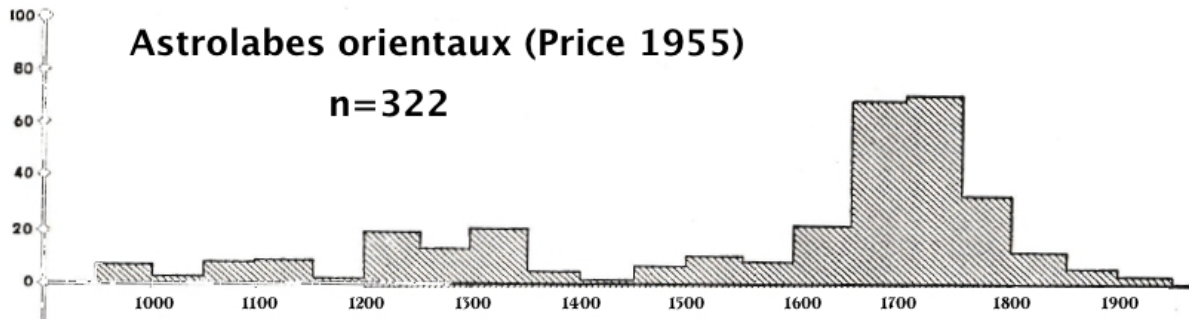


Fig.7 : Répartition temporelle de la date de construction des astrolabes orientaux de l'inventaire de Price (1955).

Sur le plan géographique, l'échantillonnage de la BDD inclut une majorité de tympans confectionnés pour les latitudes de l'occident musulman (31° à 40°), mais on note également une forte représentation de latitudes plus basses (La Mecque à 21,7°) et plus hautes (jusqu'à 45° : latitude de Bordeaux) (Fig.8).

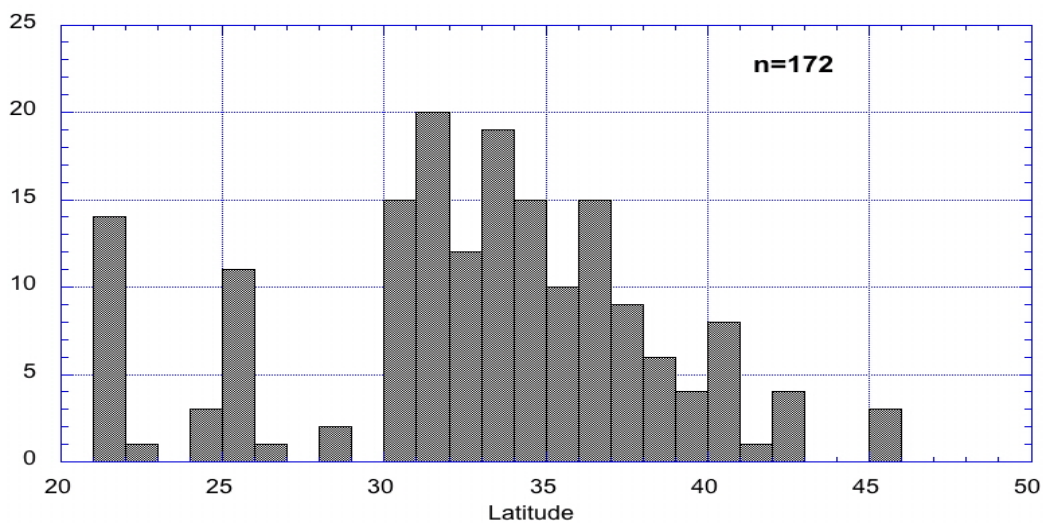


Fig.8 : Répartition de la latitude des tympans de la BDD.

V) LES PRIERES ET LEURS MODES DE CALCUL D'APRES LES ASTROLABES

Dans 3,4% des tympan, on observe un tracé de **Zuhr** qui évoque le tracé obtenu par la méthode proposée par Janin (1977), caractéristique, selon lui, de la Tunisie. Or les astrolabes des tympan en question sont majoritairement marocains. Par ailleurs, ils sont parfois associés, dans le même astrolabe, à d'autres tympan dont les tracés sont franchement erronés, voire aberrants⁷ (Fig. 9). Il semble donc que les tracés de type « Janin » ne soient qu'une forme de tracé erroné et qu'il n'y ait pas lieu de retenir la proposition de cet auteur à ce sujet. Les tracés de type « Janin » et les tracés erronés représentent 9,1% des tympan, ce qui illustre une certaine imprécision dans quelques instruments.

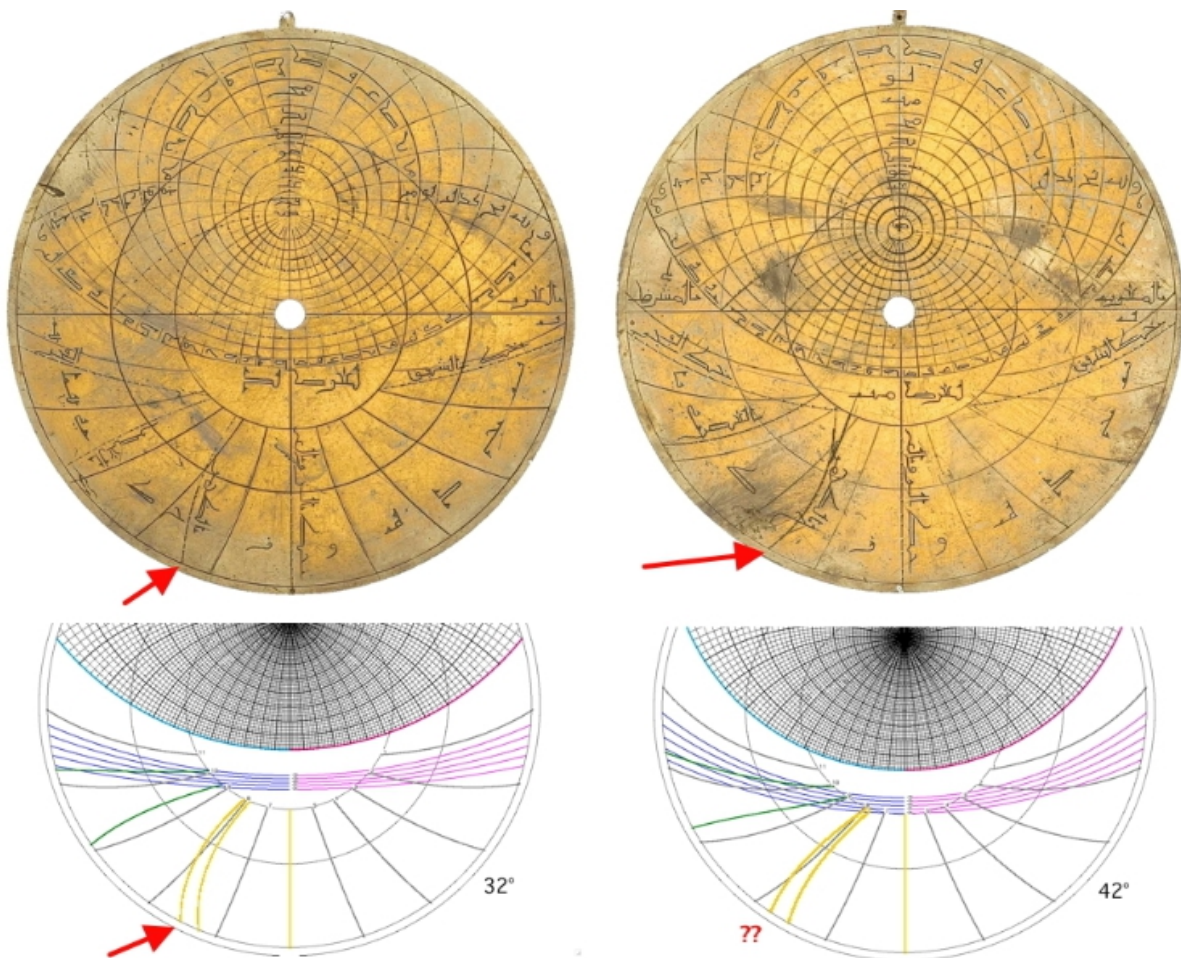


Fig.9 : Deux tympan de l'astrolabe 53556 du Musée d'Oxford (32° et 42° de latitude). L'un présente un tracé de Zuhr de type « Janin » et l'autre un tracé aberrant. Le tympan à 45° de même instrument (non illustré) présente également un tracé de Zuhr erroné.

Dans 76,1% des tympan, c'est la tracé "andalou" de Zuhr qui apparaît.

Dans 14,7% des tympan, on n'observe aucun tracé aux environs de la 8e heure temporaire, ce qui pourrait suggérer que c'est le tracé « orthodoxe », confondu avec la 6e heure temporaire, qu'il faut considérer. Ce n'est pas si simple, car dans ces tympan sans Zuhr

⁷ Les tracés erronés correspondent, dans la BDD, à la colonne «Zuhr autre ».

andalou, il n'y a jamais non plus de ligne de Asr. On a donc plutôt l'impression que les prières de la journée ne sont pas représentées.

Dans 85,3% des tympan, on relève une courbe de **Asr** très correctement tracée (je n'ai pas observé de tracé erroné pour cette prière). Comme mentionné plus haut, Asr est toujours associé, dans un tympan donné, à Zuhr « andalou » ou à une de ses formes erronées ; il n'est jamais associé au seul Asr « orthodoxe ».

Asr2 n'apparaît que dans 6,8% des tympan. Il est remarquable de constater qu'il s'agit exclusivement d'instruments du XIe siècle (Fig.10). Selon la traduction de l'inscription reproduite dans les notices des collections, Asr2 fait référence dans tous les cas, à la fin de la période favorable pour la prière Asr.

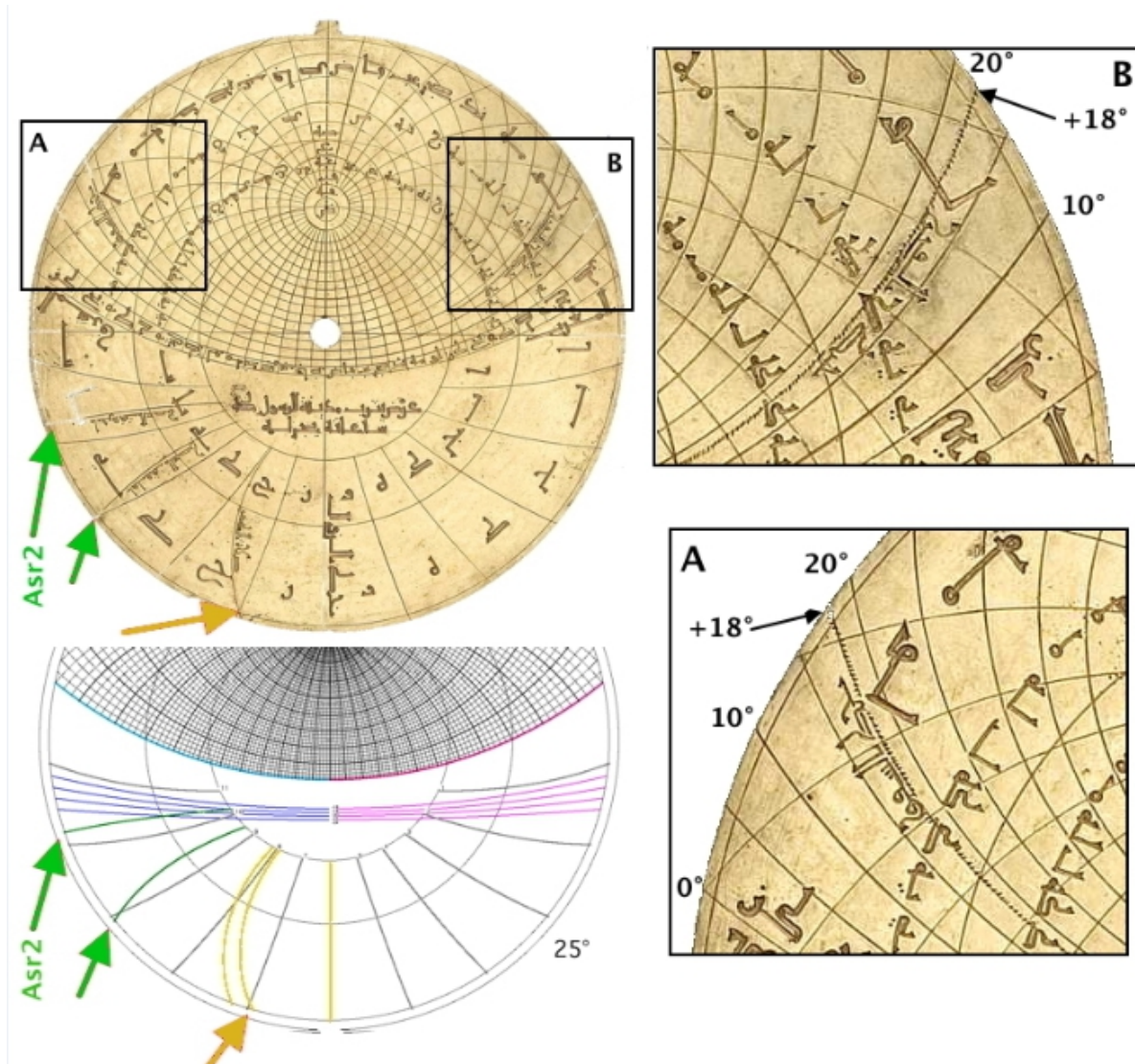


Fig.10 : Le tympan à 25° de l'astrolabe 55331 du Musée d'Oxford (référéncé, dans le catalogue et de façon erronée, comme un tympan à 36°). On remarque le tracé de Asr2. Par ailleurs, l'almicantarats de hauteur négative qui devrait représenter les prières de la nuit est absent et remplacé par un almicantarats de même valeur absolue, mais positif (encadrés A et B).

Les courbes de **Isha** et **Farj** sont toujours présentes, mais sous des formes variées. Dans 83,6% des cas, il s'agit d'almicantarats de valeur négative (comme sur la figure 3). Dans les autres cas, ces courbes sont remplacées par un almicantarats de même valeur absolue, mais positif (fig.10)⁸. Cette solution s'observe sur tous les instruments du XIe siècle, mais aussi sur quelques tympan plus récents (jusqu'au XVIIIe siècle).

Lors de la comparaison des lignes de Fajr et Isha avec la modélisation, on constate que le résultat est différent si l'on examine l'intersection des almicantarats avec le tropique du Cancer ou avec celui du Capricorne. Des différences de 1 ou 2° sont fréquentes. J'ai systématiquement choisi la moyenne et j'ai considéré que la valeur mesurée avait une précision de l'ordre de +/-1°.

Si on examine les histogrammes de répartition de la valeur de ces courbes (Fig.11) on constate, d'une part que la répartition est unimodale et très resserrée avec un étalement de l'ordre de la précision de mesure, et d'autre part que, pour les deux prières, le pic est centré à -18°. En d'autres termes, (1) il y a un consensus des facteurs d'astrolabes, à travers les siècles, sur la valeur angulaire des prières de la nuit et (2) il n'y a pas de différence de durée entre l'aube et le crépuscule. Ce dernier point, qui d'après la BDD, ne souffre pas d'exception, apparaît comme une spécificité des astrolabes de l'occident musulman ; ailleurs ce n'est pas le cas (Fig. 12).

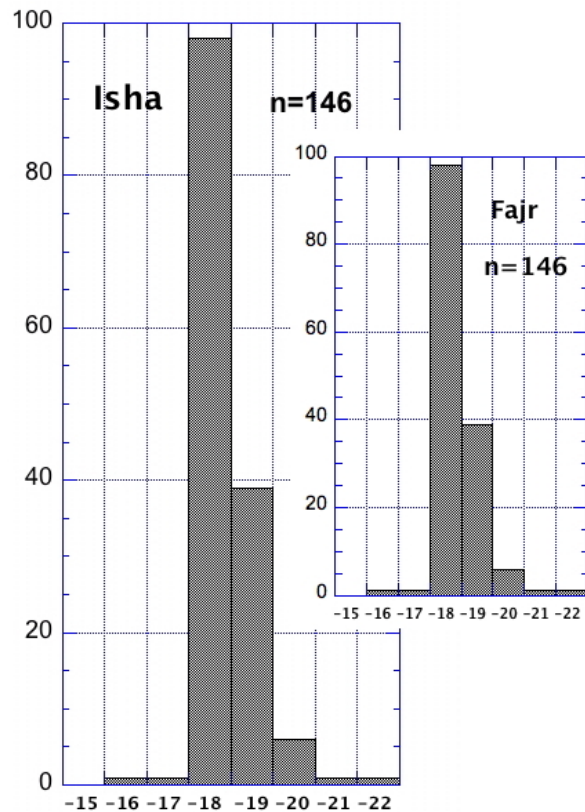


Fig.11 : Histogrammes de répartition de la hauteur angulaire caractéristique des deux prières de la nuit ►

VI) CONCLUSIONS

Le but de cette étude était de fournir un cadre aidant à l'interprétation des cadrans islamiques du Maghreb, et notamment des cadrans Tunisiens. Sur ce point particulier, on retiendra que :

- l'hypothèse de Janin (1977), selon laquelle il existerait un mode de calcul spécifique de Zuhr en Tunisie, semble devoir être définitivement abandonnée. Il est à noter que Janin n'avait travaillé que sur deux instruments et que lui-même insistait sur le fait qu'aucune source écrite ne corroborait son hypothèse.

⁸ En pratique, l'utilisation de ces almicantarats positifs pour marquer les prières de la nuit demande plus de manipulations et plus de calculs que la lecture directe que permettent les almicantarats négatifs.

Fig.12 : Pour comparaison : un astrolabe NON-maghrebo-andalou (Egypte du XVIIe siècle) où les prières de Fajr et Isha ne sont pas représentés à la même hauteur. Notez que les courbes d'heures temporaires (flèches en pointillé rouge), qui ne correspondent pas au même système de projection, ne servent ici qu'à illustrer graphiquement la non-symétrie des prières de la nuit. ►



De plus, on notera que :

- sur les astrolabes, une seule valeur de hauteur du Soleil (-18°) est retenue pour Fajr et Isha (MAIS sur les cadrans Tunisiens il semble y avoir une variabilité, et surtout, il y a parfois sur le même instrument, une différence entre les angles de Fajr et d'Isha ; Jarray & Mercier, en préparation).

- quand Asr est présent sur un tympan, on y observe aussi Zuhr « andalou », (MAIS sur les cadrans Tunisiens, cette

association commence à disparaître dès le début du XVIIe I siècle ; Asr est alors associé à Zuhr « orthodoxe » ; Jarray & Mercier 2015 par exemple).

- Asr2 est spécifique des astrolabes du XIe siècle (MAIS en Tunisie, on ne trouve cette indication que sur des cadrans du XVIIe siècle ; Jarray 2011 n° 9 & 11).

- sur les astrolabes, il n'y a pas de mention des prières non canoniques (MAIS sur les cadrans Tunisiens, il y a plusieurs indications concernant Duha et Tahib ; Mercier 2014 par exemple).

Il faut donc bien constater que, plutôt que d'éclaircir le problème des heures de prières sur les cadrans solaires islamiques Tunisiens, cette étude augmente la confusion et pose de nombreuses et nouvelles questions !

Si l'on limite les conclusions au domaine des astrolabes musulmans, on remarque que dans les études antérieures, les auteurs insistent beaucoup sur les informations tirées de l'araignée (liste d'étoiles) et sur des considérations astronomiques. Les lignes de prières sont, au mieux, mentionnées, mais jamais caractérisées et remises dans une perspective historique

ou religieuse (King 1999). La présente étude semble constituer le premier essai de synthèse sur les heures de prières des astrolabes musulmans maghrébo-andalous.

L'image qui se dégage est très homogène et suggère une remarquable pérennité des conventions utilisées sur près de 9 siècles, aussi bien en ce qui concerne Zuhr (Zuhr andalou) que les prières de la nuit (Fajr et Isha à -18°) pourtant réputées pour les fluctuations de leur mode de calcul (Fig.2). La seule évolution mise en évidence concerne l'abandon de Ars2 après le XIe siècle.

Références bibliographiques

- Brieux A. (1980) : Catalogue de la vente de la collection Linton ; Drouot, Paris. 196 p.
- Cleempoel K. V. (2005) : Astrolabes at Greenwich, Oxford University Press, 339 p.
- D'Hollander R. (1999) : L'Astrolabe, Histoire, théorie et pratique. Institut océanographique ed. 383 p.
- Ferrari G. (2011) : Le meridiane dell'antico islam, édition à compte d'auteur 536 p.
- Frémontier-Murphy C. (2002) : Les instruments de mathématiques XVIe-XVIIIe siècle. RMN, 368 p.
- Gibbs S. & Saliba G. (1984) : Planispheric astrolabes from the National Museum of American History ; Smithsonian Institution Press, 230 p.
- Gunther R.T. (1976) : Astrolabes of the world, vol. 1 & 2, Holland Press ed., 609 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.
- Jarray F. (2011) : «Les cadrans solaires islamique de Tunisie : essai de typologie préliminaire», *Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu*, Karabük Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Turquie, p. 155-200.
- Jarray F. & Mercier E. (2015) : Cadrans de la Grande Mosquée al-Zaytûna, Cadran Info N° 31, p. 53-68.
- Kennedy E.S. (1976) : The exhaustive treatise of shadows by al-Biruni ; 2 vol., Alep.
- King D.A. (1999) : "On the history of astronomy in the medieval Maghrib", in *Études Philosophiques et Sociologiques Dédiées à Jamal ed-Dine Alaoui*, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Dhar El Mahraz - Fès, N° Spécial 14 (Département de Philosophie, Sociologie et Psychologie), Fez, pp. 27-61
- King D.A. (2014) : In synchrony with the heavens , volume 1& 2 Brill ed, 930 p. + 1066 p.
- Mercier E. (2014) : Cadrans islamiques anciens de Tunisie, Cadran-info, 29, p. 53-65
- Michel H. (1976) : Traité de l'astrolabe ; Alain Brieux ed., 202 p.
- MHS Oxford (2015) : site web : https://www.mhs.ox.ac.uk/astrolabe/catalogue/categoryReport/Place=1&list_size=500.html
- Morrison J. (2007) : The Astrolabe ; Janus ed, 438 p.
- Pingree D. (2009) : Eastern Astrolabes, Alder Planetorium and Astronomy Museum, 268 p.
- Price D.J. (1955) : "An International Checklist of Astrolabes", Archives Internationales d'Histoire des Sciences, 8, 243-263, 363-381
- Samsó J. et al (1995) : Al Andalus, El legado científico, exposition Ronda, 142 p.
- Vernet J. et al (1992) : El legado Científico Andalusi, Exposition Madrid, 340 p.



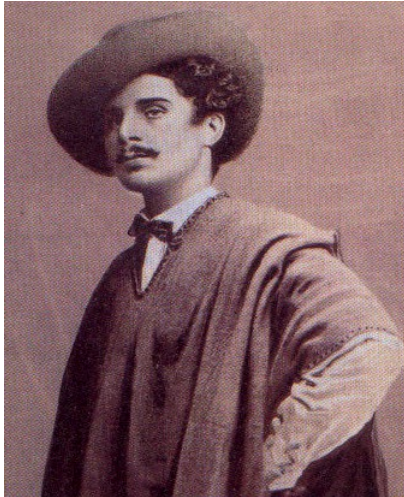


Cadran de guerre d'Albertis

Giorgio Mesturini

Les œuvres gnomoniques du capitaine Enrico d'Albertis et en particulier ses cadrans patriotiques réalisés durant la « grande guerre ».

Né a Voltri (Gènes) en 1846, le capitaine Enrico d'Albertis est mort à 86 ans à Gènes (1932). Issu d'une noble et riche famille, il avait de grandes passions : les voyages et la découverte...



Il s'est enrôlé dans la Marine Militaire, où il est devenu officier avec le grade de capitaine. Il quitta bientôt la Marine pour se consacrer exclusivement à ses voyages. Il a parcouru le monde entier avec tous les moyens disponibles à l'époque : en vélo, à pied, à la voile, en bateau à moteur. Avec son voilier il a touché tous les ports de la Méditerranée faisant de nombreuses



croisières et régates.

En 1869, à 23 ans, il était deuxième lieutenant à bord du navire Emma D, un des 40 navires autorisés à transiter par le canal de Suez dans la journée d'ouverture. Il en écrivit une chronique détaillée très intéressante.

En 1877, il fait un voyage de plaisance autour du monde, en visitant l'Inde, Singapour, Bornéo, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Chine, le Japon et les États-Unis. De chacun de ses voyages il rapporté de nombreux articles, cartes, armes, vêtements, qui sont maintenant exposés dans le Musée du Château de Montegalletto, à Gènes.

En 1896, ce fut un deuxième voyage autour du monde, visitant l'Afrique du Sud, Tonga, Samoa et les îles Marquises.

Il fera son troisième tour du monde en 1910 avec l'Égypte, l'île de Ceylan, la Malaisie, l'Australie de l'ouest et l'Amérique du Sud.

Le Capitaine d'Albertis à la barre de son voilier au cours d'une traversée de l'Atlantique ►



Les activités gnomoniques du Capitaine sont concentrées au début des années 1900, lorsqu'il utilisa sa profonde connaissance astronomique dans la construction d'une centaine de cadrans solaires, généralement gravés sur plaque de marbre.



Une caractéristique des cadrans d'Albertis était le style en "pointe de lance avec trou".

A droite, un des premiers cadrans du Capitaine, réalisé en 1900 à l'île de Giannutri (Toscane).

En 1904 nous trouvons un cadran à Genova Montegalletto. Quatre datés de 1905, deux en 1906 à Genova – Montegalletto et Varazze.

En 1911, une œuvre en Égypte, à Helouan, puis en 1912 sur Île du Giglio, 1913 Fiuggi, 1914 Genova – Albareto, 1914 - Terme di Vinadio (CN), 1915 – Noli.

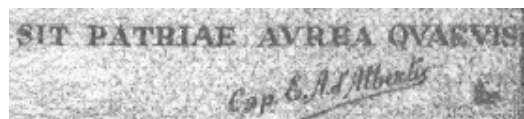


Dès l'entrée dans le conflit de l'Italie en 1915, le Capitaine d'Albertis demande à être réintégré dans l'armée comme aviateur-observateur. Sa demande est refusée compte tenu de son âge, il avait déjà 69 ans, il promet alors de réaliser des CADRANS SOLAIRES... de GUERRE!

Il diffuse dans toute l'Italie ses nouveaux cadrans avec devises patriotiques et louanges à l'ardeur des combattants.

Nous nommerons :

A Carrière de Cogne (Ao) en 1915, un cadran déclinant du matin avec courbe en 8, heures calées sur l'Europe centrale, portant sa signature. En 1915/16, un



cadran de même facture mais déclinant de l'après-midi.

En 1916 à Grado, 1917 à Aosta Caserma Alpini, cadrans de même type qu'à Carrière de Cogne. En 1917 à Aosta, au sommet d'un monument, un cadran circulaire. Toujours en 1917 à Brindisi au Port de la Marine militaire ainsi que celui de Taranto et sur un bâtiment à Aquileia (Pn).

Le cadran solaire du Régiment de Marine à Cortellazzo (1917) avec comme devise : « Si sur le marbre vous allez chercher l'heure, n'oubliez pas que les héros à Cortellazzo ont rejeté les envahisseurs » et en bas : « Hommage aux héros tombés pour la Patrie ».

Cadran à Cortellazzo ►

Sur un cadran de 1917 à Genova – Montegalletto, on peut lire :

« Je ne marque pas seulement les heures : de l'allemande culture de guerre, je vais vous rappeler tout l'horreur ».

« La voix des barbares ».

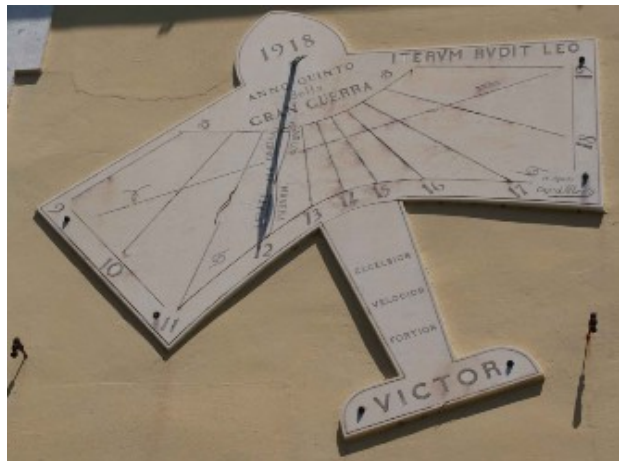
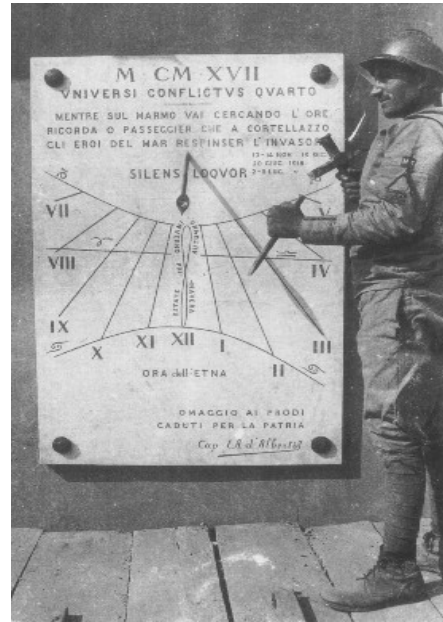
« AD NEFANDAM REI MEMORIAM ».

Et en bas : « ...que le cadran solaire marque aux cruels l'heure d'une infamie perpétuelle ».

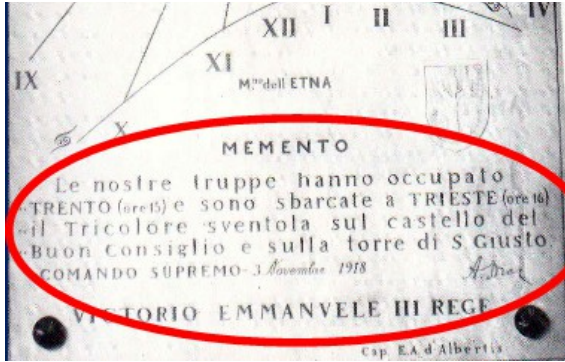
Sur le Quartier général des hydravions de la Marine militaire à Venezia – Isola di S. Andrea en 1918, c'est un cadran en forme d'avion que le capitaine va créer.



En 1918, la guerre est finie :

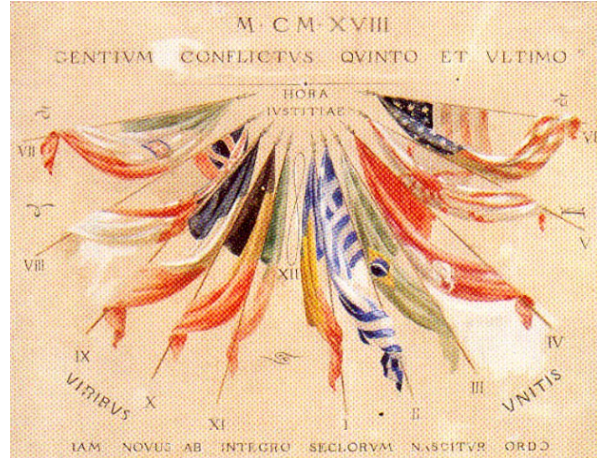


Cadran à Venezia

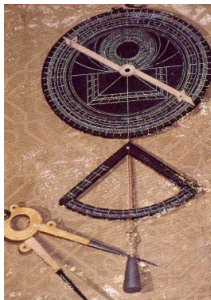
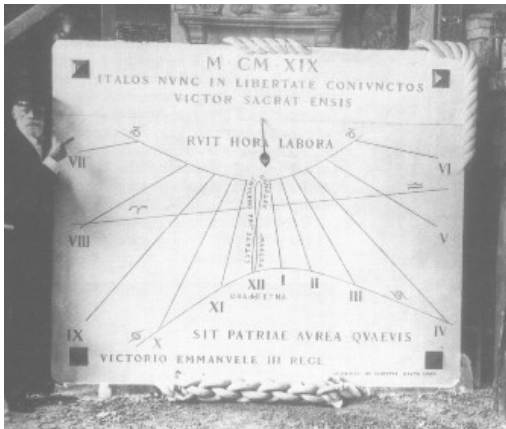


▲ Texte sur le cadran de Trieste en 1918.

Cadran à drapeaux de 1918 ►



En 1919, il réalise le cadran bien connu de l’Arsenal de la Marine à Venise (photo ci-dessous à gauche). Hommage du Capitaine D’Albertis à la ville. La devise rappelle que l’épée du vainqueur consacre l’union des italiens dans la liberté. Il y exprime l’espoir que chaque heure soit propice à la Patrie. En 1923 encore un cadran à Tripoli, Libye, sur le Château Assay al Hamra. Son dernier cadran est daté de 1928 (ci-dessous à droite).



◀ Instruments de mesure et coffre à outils et documents qu’il emmenait en voyages.





Quel style polaire pour un cadran faux ?

Denis Savoie

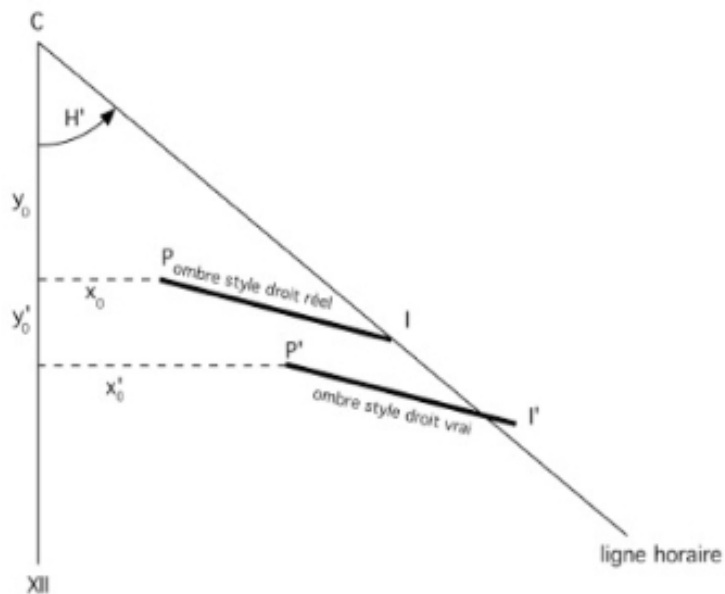
Lorsque l'on restaure un cadran solaire vertical gravé dans la pierre, il arrive parfois que l'on découvre que le cadran est incorrect : il a été tracé pour une orientation du mur qui ne correspond pas à la réalité. Lors de la remise en place du style polaire, on peut se demander ce qui est le plus judicieux, sous entendu qu'est-ce qui minimise le plus l'erreur de lecture de l'heure : remettre le style qui correspond à l'orientation du tracé, remettre le style qui correspond à l'orientation réelle ou adopter une solution intermédiaire ?

Adoptons d'emblée quelques conventions. Appelons D_e la déclinaison gnomonique erronée (qui correspond au tracé du cadran) et D_v la déclinaison gnomonique vraie du mur ; celle-ci sera liée à un style droit vrai de longueur a , de même longueur que le style droit réel. Chaque style droit se rapporte à un style polaire de longueur U puisque l'on a : $U = a / \cos \phi \cos D_e$ pour le style polaire correspondant au tracé, et $U' = a / \cos \phi \cos D_v$ pour le style polaire vrai. Les deux styles étant placés (mais pas simultanément !) au point de convergence des lignes horaires, il n'y a aucun cisaillement des lignes par l'ombre.

Soient x_0 et y_0 les coordonnées du style droit réel P depuis le centre C du cadran où convergent les lignes horaires, et x'_0 et y'_0 les coordonnées du style vrai P' (fig. 1).

Figure 1 ►

P et P' désignent respectivement les pieds des styles droits réel et vrai, dont le sommet abouti chacun à un style polaire implanté en C . On cherche l'angle horaire du Soleil lorsque l'extrémité de l'ombre des styles coupe une ligne horaire. Sur la figure, c'est le point I qui coupe la ligne horaire, tandis que I' a déjà progressé sur le cadran.



On a :

$$\begin{aligned} x_0 &= a \operatorname{tg} D_e & y_0 &= a \operatorname{tg} \phi / \cos D_e \\ x'_0 &= a \operatorname{tg} D_v & y'_0 &= a \operatorname{tg} \phi / \cos D_v \end{aligned}$$

Deux cas se présentent :

- a) on cherche l'angle horaire du Soleil lorsque l'ombre du style réel coupe une ligne horaire.
- b) on cherche l'angle horaire du Soleil lorsque l'ombre du style vrai coupe une ligne horaire.

Il existe deux solutions pour résoudre ce problème.

1 – Solution itérative

La première solution, assez laborieuse, se fait par voie itérative, en choisissant un pas très petit, par exemple 30". On calcule les coordonnées x et y de l'extrémité de l'ombre du style réel de longueur a mais en introduisant la déclinaison gnomonique vraie D_v dans x et y et on cherche pour quel angle horaire H on a sensiblement $\Delta H' = (H'_{ref'} - H') \approx 0^\circ$. On a :

$$tgH'_{ref'} = \frac{\cos\phi}{\cos D_e \cot H_t + \sin\phi \sin D_e}$$

$H'_{ref'}$ est ici l'angle tabulaire que fait une ligne horaire avec la ligne de midi ; le H_t est l'angle horaire théorique (par exemple $H = 30^\circ = 14$ h). C'est donc un angle constant et c'est avec cette formule que le cadran solaire vertical a été tracé. On cherche donc à quel instant l'ombre du style droit va couper une ligne horaire en calculant :

$$tgH' = \frac{x + x_0}{y + y_0}$$

où $x = a \operatorname{tg}(A - D_v)$ et $y = a \operatorname{tg} h / \cos(A - D_v)$

h et A étant respectivement la hauteur et l'azimut du Soleil.

Exemple 1 :

soit un cadran vertical déclinant tracé pour une latitude $\phi = 48^\circ$, avec $D_e = 30^\circ$; en réalité le mur est déclinant de $D_v = 38^\circ$. Pour la ligne 11 h ($H_t = -15^\circ$), on a $H' = -13^\circ,166$. En prenant une déclinaison du Soleil $\delta = -2^\circ$, l'ombre du style droit coupe la ligne pour $H = -8^\circ,91833$ et en conséquence le style polaire recouvre la ligne horaire à 11 h 24 m temps solaire vrai, au lieu de 11 h.

Pour la ligne 16 h ($H_t = 60^\circ$), on a $H' = 37^\circ,51446$; avec la même déclinaison du Soleil, on obtient $H = 66^\circ,13556$, soit 16 h 25 m au lieu de 16 h pour le recouvrement de la ligne horaire par l'ombre du style.

Pour calculer l'angle horaire du Soleil lorsque l'ombre du style vrai coupe une ligne, on pratique de la même façon que précédemment mais en changeant x_0 et y_0 par x'_0 et y'_0 .

2 – Solution trigonométrique

Cette solution permet d'intéressantes déductions. Elle consiste à chercher directement l'angle horaire du Soleil qui correspond à l'équation :

$$\operatorname{tg}H' = \frac{x + x_0}{y + y_0}$$

sachant que l'on peut remplacer x_0 et y_0 par x'_0 et y'_0 voire par une autre valeur.

Après développement et simplification, on aboutit à la résolution d'une équation du type :

$$A \sin H + B \cos H = C \quad (1)$$

$$A = \cos D_v + X \sin D_v - Y \sin D_v \operatorname{tg} H'$$

$$B = X \sin \phi \cos D_v - \sin \phi \sin D_v - \cos \phi \operatorname{tg} H' - Y \sin \phi \cos D_v \operatorname{tg} H'$$

$$C = \operatorname{tg} \delta [\sin \phi \operatorname{tg} H' - Y \cos \phi \cos D_v \operatorname{tg} H' - \cos \phi \sin D_v + X \cos \phi \cos D_v]$$

X peut désigner x_0 ou x'_0 et Y peut désigner y_0 ou y'_0 , selon ce que l'on désire calculer, à la condition de poser $a = 1$ dans les relations donnant X et Y. Quant à l'angle tabulaire H' , on l'obtient par la formule classique :

$$\operatorname{tg}H' = \frac{\cos \phi}{\cos D_e \cot H_t + \sin \phi \sin D_e}$$

Il convient de bien noter que H' se calcule avec D_e et la solution de l'équation (1) avec D_v . On obtient finalement H en calculant :

$$\operatorname{tg}M = \frac{B}{A} \quad \text{si } A < 0 \text{ soustraire } 180^\circ \quad m = \frac{A}{\cos M} \quad \sin(M + H) = \frac{C}{m}$$

Exemple 2 : en reprenant les paramètres de l'exemple 1, on a pour la ligne 11 h ($H_t = -15^\circ$) avec le style réel, on a $H' = -13^\circ,166$: $A = 1,328$ $B = 0,213$ $C = 0,004$
 $M = 9^\circ,102$ d'où $H = -8^\circ,918$.

Pour la ligne 16 h ($H_t = 60^\circ$), $A = 0,537$ $B = -1,210$ $C = 0,002$
 $M = -66^\circ,051$ d'où $H = 66^\circ,135$.

Voyons maintenant avec le style vrai; on a pour les mêmes heures :

11 h ($H_t = -15^\circ$) $A = 1,472$ $B = 0,350$ $C = 0$ $M = 13^\circ,360$
 d'où $H = -13^\circ,360$.

16 h ($H_t = 60^\circ$) $A = 0,603$ $B = -1,147$ $C = 0$ $M = -62^\circ,281$
 d'où $H = 62^\circ,281$.

Si l'on calcule maintenant $\Delta H = (H_t - H)$ pour les solstices et les équinoxes, on constate que les plus grands écarts ont lieu au solstice d'hiver et que la solution qui consiste à munir le cadran d'un style polaire correspondant à la déclinaison gnomonique du tracé donne des écarts considérables. Sur le graphique 2, on a reporté en rouge l'erreur constante engendrée par la mise en place du style vrai ; les trois autres couleurs sont l'erreur due au style réel.

Par contre si l'on choisit de munir le cadran d'un style correctement orienté, ΔH est constant toute l'année, résultat que l'on peut vérifier en introduisant dans le calcul du terme C les valeurs x'_0 et y'_0 . Dans ce cas, C est toujours nul, autrement dit indépendant de la déclinaison du Soleil. On obtient une courbe en forme de cloche plus ou moins prononcée

selon l'erreur en déclinaison gnomonique. On constate également que l'erreur à midi solaire est toujours nulle, qu'elle s'annule une seconde fois soit le matin soit l'après-midi, et que l'erreur est plus sensible aux heures extrêmes du cadran. Enfin l'erreur diminue avec la latitude du lieu.

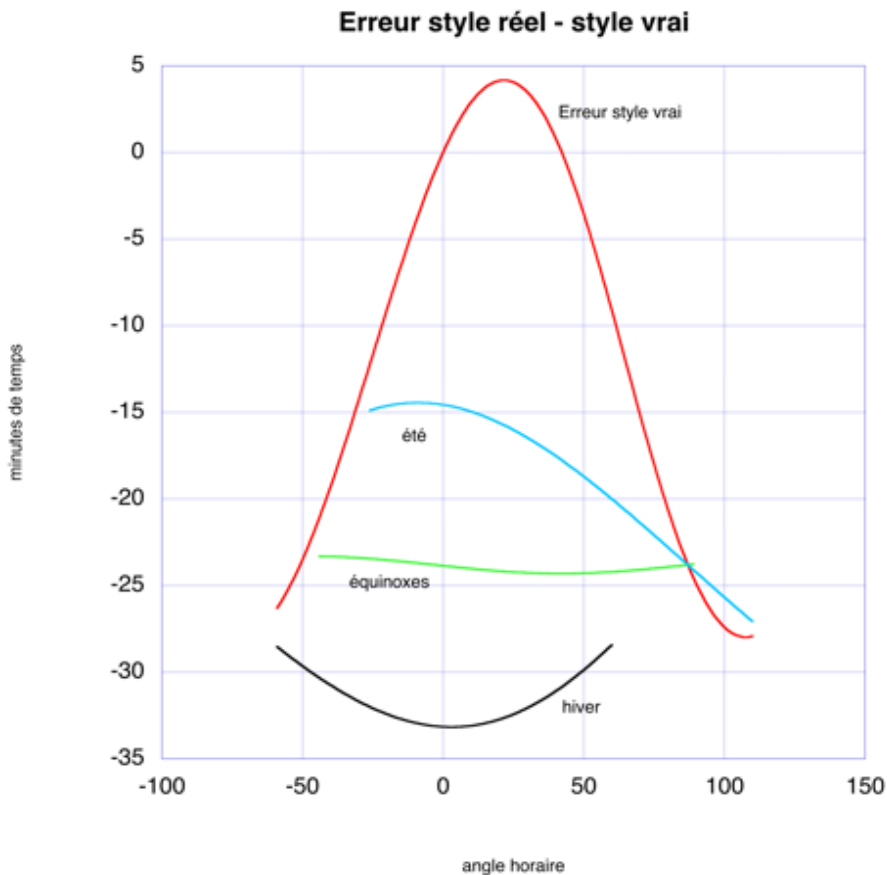
On peut calculer directement H dans le cas où $C = 0$ par :

$$tgH = \frac{\cos D_v tgH_t}{\cos D_e + \sin \phi tgH_t (\sin D_e - \sin D_v)}$$

On peut enfin vérifier qu'en choisissant une déclinaison gnomonique « moyenne », c'est-à-dire à mi-chemin entre l'orientation fautive et l'orientation vraie, on ne réduit pas l'erreur de moitié.

Conclusion

On peut généraliser ces résultats et tirer une règle utile aux restaurateurs de cadrans solaires verticaux : face à un cadran erroné en raison d'une mauvaise orientation (cas le plus fréquent, la latitude étant généralement bien connue et son incidence beaucoup moins sensible que l'orientation), il est préférable de remettre un style polaire correspondant à la vraie orientation du mur.





Canoniaux sur bâtiments civils en France

Denis Schneider

Denis répond à l'existence des cadrans canoniaux sur des bâtiments civils en France.

A la réunion de la Commission au Palais de la Découverte en octobre 2012, ouverte au public à l'occasion de la Fête de la Science, après que j'aie parlé de la dispersion des cadrans canoniaux en France (Cadran-Info n°27), un couple non membre m'avait posé la question de l'existence du cadran canonial sur des bâtiments civils. J'avais sûrement dû leur parler de leur rareté et nous échangeons nos coordonnées car, sur leur château, à Saint-Etienne de Chomeil dans le Cantal, il y avait un canonial restauré en 2008.

Sur la photo adressée (Ph.1), on voyait un cadran avec heures canoniales et la devise « ORA EST HORA », sur enduit et signé Yves Guyot. La restauration paraissait tapageuse... Pas de quoi solliciter la gratitude divine par un « DEO GRATIAS » en bas du cadran ! Je demandais des photos avant restauration (Ph.2) présentant plusieurs



Photo 1 : cadran du château à Saint-Etienne de Chomeil



Photo 2 : cadran avant restauration

cadrans superposés ; la photo 3 montre la restitution des lignes horaires) qui révélait une interprétation fantaisiste... La question du cadran canonial sur des bâtiments civils restait posée même si cet exemple n'était pas bon. Notre appellation « cadran canonial » implique une référence religieuse alors qu'à l'étranger la terminologie est bien plus neutre en parlant de cadrans médiévaux, entre autres, ce qui leur laisse de la place sur des bâtiments civils.

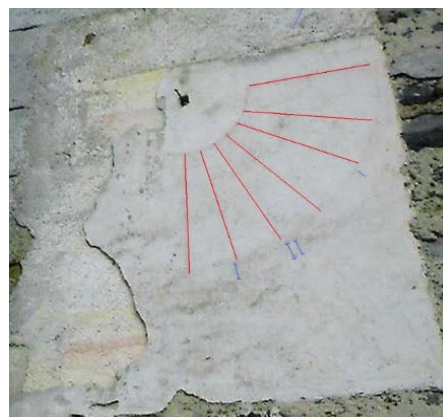


Photo 3 : montage photographique ►

Il n'est pas surprenant qu'une chapelle de château comporte un cadran canonial (à Crazannes dans le 17, à Auneau dans le 28, à Scorbé-Clairvaux dans le 86 ou qu'une façade de château en ait un si la façade sud de la chapelle voisine est masquée par le donjon comme à Chateaudun dans le 28. (chiffres fantaisistes). Les cadrans de la chapelle du château d'Azay-le-Rideau (37) sont plutôt d'apparence canoniale car la chapelle date de 1603. Parfois aussi un cadran d'apparence canoniale (Ph.4) se trouve sur un château sans chapelle voisine (à Villebon dans le 28), mais il s'agit plus vraisemblablement d'un cadran de transition puisque l'architecture y est Renaissance, ou (Ph.5) sur la tour carrée du château des Bories (à Antonne et Trogonant dans le 24) architecture un peu moins tardive il est vrai.



Photo 4 : cadran du château de Villebon



Photo 5 : cadran sur château des Bories

Quelques cadrans d'apparence canoniale (Ph.6 et 7) se trouvent aussi, non seulement sur les communs du château de Fontguyon (à Saint-Amant de Nouères dans le 16), mais encore à l'entrée de moulins à vent (à Montpellier- de-Médillan dans le 17 (Ph.8) et (Ph.9) à Mont Saint-Vincent dans le 71) ! Est-ce une survivance du cadran canonial pour des fonctions laïques liées à l'organisation du travail ou davantage des tentatives gnomoniques naïves ?...



Photo 6



Photo 7



Photo 8



Photo 9

Plus sérieuse était la piste du cadran d'apparence canoniale (Ph.10) sur l'écusson du linteau de la porte d'entrée de la Maison des Consuls (XIIIe) à Belvès (24) ; la portée strictement laïque de ce cadran d'apparence canoniale est sans doute tempérée par le fait que les archevêques de Bordeaux furent seigneurs de cette cité pendant des siècles...

Photo 10 :
Porte de la Maison des Consuls à Belvès ►



Je cherchais dans notre inventaire d'autres exemples sur des façades de châteaux avec ou sans chapelle. Le cadran canonial sur la façade du château de Tournoël (à Volvic dans le 63) y figurait et, sur la toile, un article publié par le même Y. Guyot le 1^{er} avril 2007 informant de la restauration d'un cadran canonial du XIIIe (Ph.11) ... Fort sceptique, je téléphonais au propriétaire, Mr.Claude Aguttes, qui m'avouait qu'il s'agissait d'une création de toutes pièces...

Le cadran du porche du château de Montfort (à Vitrac dans le 12) ne paraissait pas franchement canonique (Ph.12) et très certainement le résultat des reconstructions au XIXe de ce « joli château d'opérette ».

Restait le cadran canonial du château de Taussac (12), dans le Carladès (Ph.13), sans chapelle. Celui-ci n'avait que les lignes des heures canoniales gravées, signant son authenticité. Ces lignes étaient gravées sur la face verticale orientée au midi d'un cylindre saillant d'une pierre d'angle à 3m de hauteur et dont l'arête, pointe le Sud. Le cadran était donc contemporain de cette partie de la bâtisse dont on ignore la date de construction. Le propriétaire, M. Alain Cézac, fort

intéressé, possédait des archives et avait des amis universitaires historiens connaissant bien l'histoire de cette région. Le fondateur de cette partie du château était-il un seigneur ecclésiastique dont on devrait retrouver trace ou un laïc très pieux disant ses Heures, trop tôt pour le dire. Si on ne retrouvait pas trace d'un fondateur homme d'Eglise, on pourrait alors s'orienter vers un cadran servant à indiquer les Heures canoniales qui rythmaient aussi la vie civile s'égrenant non pas ici aux cloches du moutier mais à celles du château. Il ne s'agirait plus ici d'un cadran canonial proprement dit mais d'un cadran médiéval donnant des



Photo 11 : cadran canonial du XIIIe par Y. Guyot

indications horométriques calées sur les Heures canoniales pour la journée de travail.

Il est cependant troublant qu'on ne connaisse en France, à ma connaissance, que l'exemple du château de Taussac qu'il faudra explorer tout comme élargir la recherche au cadre de la Chrétienté d'alors.



Photo 12 : cadran du château de Montfort



Photo 13 : canonial du château de Taussac



Méprise d'un chasseur

Denis Schneider

Signes zodiacaux sur un cadran canonial ou chrisme avec l'Alpha et l'Oméga ? La méprise d'un chasseur !

Dans la liste des cadrans canoniaux trouvés en 2013, j'eus la surprise de lire une fiche technique signalant la présence de deux signes zodiacaux sur un canonial situé sur l'église Notre-Dame au Pian-sur-Garonne (33).

Sur la photo correspondante (Ph.1), on croyait reconnaître les signes du Capricorne en haut et du Bélier au milieu... Il suffisait de retourner l'image de 180° (Ph.2) pour identifier un chrisme (entrecroisement des deux premières lettres grecques de Christos, le Chi (X) et le Rho (P)), avec en bas le "S" en miroir et l'Omega curieusement à gauche alors que l'Alpha ne se voyait plus à droite.



Photo 1



Photo 2 : Photo 1 retourné de 180°

Encore fallait-il expliquer ces inversions ou, à défaut, trouver l'existence d'autres cas semblables...

Le "Plus d'images" de Google révélait deux cas similaires, tous deux situés sur le Chemin de Saint-Jacques, côté espagnol : - au-dessus de la porte sud de l'église de l'Assomption (XIIe) à Bossost (Val d'Aran) (Ph.3). - au-dessus de la porte de l'église Saint-Romain à Cirauqui. Il se trouve que Le Pian-sur-Garonne est à moins de 7 km du Chemin qui part de Vézelay. Néanmoins les explications fournies sur le web ne me convenaient pas (Chemin se faisant d'Est en

Ouest et donc de droite à gauche ou amenant la conversion du pèlerin).

Je m'adressais à Vincent Debiais, chargé de recherches au CNRS dans le cadre du Corpus des inscriptions médiévales en France.

Il me renvoyait au site du meilleur spécialiste des chrismes, Juan Antonio Olañeta; j'y

apprenais leur diversité, une typologie dans laquelle le chrisme du Pian-sur-Garonne était du type WAZ, rare, et principalement du XIIIe. Le "S" était à comprendre, en tant que dernière lettre, dans le cadre du trigramme Christus (XPS).



Exit le canonial du Pian-sur-Garonne de notre inventaire...

Réemployer au XIXe le chrisme du Pian à l'envers et, des siècles plus tard, y voir un canonial, c'était littéralement renversant !

◀ Photo 3 : Porche de l'église de l'Assomption à Bossost



Le Cadran de Saint Médard à Paris est sauvé



« Les pierres gravées ont été nettoyées à faible pression comme pour les décors sculptés.

Nous avons même laissé les quelques traces noires que nous avons repérées en fond de gravure et sommes en train de les faire analyser afin de savoir s'il s'agit d'une trace de polychromie. On ne sait jamais ».

Chef du département des édifices culturels et historiques MAIRIE DE PARIS, DIRECTION DES AFFAIRES CULTURELLES

Merci à Alain Ferreira qui a porté l'alerte d'une restauration de l'église. Merci à Jérôme Bonnin pour ses interventions auprès des différents services concernés. Merci au groupe sauvegarde des cadrans solaires et à la mairie de Paris.



Cadran solaires genevois

Francis Tamarit

Les cadran solaires genevois présentés par F. Tamarit sont tous du gnomoniste-cadranier René Béguin. La visite regroupe quelques cadrans disparus mais bien sûr des cadrans à découvrir encore de nos jours.

Certains cadrans de René Béguin¹ ont eu une courte durée de vie. Nous allons faire une petite visite virtuelle en remontant, depuis la sortie du Rhône, la rive gauche du Lac Léman pour présenter trois cadrans disparus.

Le premier cadran solaire fut installé sur le bâtiment du Pont de la Machine à l'occasion d'une exposition sur les cadrans solaires qui dura deux mois en 2008.

Ce cadran n'indique pas les heures vraies, mais les heures corrigées pour la longitude de Genève 6°09' Est. Lorsque le Soleil



passé au méridien, à Midi Vrai, le cadran n'indique pas 12 heures, mais 12h 35' 24". Je vais nommer ces lignes horaires heures "Genevoises" pour la suite de cette présentation.

Le style polaire de ce cadran ayant une certaine épaisseur, l'heure est lue en utilisant, le matin, l'arrête gauche du style et l'après-midi, l'arrête droite.

Cette transition se faisant à l'instant où le soleil passe sur le plan de la sous-stylaire. L'auteur, pour marquer ce passage, a tracé une ligne grise de même largeur que le style

dans le bandeau jaune des heures.

Plus haut, le parc Mon Repos accueillit un cadran spectaculaire qui fut installé en 1997, puis démonté en 2012.

Ce cadran solaire circulaire d'un mètre de diamètre était installé sur un grand disque en verre bleu. Cette surface translucide cachait un mécanisme qui, la nuit, montrait le mouvement des étoiles dans la voûte céleste.

La plupart des amateurs d'astronomie n'ont pas pu observer cette seconde fonction faute de plaque explicative.

¹ R.Béguin, ancien ingénieur en mécanique est à la fois inventeur et restaurateurs d'horloges.



Enfin, au Musée des Sciences, nous pouvions trouver sur la terrasse, un cadran solaire horizontal à canon.

Ce cadran "pris en cage", n'était pas très lisible et fut remplacé par un cadran que je n'ai pas encore photographié et dont je ne parlerais pas ici.

Passons à présent aux cadrans encore visibles.

Restons sur la terrasse du Musée des Sciences où l'on peut voir un cadran solaire en forme de globe.

L'heure se lit en pivotant la lame en arc



de cercle. Lorsque l'ombre de la lame projetée sur le globe est la plus étroite, on peut alors lire l'heure sur les graduations.

A noter que le globe comporte deux graduations horaires : les heures vraies en chiffres romains et les heures "Genevoises" en chiffres arabes.

Une autre indication fournie par ce cadran est la déclinaison du Soleil.

Sur la lame en arc de cercle se trouve une pièce amovible, et à nouveau, c'est le même principe qu'il faut appliquer.

Lorsque l'ombre de l'indicateur, que l'on déplace de haut en bas, le long de la lame, est la plus étroite, on peut alors visualiser la déclinaison du Soleil.

L'échelle des déclinaisons est minimaliste, on peut y lire les graduations des solstices d'été et d'hiver ainsi que celle des équinoxes.



Toujours sur cette même terrasse, René Béguin a tracé deux grandes lignes Nord-Sud et Est-Ouest. Leur croisement représente le centre d'un cadran analemmatique dont le grand axe mesure 9 mètres.

L'échelle des dates est graduée avec les signes du zodiaque ainsi que par les dates d'entrée dans chacun des signes du zodiaque.

Ce cadran indique à nouveau les heures "Genevoises", il initie une série de cadrans analemmatiques dont le grand axe mesure 9 mètres que l'on peut trouver dans des préaux d'écoles.



On peut trouver dans les écoles des Crêts de Champel et de Montchoisy deux cadrans créés la même année qui sont très semblables.

L'échelle des dates de ces deux cadrans est graduée pour chaque début de mois.

Pour que les enfants s'y retrouvent, l'hiver est symbolisé par un flocon de neige et l'été par une marguerite.



Ecole des Crêts de Champel



Ecole de Montchoisy

Au Collège Voltaire, on trouve à nouveau deux grandes lignes cardinales, l'échelle des dates est graduée avec les signes du zodiaque.

Collège Voltaire ►



L'école du Bois des Arts nous permet de voir son cadran d'en haut grâce à une passerelle située au niveau du premier étage de l'école.

A nouveau, nous retrouvons les heures "Genevoises", l'échelle des dates est graduée avec les signes du zodiaque ainsi que par les dates d'entrée dans chacun des signes du zodiaque,

Ce cadran est, à ma connaissance, le dernier de la série des grands cadrans analemmatiques genevois réalisés par René Béguin.

Il nous reste encore deux cadrans verticaux à visiter dans des écoles.

L'école du Devin-du-Village possède un cadran orienté Sud-Ouest.

Son style est polaire, il est équipé d'un indicateur sphérique afin de marquer le passage aux solstices d'été et d'hiver qui englobent la zone grisée.

Le passage aux équinoxes est marqué par la ligne rouge diagonale qui traverse tout le cadran.

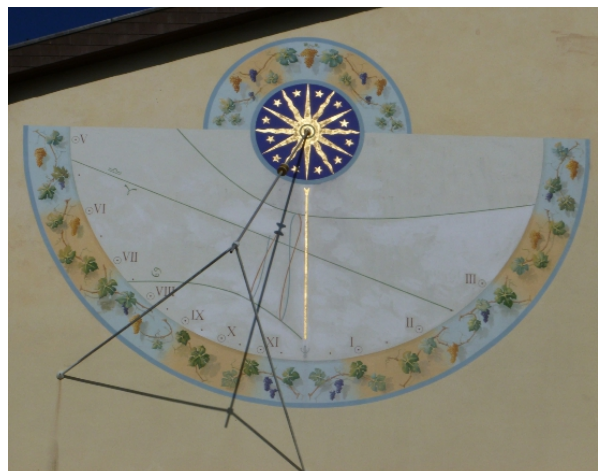
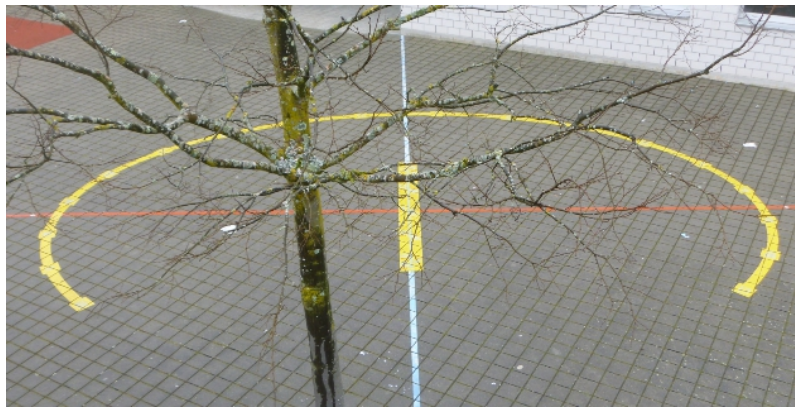
L'école de Lully, nous présente sur sa façade Sud-Est un magnifique cadran rehaussé de

peinture dorée.

Le décor en feuilles de vigne et grappes de raisin rappellent que nous nous trouvons en territoire vinicole.

L'indicateur en forme de diabolo sur le style polaire permet de voir le passage aux équinoxes et aux solstices (lignes vertes), il permet de lire 10 et 11 heures UTC en temps moyen (courbes en forme de 8 rouges et vertes).

Midi vrai est marqué par une ligne verticale dorée.



L'école Ferdinand-Hodler possède un nouveau type de cadran solaire. Il s'agit d'un cadran de temps moyen horizontal à œilleton.

L'originalité de ce cadran est que l'œilleton se trouve à l'extérieur, derrière une fenêtre.

Ce cadran est constitué de barres en laiton encastées dans le sol du couloir au premier étage.

On trouve les arcs diurnes des solstices ainsi que celui des équinoxes, la courbe en forme de 8 indique 11 heures UTC (midi de la montre en hiver), la ligne de Midi vrai complète le décor.



Nous allons passer à présent aux cadrans solaires installés dans des maisons privées.

La maison Schorrock possède un cadran sur une plaque en forme de disque.

Son style polaire comporte un indicateur, on retrouve les heures "Genevoises" et les arcs diurnes des solstices et des équinoxes.

A l'hôtel Buisson, maison classée monument historique, René Béguin a réalisé un cadran analemmatique minimaliste et peu visible.

Il est constitué d'une barre en laiton qui fait office d'échelle des dates. Le flocon de neige marque l'hiver et le Soleil, l'été. On distingue aussi les graduations pour chaque entrée dans les signes du zodiaque.

Les heures "Genevoises" sont matérialisées par des cylindres gravés et insérés dans les pavés.



Maison Schorrock



Hôtel Buisson ►



La maison Pâquet possède certainement le plus ancien cadran de la production de René Béguin.

C'est un superbe cadran horizontal en bronze réalisé en collaboration avec Henri Pâquet.

La particularité de ce cadran est que les tracés ne sont pas en creux, mais en relief. Manifestement ce cadran a été coulé.

Exception à la règle, les heures indiquées sur ce cadran sont les heures vraies. Autre détail remarquable est la représentation originale de l'équation du temps. Dans un cercle divisé par les 12 signes du zodiaque, on trouve une courbe en forme de "fève" qui intègre l'équation du temps plus la correction de la longitude. Ceci explique les graduations allant de +20 à +50 minutes et non pas de -15 à +15 minutes.



La comparaison de l'heure de la

montre et celle indiquée par le cadran devient alors directe par une simple addition.

René Béguin m'avait donné il y a 20 ans une adresse près du lac Léman où je

trouverais un cadran, je l'ai cherché mais ne l'ai jamais trouvé... Il fallait savoir qu'il s'agissait du balcon de son appartement situé au 6e étage ! Petit détail qu'il avait omis de me préciser.

A nouveau, nous avons un cadran à heures "Genevoises", à style polaire, gravé dans une plaque de laiton.

Le style polaire ayant une certaine épaisseur, on peut lire l'heure le matin avec l'ombre de l'arrête gauche du style et avec celle de l'arrête droite l'après-midi.

On peut remarquer qu'il y a un espace sur l'axe de la sous-styloire, entre les graduations de III et demie et III trois quarts pour tenir compte de l'épaisseur du style.

Ce cadran permet de lire l'heure de nuit en utilisant l'ombre projetée par la Lune

sur la cadran. Car en plus du graphique de l'équation du temps, le petit diagramme lunaire décrit par René Rohr a été ajouté. En connaissant l'âge de la lune, il faut ajouter ou soustraire le temps indiqué à l'heure nocturne lue.



Cadran chez R. Beguin

Il nous reste deux cadrans monumentaux à visiter.

Le premier se trouve à l'entrée de Versoix sur la façade Sud d'un immeuble. L'ensemble est décoratif mais peu lisible, on peut passer devant et ne pas s'apercevoir qu'il s'agit d'un cadran solaire. La particularité du style polaire de ce cadran et qu'il est constitué par un câble tendu. Afin de bien marquer son ombre, un tube en Polyéthylène a été fixé sur le câble.

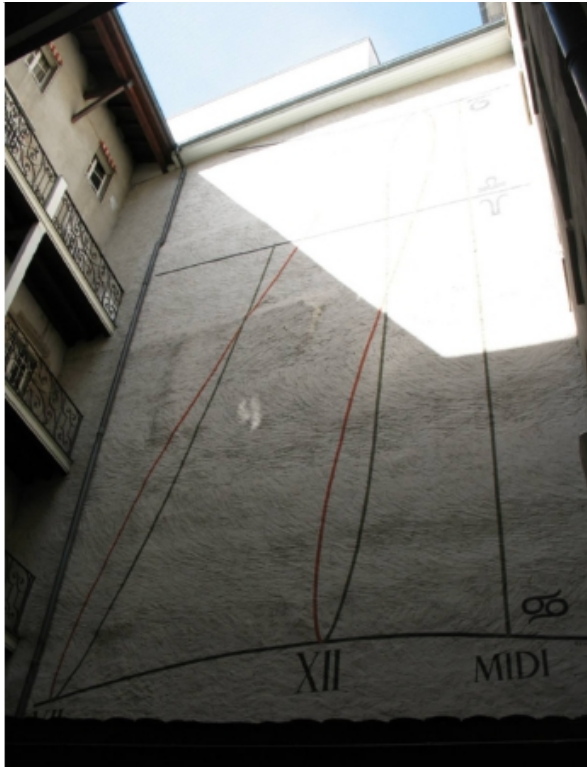


Le second cadran se situe dans la vieille ville au lieu-dit "La cour des Trois Midis". Le

mur irrégulier de la cour intérieure d'un bâtiment de cinq étages sert de support à ce cadran de temps moyen impressionnant. On peut y voir plusieurs tracés :

- les arcs diurnes des solstices et des équinoxes
- la ligne horaire de Midi Vrai
- la demi courbe en forme de "8" de midi heure d'été
- la courbe en forme de "8" de midi heure d'hiver

Le porte ombre est constitué d'un soleil comportant un œilleton, celui-ci permet de lire l'heure grâce à la tache de lumière projetée sur le mur.



Monsieur R. Béguin sur son balcon...

Avec ce dernier cadran nous terminons cette visite des cadrans solaires Genevois de René Béguin.

Cette série n'est pas exhaustive, il reste quelques cadrans que je n'ai pas encore découvert. Je retournerais visiter René Béguin, lui donner une copie de cette présentation et, peut-être me donnera-t-il plus de détails ou précisions concernant son travail.



régulant ses instruments

à suivre





Table de Saint Julien : du nouveau

Michel Ugon et Paul Gagnaire

Nos deux auteurs nous présentent leurs dernières découvertes concernant l'étrange table de Saint-Julien, comportant 28 motifs dont 21 cadrans solaires.

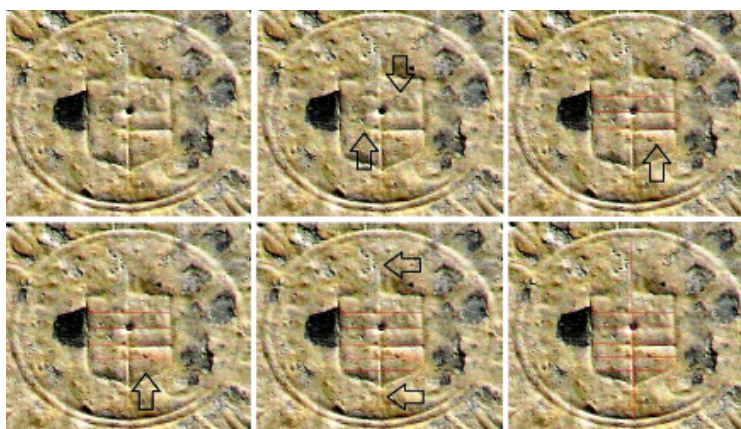
"La vie, c'est comme une bicyclette, il faut avancer pour garder l'équilibre" (Albert Einstein).

Nous avons déjà étudié pendant plusieurs années cette fameuse table exceptionnelle qui a donné lieu à plusieurs articles, tout d'abord dans Cadran Info en 2008¹ puis dans les cahiers de l'Association d'Histoire Populaire de Tourves (AHPT) en novembre 2010 à laquelle a participé activement son président Claude Arnaud, et également dans le livre de Denis Savoie publié en 2014, mais cette aventure n'est pas terminée. Grâce à la récente contribution de notre collègue de la Société Astronomique de France, Jean-Yves Thiant, érudit provençal, nous avons de nouvelles données qui nous permettent d'aller encore plus loin en reprenant cette étude.

Aussi, bien que nous ne soyons pas au bout de nos peines, il nous a paru intéressant de faire le point sur ces nouveautés qui peuvent apporter des précisions importantes.

1) Retour sur le blason central M4

C'est ici que l'érudition de Jean-Yves Thiant seconde l'héraldiste. Il a observé, très justement à notre avis, que nous avons erré en voyant un trait de parti, sur le blason central M4. On distingue bien une fine gravure, mais elle dépasse le blason de part et d'autre et s'absorbe dans les graduations méridiennes qu'elle rencontre. Alors, sur l'écu ne demeurent plus que les cinq petits tirets horizontaux repérés sur cette série d'images.



Le blasonnement s'impose :
« Fascé de ... et de ... de six pièces ».

Le trait vertical n'a pas de rôle
héraldique²

¹ Cadran Info N° 19 page 94. Ce reporter à cet article pour la désignation alpha-numérique des motifs.

² Présence possible d'un collier d'Ordre (Saint-Michel ?) autour de l'écu

Or en Provence, une très illustre maison porte un tel fascé, d'or et de gueules : la famille de Glandevès. Sans vouloir faire son panégyrique, nous pouvons cependant noter qu'elle a donné deux chefs d'escadre et un lieutenant général des armées navales, cinq évêques et trois abbesses. Elle est éteinte depuis 1832. Or, en 1567, Antoine de Glandevès fonde le couvent de Pourrières, que, par la suite, sa famille comblera de bienfaits, et, dès 1578, le couvent passe sous le gouvernement des minimes qui le conserveront jusqu'en 1771, date de sa fermeture définitive, avant sa vente en 1780.

N'est-il pas concevable que le couvent de Pourrières, voulant se doter d'un instrument gnomonique hors du commun, ait tout naturellement songé à en faire hommage à cette famille à qui il devait tant, en gravant son blason à la place d'honneur ? Pourquoi un tel projet ? Parce que la fine fleur intellectuelle des minimes vivait dans ce couvent ou y transitait souvent, en chemin vers Rome, par exemple et qu'il était très convenable de donner à ces religieux, dont certains pratiquaient les mathématiques ou l'astronomie avec éclat, un monument à la mesure de leur génie.

Enfin, cet enchaînement logique trouverait une issue plausible quand on précise que vivait à Pourrières,



le Père minime Etienne Octoul, (Ramatuelle 1589 – Pourrières 1655) dont le souci majeur était d'établir la date exacte de la création du monde, à l'aide de calculs minutieux, exposés, en 1643, dans son ouvrage majeur « *Inventa astronomicae primae mundi epochae a priori constructae eodem tempore* ». Il avait aussi inventé une sorte de sextant, la Pyramide Astronomique, qu'il aurait pu ajuster dans le trou percé entre la deuxième et la troisième fasce du blason.

Nous avançons également le nom de Jean-François Nicéron, autre minime de haute volée intellectuelle, mais sa vie fut brève et il s'adonnait plutôt à l'optique et aux anamorphoses.

2) Du nouveau aussi dans l'indomptable M7

Tout d'abord rappelons que le motif M7 est un abaque qui permet de donner les heures des levers et couchers du Soleil en différents lieux. Mais il faut aussi remarquer que les termes "borealibus" et "australibus" utilisés dans les phylactères sont conjugués au datif ablatif latin et se rapportent au mot "signis" qui les précède, c'est à dire à la déclinaison solaire et non pas aux divers lieux indiqués qui sont toujours situés dans l'hémisphère nord, comme on le voit dans l'analyse ci-après. En effet, compte tenu de cette remarque, nous allons comprendre la raison pour laquelle tous les lieux cités sont tous situés dans cet hémisphère nord, mais cette fois nous reprendrons l'étude en partant du lobe d'été au lieu du lobe d'automne.

Bien qu'une recherche de parenté entre l'acquéreur du Couvent de Pourrières et les propriétaires du Domaine de Saint-Julien ne soit pas achevée, la meilleure hypothèse est donc que le blason central soit celui de la famille de Glandevès fondatrice de ce Couvent de moines minimes où l'on aurait eu les plus grandes raisons d'honorer ainsi une famille bienfaitrice. C'est d'ailleurs vers ce lieu que nous avait orienté C. Arnaud pour rechercher un moine qui pourrait être l'auteur de cette merveille, peut-être Etienne Octoul, mathématicien et

astronome qui a fini sa vie en ce lieu en 1655. C'est cette hypothèse qui nous a dirigés à nouveau vers l'étude des latitudes des villes de M7 dans l'espoir d'y rencontrer des analogies avec les tables de Lamsberg de 1632 et que nous savons connues du père Octoul. Nous allons donc reprendre ce chemin difficile et voir que cet abaque renferme des noms de lieux quasiment effacés et non encore révélés dans l'hémisphère boréal, en les comparant également aux tables de Riccioli éditées à la même époque. Ainsi, nous serons amenés à reprendre les tableaux diffusés précédemment en marquant les nouveautés en rouge.

2 - 1 Lobe d'été

St Julien date?	St Julien date?	Riccioli 1665	Riccioli 1665	Riccioli 1644	Lamsberg 1632
Lieu	Latitude lue	Lieu	Latitude	Latitude	Latitude
Hierosol(i)ma ⁰	32°	Hierosolyma	32°	32°10'	31°55'
Lugdun(um) ¹	35°	Lugdunum - Gallie	45°48'	46°05'	-----
(?rhal)	36°				
(Hispalis) ²	(36°)	Hispalis	37°36'	33°40'	38°05'
Napoli	41°	Neapolis	41°54'	41°06'	40°50'
(Palentia)	?	Palentia	42°05'		
Ninive ³	(48°)	-----	-----		-----

(0) Nous avons déjà remarqué cette orthographe qui était utilisée au 16e siècle.

(1) Il s'agit du nom ancien de la ville de Lyon, mais il y a une probablement une erreur de transcription du premier chiffre de la latitude.

(2) Lamsberg orthographe ce nom Hispalu, aujourd'hui : Seville (Espagne).

(3) En Assyrie, vu à Rome au palazzio Spada (1644) et à l'église de la Trinité(1637).
Aujourd'hui : Mossul en Irak.

2 - 2 Lobe d'automne

St Julien date?	St Julien date?	Riccioli 1665	Riccioli 1665	Riccioli 1644	Lamsberg 1632
Lieu	Latitude lue	Lieu	Latitude	Latitude	Latitude
T u(lan)	32°	-----	-----	-----	-----
T(e)dd(ira)	33°	-----	-----	-----	-----
(J)?rhal	36°				
Fessa	37°	Fessa	33°10'	33°40'	-----
ROMA	42°	Roma	41°54'		42°02'
(Palentia)	?	Palentia	42°05'		
Pari(si)	48°	Parisi-Lutetia	48°50'		48°52'

2-3 Lobe d'hiver

St Julien date?	St Juliendate?	Riccioli 1665	Riccioli 1665	Riccioli 1644	Lamsberg 1632
Lieu	Latitude lue	Lieu	Latitude	Latitude	Latitude

(Aden)Arabia	23°	-----	-----	-----	-----
Arabia M	(22°)	Mecha-Arabia	23°40'	21°10'	-----
?	36°				
Alexandria ⁴	30°	Alexandria -Aegypti	30°58'	44°53'	30°58'
Avenio ⁵	?	Avenio	43°52'	44°13'	-----
Babilon	32°	Babylon nova	33°25'	35°	35°
Bormi...?	33°	-----	-----	-----	-----

(4) Riccioli a probablement corrigé en 1665 une erreur d'interversion de la latitude d'Alexandrie faite en 1644.

(5) Il y a là probablement une autre erreur similaire.

2-4 Lobe de Printemps

St Julien date?	St Juliendate?	Riccioli1665	Riccioli1665	Riccioli 1644	Lamsberg 1632
Lieu	Latitude lue	Lieu	Latitude	Latitude	Latitude
(...chir)	20°				
(Canaria)	2°?	Canaria Insula	28°25'	28°	28°
(C...ri)?	?				
?	?				-----
(Carthagi)	35°	Carthagi	35°10'	35°	-----
(Compostella)	42°	Compostella	42°58'	43°02'	42°30'

Bien sûr nous sommes tentés de reprendre l'étude des cadrans circulaires, mais cette fois nous allons commencer par D2 car ce cadran possède encore des gravures presque effacées que nous allons examiner de nouveau.

3 - L'étrange géographie du cadran D2

Le suspense continue avec les derniers examens très attentifs du cadran D2 qui ont révélé des lieux qui n'avaient pas pu être déchiffrés auparavant et qui ne correspondent pas aux calculs déjà effectués. Toujours en partant dans le sens indirect, c'est-à-dire dans le sens des aiguilles d'une montre, il s'agit de :

1ère ligne - graduation 294 - texte lu "Caput San Augustino"

2ème ligne - graduation 261 - texte lu "Corduba"

4ème ligne - graduation 197 (au lieu de 204 précédemment) : texte lu "Sufae"

6ème ligne - graduation 142 - texte lu "Crofna"

Toutes les cogitations et calculs faits sur ces données ont montré des incohérences par rapport à notre première approche, ce qui a compliqué notablement les analyses et il nous a fallu plusieurs mois pour élaborer ce qui va suivre, et nous savons que ce n'est pas terminé!

3-1 - En premier lieu nous avons remarqué que tous les noms de lieux figuraient également avec la même orthographe sur la table de Riccioli éditée dans le tome 2 d' "Astronomiae Reformatae" en 1665 avec des longitudes données en temps (Heures, minutes et secondes) par rapport au méridien d'origine de Bologne. Par ailleurs, nous avons remarqué que ces lieux ne figurent pas sur les tables de Reinhold de 1540, tandis qu'ils apparaissent sur les tables Rodolphines de Kepler de 1627, mais avec des orthographes différentes. Nous avons déjà vu précédemment ce nom de Riccioli en revenant sur les latitudes du motif M7 : Giovanni Baptista Riccioli était un prêtre jésuite italien et astronome réputé, et bien que nous soyons maintenant certains que ces tables n'ont pas servi pour établir les cadrans circulaires de cette table gnomonique, nous avons d'abord pris beaucoup de temps à les copier sur un tableur Excel en profitant des calculs automatiques, notamment pour connaître les longitudes correspondantes par rapport au méridien de Greenwich et comparer leurs écarts avec les valeurs modernes. Dans ces tables de Riccioli figurent 493 lieux et si l'on excepte une erreur évidente pour la ville de Narbonne (sub au lieu de ad), nous avons constaté que les écarts de longitude du 16e siècle, qui étaient presque tous réputés incorrects, se révélèrent beaucoup plus proches de la réalité que prévu, excepté pour des lieux éloignés. En effet, les erreurs sont assez petites pour nos régions (très inférieures à la demi-heure) mais s'accroissent lorsque l'on s'éloigne pour atteindre des valeurs de plus d'une heure, surtout pour les villes de la Perse ancienne comme Sufae que nous avons réussi à lire sur le cadran D2 en face de la graduation 197.

On observe que, pour seulement 9 lieux, les longitudes des tables de Riccioli donnent des erreurs supérieures à 10°. Il s'agit des lieux suivants, dont les deux derniers sont situés en Perse ancienne:

Astrakhan, Cap Defcado, Cochin, Famagouste, île de Santa Maria, îles Salomon, Smolensk, Ispahan et Sufae.

Pour les îles Salomon, cette erreur dépasse les 30°, soit plus de 2 heures de décalage.

Par contre pour les latitudes, nous avons une moyenne inférieure à 15", avec des écarts pouvant aller à plus de 2°, faible incertitude relative qui doit être due à l'imprécision des instruments de l'époque.

Après avoir examiné ces tables de Riccioli réalisées en 1665, nous pouvons donc déjà apporter deux remarques :

3-1-1 - L'orthographe des lieux de la table gnomonique de St Julien correspond à celle de la table de Riccioli de 1665.

3-1-2- La longitude de l'île de Fer (îles Fortunées) affichée par les tables de Riccioli est de 23°10' à l'ouest de Greenwich, tandis que la valeur réelle est de 18°1'. Rappelons que la longitude de cette île fixée autoritairement par Louis XIII en 1634 était de 20° à l'ouest de Paris et fut alors adoptée comme méridien d'origine, il n'est donc pas étonnant que ce méridien soit encore assez mal positionné par Riccioli.

A partir de ces constats, nous sommes retournés sur l'étude du cadran D2 en commençant par la position des 7 lignes horaires.

3-2 - Les lignes horaires de D2

Nous avons crû d'abord que le titre du cadran "Media Nocte" correspondait à des lieux où il était minuit. Mais nos calculs ayant donné des valeurs très différentes ce qui a tout d'abord orienté notre analyse vers des erreurs du (ou des) concepteurs, puis nous a conduit à des formules assez incongrues. Ces résultats nous ont conduits à revenir à d'autres hypothèses en supposant que le concepteur ne s'était pas trompé et avait considéré cette fois la ligne

verticale de D2 comme étant la méridienne de minuit, conduisant à un cadran à l'envers. Comme les graduations débutent avec la valeur 294 (toujours dans le sens des aiguilles d'une montre), que ce cadran est tourné de 180° et que la ligne horaire qui lui correspond est proche de 6h du matin à St Julien, nous en concluons que les longitudes indiquées sur D2 par rapport à Greenwich sont reliées aux heures du cadran par la relation :

$$H = [360-(G-24)]/15 = (384-G)/15$$

Où G est la valeur de la graduation indiquée. Ainsi, nous pouvons retrouver le tableau de valeurs suivantes (comme précédemment, les nouveautés apparaissent en rouge et tiennent compte de nos observations récentes) :

ligne	heure H	graduation G	lieu déchiffré sur D2	λ/Greenwich
1	6	294	Caput San Augustini (Brésil)	34°54'
2	8h 12'	261	Corduba (Cordoue)	4°46'
3	10h 36'	225	?	
4	12h 28'	197	Süfae (Suse)	- 48°15'
5	14h 28'	167	?	
6	16h 8'	142	Crofna (Pologne)	- 15°5'
7	17h 8'	127	?	

Nous constatons que sur ce tableau, les lignes horaires de D2 leur sont très voisines et qu'elles correspondent bien aux graduations du cadran.

Compte tenu de la position supposée de la table de Saint Julien (à St Julien ou à l'abbaye de Pourrières), il nous apparaît aussi que l'auteur connaissait mieux la longitude du méridien d'origine que Riccioli car il a pris 24° au lieu de 30° environ.

Il nous reste donc à déterminer les trois lieux inconnus. Pour ce faire, nous avons étudié à nouveau les graduations suivant leurs positions nous avons alors pensé que le (ou les) concepteur a voulu indiquer les longitudes de lieux indiqués le jour par ce cadran en distinguant ceux du matin de ceux de l'après-midi, ce qui nous donne pour chaque lieu deux méthodes différentes pour les trouver et ainsi vérifier leur exactitude. La première méthode s'appuie sur les lignes horaires et la deuxième sur l'écart des graduations périphériques par rapport à un lieu dont la longitude est connue actuellement avec précision. Aussi, sans retrouver la méthode du concepteur nous n'avons pas trouvé mieux que de diviser les lignes horaires en deux catégories à partir de 12h et de tenir compte des incertitudes de l'époque sur les longitudes.

3-2-1 Catégorie 1 : lignes du matin avec lieux tracés d'ouest en est à partir de 12h

Rappelons que ces nombres, qui sont des longitudes par rapport à l'île de Fer, correspondent aux heures marquées, et, comme nous l'avons vu, les longitudes indiquées sur D2 sont reliées aux heures du cadran par la relation :

$$H = [360-(G-24)]/15 = (384-G)/15$$

Où G est la valeur de la graduation indiquée et H l'heure solaire sur le cadran. Si on adopte l'hypothèse du cadran tourné de 180°. Pour les longitudes du matin, il faut ajouter tenir compte des quatre termes suivants :

- 180° pour tenir compte du fait que le cadran est à l'envers

- Ajouter 18° à G pour avoir des longitudes par rapport à Greenwich
- Faire 90°-h, h étant l'écart horaire par rapport à Greenwich
- Retirer 6° pour tenir compte de l'heure à St Julien

Ainsi, ce raisonnement nous conduit à utiliser la formule :

$$L = G + 12^\circ - 180^\circ - 90^\circ = G - 258^\circ,$$

Ainsi, nous pouvons retrouver le tableau de valeurs suivantes avec les lignes du matin (les nouveautés apparaissent en rouge et tiennent compte des observations récentes) :

ligne	heure H	graduation G	lieu déchiffré sur D2	λ pour Riccioli	λ /Greenwich
1	6	294	Caput San Augustini	34°50'	34°54'
2	8h 12'	261	Corduba	1° 50'	4°46'
3	10h 36'	225	Cayrum	- 34°10'	- 31°14'
4	12h 28'	197	Süfae	- 61°21'	- 48°15'
5	14h 28'	167	?		
6	16h 8'	142	Crofna(Pologne)	- 15°1'	- 15°5'
7	17h 8'	127	?		

Ainsi, pour la graduation 294 supposée à 6h nous trouvons $L = 34^\circ$ ce qui justifie le lieu du Cap St Augustin. Grâce à l'écart observé avec la graduation 294, nous pouvons trouver le lieu correspondant à 225 car $(225-294) = -69$; donc un λ voisin de -33° , nous trouvons ainsi : $\lambda = -34^\circ,16$ soit environ $-34^\circ10'$ proches de la table de Riccioli ($-35^\circ,6$).

Avec cette longitude et avec la première méthode, un nouvel examen de D2 cela correspond sensiblement à **Cayrum** lieu que l'on peut alors déchiffrer sur les clichés et qui est confirmée par la deuxième méthode. Cependant, la formule ci-dessus ne peut être conservée pour l'après-midi en allant vers l'Est car les valeurs de l'après-midi s'écartent vite des lieux affichés. C'est ce qui nous a conduits à considérer une deuxième catégorie de lignes horaires avec une autre formule pour trouver les deux lieux manquants.

3-2-2 Catégorie 2 : lignes de l'après-midi, avec lieux toujours tracés d'est en ouest, à partir de 12h

Pour les graduations de l'après-midi (donc situées après 12h), nous commençons par prendre l'opposé de la formule précédente, ce qui donne $258 - G$ et en retirant 24° pour les heures de St Julien cela donne $234 - G$ modulo 360, soit $126 - G$. Comme nous pouvons cette fois nous appuyer sur **Crosna** (aujourd'hui Krosno) pour la graduation 142 en progressant cette fois dans le sens direct vers l'Est. Après bien des essais, nous finissons par adopter cette hypothèse qui donne les valeurs de longitude suivantes en complétant les tableaux ci-dessus.

Ainsi nous retrouvons bien la longitude de Crosna par rapport à Greenwich: $\cong -15^\circ,02$, tandis que la longitude de Süsa ($\cong -70^\circ$) nous semble assez éloignée de ce lieu qui se trouvait jadis dans l'actuelle ville de Sushan en Iran par $-48^\circ15'$, soit plus de 20° d'erreur. Süsae étant l'ancienne capitale élamite de la Perse antique avec les incertitudes sur la longitude que nous avons déjà signalées et qui se retrouvent sur les villes de Perse.

Pour la graduation 167 nous trouvons "Melinda" ($\cong -40^\circ$) en Afrique chez Riccioli, lieu orthographié de cette manière au 17e siècle, qui se trouve proche de la longitude réelle connue aujourd'hui et qui correspond à la ville de Malindi, ville portuaire du Kenya avec une

latitude de 3°13 dans l'hémisphère austral. Mais comme pour ce lieu, nous devinons plutôt l'orthographe "Inf Rhodi" dans la gravure, nous lui préférons l'île de Rhodes (sise à -36°26').

En ce qui concerne la graduation 127 située après Crosna vers l'Ouest, le lieu est écrit sur deux lignes. Nous arrivons à déchiffrer le premier mot qui contient 4 lettres commençant par M et finissant par S et dont la longitude est située à 1 heure à l'Ouest de Crosna, donc proche de 0°. Cela nous guide vers "Mons Serratus" (Montserrat) qui se situe à une longitude de -1°50'

La deuxième méthode appliquée à ces valeurs confirme les lieux : pour G = 142 : L = -15°; G = 167 : L = -40°; G = 197 : L = -70 et G=127 : L = 0.

Tout ceci nous permet de compléter le tableau ci-dessus, mais à ce stade rien ne nous permet de situer exactement la table de St Julien dans l'abbaye de Pourrières proche et nous constatons, bien sûr, les erreurs de longitude commises par le (ou les) concepteurs de cette table aussi nous en resterons là pour D2. Cependant, ces nombreuses "erreurs" constatées sur les longitudes de ce cadran nous portent maintenant à croire que la table de Saint Julien pourrait bien avoir été réalisée par plusieurs auteurs.

ligne	heure H	graduation L	lieu déchiffré sur D2	λ pour Riccioli	λ /Greenwich
1	6	294	Caput San Augustini	34°50	34°54'
2	8h 12'	261	Corduba	1°50'	4°46'
3	10h 36'	225	Cayrum	-34°10	-31°14'
4	12h 28'	197	Süsae	-70°env	-48°15'
5	14h 28'	167	Inf Rhodi	-33°	-36°26'
6	16h 8'	142	Crosna(Pologne)	-15°1'	-15°5'
7	17h 8'	127	Mons Serratus	-0°46'	-1°50'

4 - Le cadran D1

Comme nous l'indiquions dans l'ancien article, ce cadran possède 8 lignes horaires, mais les 6e et 7e lignes sont effacées et graduées. La ligne méridienne de ce cadran indique le midi local et chaque ligne horaire indique, comme nous l'avons déjà rencontré, des lieux ou il est aussi MIDI local, l'inscription reconstituée et confirmée de la bordure supérieure étant : « **Meridianos** ».

Les graduations de la périphérie sont quasiment effacées et donc très difficiles à lire, mais nous supposons leurs nouvelles valeurs : (?),(34),(11),(3,5),(-7),((336)),((324)), (317) Seule les graduations 3,5 et 317 sont un peu mieux lisibles que les autres, et nous avons déjà indiqué que toutes ces graduations correspondent à une longitude comptée à partir de l'île de Fer.

Le tableau ci-après donne les valeurs des lignes horaires et des longitudes lues ou supposées sur la périphérie et calculées, ainsi que les lieux probables concernées (les nouveautés apparaissent en rouge) :

Pour les lignes horaires, il faut ajouter algébriquement -6° aux longitudes par rapport à Greenwich car cela correspond sensiblement à la position du cadran à St Julien (nous conservons toujours le doute entre Pourrières et St Julien). Ainsi, nous obtenons les lignes horaires du cadran en appliquant la formule en heures 12h + $\Delta\lambda$, ceci permet de situer les lieux possibles en tenant compte de la liste de Riccioli de 1665 et de l'inversion de signe faite à cette époque.

N° ligne	Heure	Graduation	Calcul	λ /Greenwich	Texte lu	lieux possibles
1	7 : 30		-73,5	- 73		Goa Indiae
2	8 : 30	(34)	-58.5	- 62		Armutia (Ormuz)
3	9 : 40	(11)	- 41	-42		Ortofia Tertola Syrie
4	10 : 50	3,5	- 23,5	- 23		Athena Graciae
5	12 : 55	(-7)	7,75	+ 8		Brigantia (Bragança Portugal)
6	14: 00	((336))	24	+ 24		Cap Vitide (Cap Vert)
7	14 : 48	((324))	36	+ 36		Corvo Inf.
8	16 : 28	(317)	61	+ 61u(a)	Marigalanta Infula

5- Le cadran D5

Ce cadran possède bien 6 lignes horaires. L'inscription reconstituée de la bordure supérieure étant confirmée: "**Meridianos**", ce cadran indique, comme D1, des lieux ou il sera (ou était) MIDI local et non pas des régions. Avec les mêmes méthodes, nous en déduisons ces lieux, toujours en maintenant l'incertitude entre la longitude du couvent de Pourrières et celle de St Julien.

N° ligne	Heure	Graduation	Calcul	L/Greenwich	possible	Nom actuel
1	6 : 50	1(01)	- 83.5	-81	Meliapora	Mylapore (Inde)
2	9 : 10	(66)	- 48.5	- 37°96'	Amara (1)	Amhara (Ethiopie)
3	10 : 40	(45)	- 26	\cong - 18°	Manicongum	(Kimbongo) Congo
4	12 : 30	(18)	1,5	- 0,17	Pictavia (2)	Poitiers (France)?
5	13 : 35	0	360	+ 18,0	Canaria	Canaries (Hierro)
6	15 : 35	334	+4 7.5	+ 44°	Breganca	Bregança (Brésil)

(1) la nouvelle lecture du nom correspond à l'orthographe de Riccioli - longitude \cong 38°(ce qui devrait donner une graduation de 56 au lieu de 66.

(2) Si l'on admet que le 1er caractère résulte de la contraction de Pi.

6- Le cadran D 8

L'inscription située en haut de ce cadran est clairement : « **Media nocte** ».

Il faut donc s'attendre qu'il indique différents lieux au Minuit local, à la manière du cadran D2.

Après un nouvel examen, il ne possède que 7 lignes graduées : ?, ?, 236, 220, 180, 160, (131) et les textes sont toujours illisibles (sauf le début du 7e).

Il résulte de l'étude de D2 que les lignes horaires H sont reliées aux graduations G par la relation: $15H = (384 - G)$ d'où $G = 384 - 15H$.

Ainsi les longitudes du matin sont telles que : $\lambda = 126 - 15H$ et celles de l'après-midi $\lambda = 15H - 258$.

Les résultats des calculs apparaissent dans le tableau ci-après :

N° ligne	Heure	Graduation	Calcul	λ /calculée	Texte lu	Texte possible	λ /Greenwich
1	6 : 40		284	+ 26	_____	Porto Novo (Cap Vert)	26°16'
2	8 : 00		264	+ 6	_____	Dublin (Irlande)	6°16'
3	9 : 50	236	236	- 21,5	_____	Skopje	- 21 25'
4	10 : 55	220	220	- 37,75	_____	Amhara (Ethiopie)	- 37°58'
5	13 : 20	180	184	- 58	_____	Afracanam	- 58°8'
6	14 : 20	160	169	- 43	_____	Djibouti (Arabie Seoudite)	- 43°9'
7	16 : 50	(131)	131	- 5,5	C...	Constantine (Algérie)	- 6°35'

Il est regrettable que l'on ne puisse déchiffrer aucun nom sur les lignes horaires. Par contre les lieux cités ne correspondent généralement pas à la liste de Riccioli de 1665, hormis Amhara et Afracanam.

7- Le cadran D9

L'inscription supérieure de ce cadran ne fait toujours aucun doute, c'est : « **Meridianos** »

Cela sera confirmé par l'analyse, il s'agit donc d'un cadran indiquant des lieux au Midi local. Malheureusement, on ne peut parvenir à deviner les graduations, excepté la dernière qui est la seule comportant trois chiffres : (317)

Il y a cinq lignes graduées : ?, ?, ?, ?, (317).

Sur cliché, la dernière ligne horaire semble débiter par : « **Bon(e)..** » ou « **Don(e)..** »

La quatrième par « **M(a)...** » ou « **N(a)...** »

Voici le nouveau tableau de calculs et d'analyse de ce cadran :

N° ligne	Heure	Graduation	Calcul	L/Greenwich	Texte lu	possible
1	7 : 00 (partiel)			- 81		Krishna Nagar (Inde)
2	8 : 30			- 58,5	_____	Mascate (Oman)
3	11 : 00		1	- 21	_____	Tolmeta (Lybie)
4	13 : 30			16,5	M...	Madère
5	16 : 30	(317)	316	61,5	Don...	Dominico (Antilles)

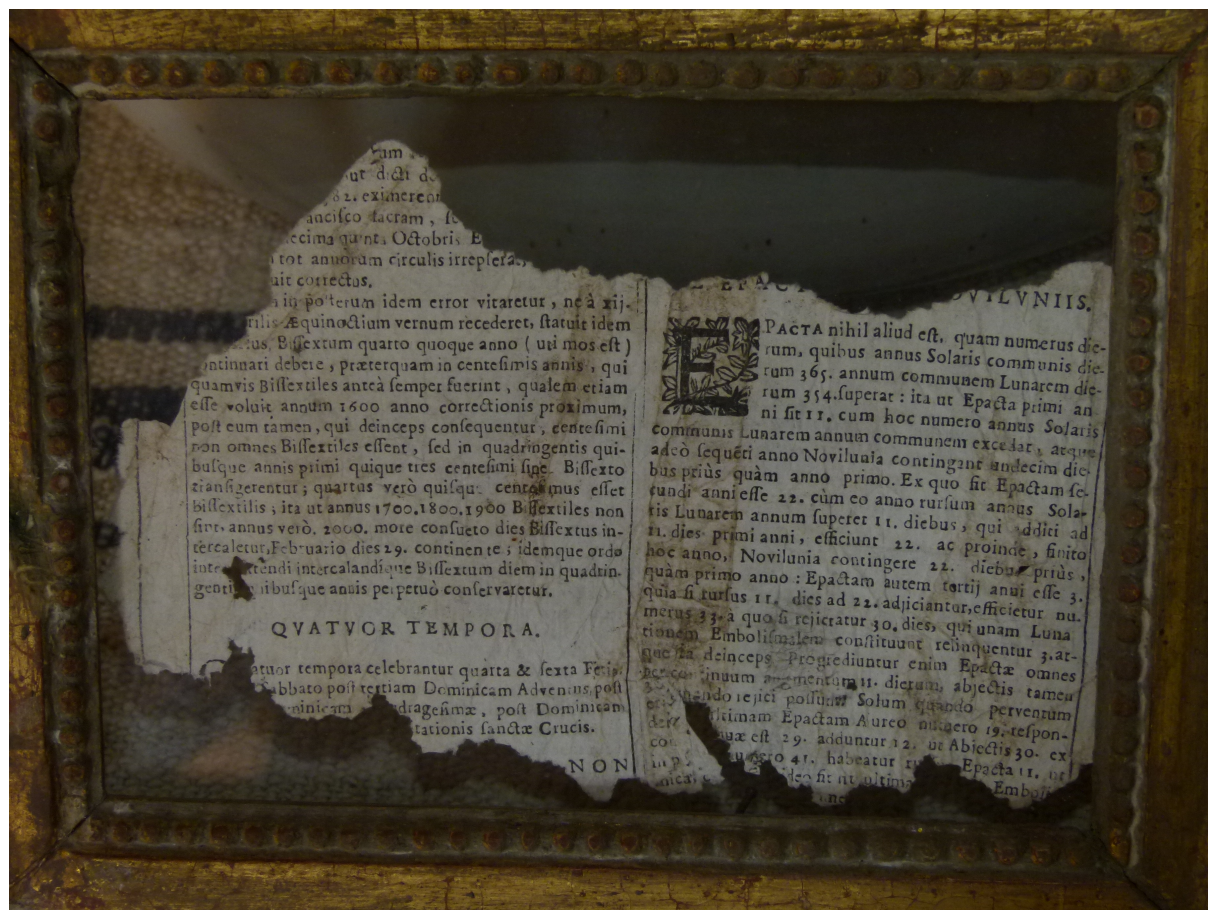
Il s'agit donc bien d'un cadran indiquant des lieux ou il est Midi local. Les lieux cités sont toujours différents de ceux de la liste de Riccioli, et rien ne permet de distinguer entre Pourrières et St Julien.

8) Un document inédit

Vous avons-nous parlé d'un vieux papier déchiré trouvé par l'actuel propriétaire de l'abbaye de Pourrières dans une statue en bois creux?

Nous vous donnons ci-après la primeur d'un cliché de cette "relique" pris sur place et qui révèle un document extrait d'un livre en latin qui décrit les épactes utilisées à cette époque.

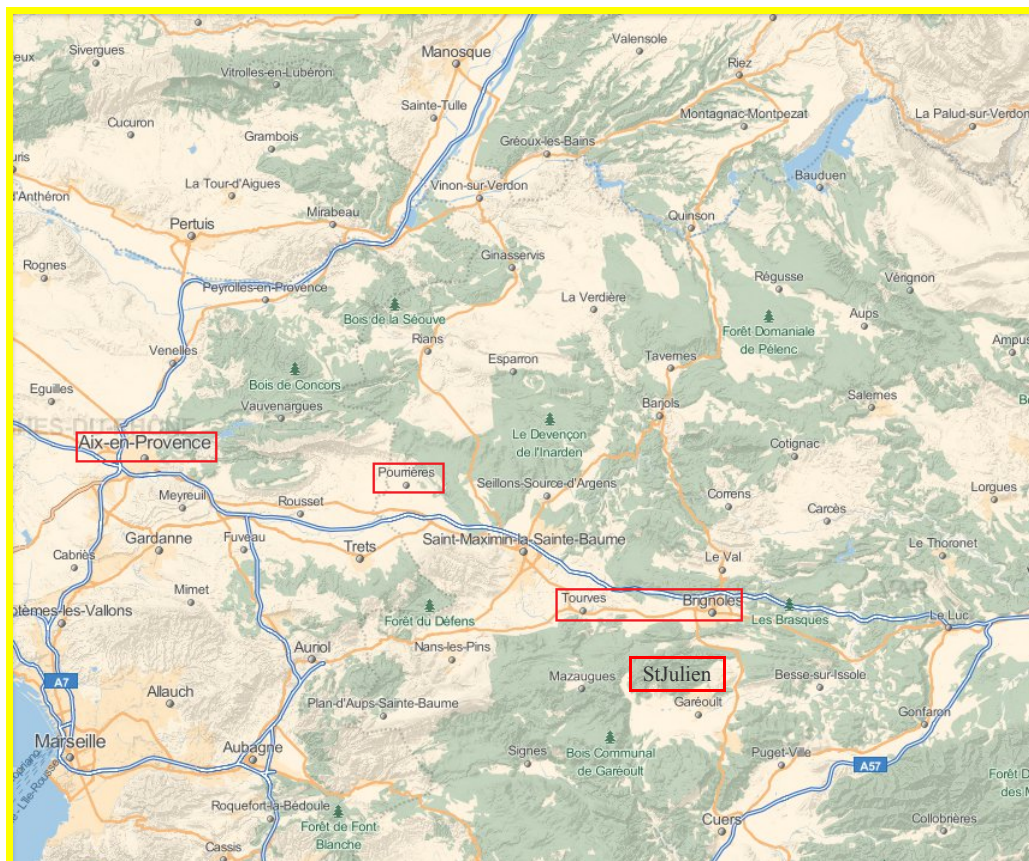
Croyant tenir là un document écrit par le minime Etienne Octoul, nous avons comparé le texte à celui du livre "Inventa Astronomicae primae mundi..." mais rien ne correspond. Encore une énigme à résoudre...



9 - Un peu de géographie locale

Nous pensons utile de montrer ci-après une carte montrant les lieux dont nous avons parlé, avec St Julien sis à proximité de Tourves. Nous donnons également les coordonnées de St Julien et de Pourrières, ainsi nous voyons que les longitudes de ces deux lieux sont très proches et ne peuvent être distinguées sur les documents du XVIIe siècle.

Lieu	Latitude	Longitude
Saint Julien	43°23'28"	5°58' 10"
Pourrières	43°30'9"	5°44'7"



Carte de la région soulignant les lieux voisins de St Julien

10 – Conclusion

Il résulte de cette nouvelle étude que cette table honore très certainement la famille de Glandevès, fondatrice du couvent de Pourrières, mais qu'aucune certitude ne peut être dégagée quant à l'implication du père Etienne Octoul dans sa conception, en particulier par l'utilisation des tables de Lamsberg dont il se servait. Par contre, bien que les orthographes correspondent bien à celles utilisées au 16e siècle et soient identiques à celles de Riccioli, il est clair qu'aucune de ces tables, pourtant précieuses, n'a servi directement à l'élaboration des divers lieux.

Nous sommes conscients que cette étude remet en question celle des autres cadrans circulaires, et il nous reste encore beaucoup de travail, mais comme il s'agit d'une tâche assez longue nous préférons reporter cela dans une étude future, en espérant que ces nouveautés suffiront à accompagner notre démarche ou celle de collègues passionnés. Et comme nous avons appris que Jean-François Nicéron était tombé malade dès son arrivée à Pourrières en 1646, nous commençons à penser que cette table pourrait être le résultat d'une œuvre collective de plusieurs érudits minimes ayant séjourné dans cette abbaye, à moins qu'elle n'ait été réalisée un peu plus tard. Reste à savoir pourquoi cette table aurait voyagé jusqu'à Saint Julien, bien que la distance soit courte entre ces différents sites. Peut-être a-t-on voulu la mettre à l'abri des voleurs ou des révolutionnaires en lui donnant la position apparente d'un cadran solaire vertical "ordinaire" sur le mur d'une bastide?





Cadran à l'université de Grenoble

Hugues Vermeille- Yvon Siret

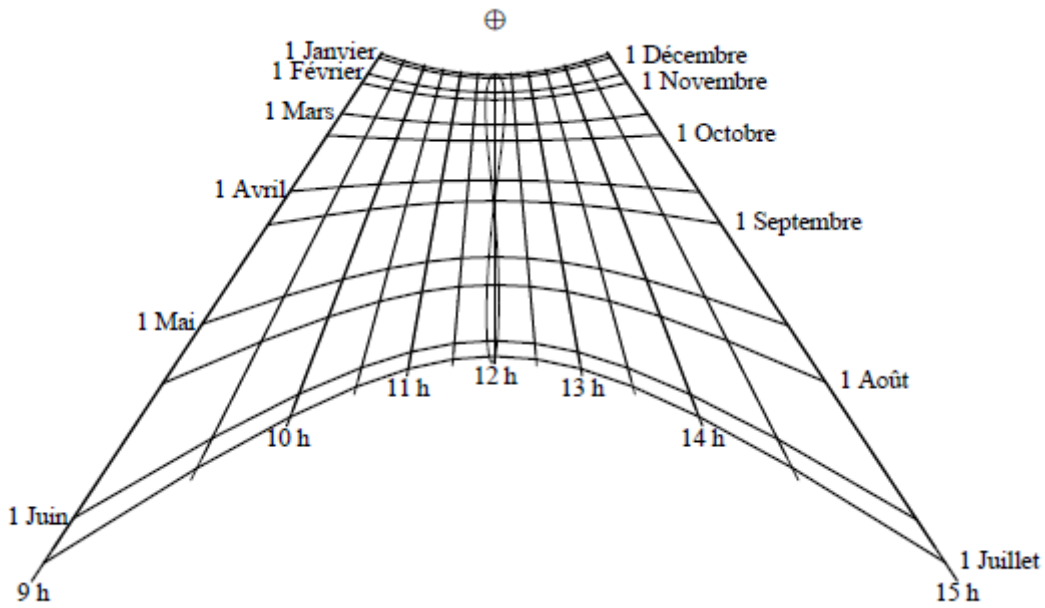
Voici la description du calendrier-cadran solaire réalisé par H. Vermeille pour le Domaine Universitaire 31 rue des Mathématiques à Saint-Martin-d'Hères en Isère et visité lors de notre réunion de mai.

Préambule

Il fut un temps où la position du soleil dans le ciel semblait suffisante pour indiquer la marche des heures et en particulier l'heure de midi. Mais dès l'invention des premières horloges il devint évident que suivant la saison, le soleil était en avance ou en retard sur le midi des horloges, cet écart pouvant dépasser seize minutes. Ainsi sous Louis XIV, les horlogers de Paris avaient pris pour armoiries une pendule avec cette devise : *Solis mendaces arguit horas* (Elle prouve que les heures du soleil sont menteuses). La plupart des cadrans solaires plans, même contemporains, restent les témoins de cette ancestrale approximation et sont reconnaissables au fait que les heures sont représentées par des segments de droite.

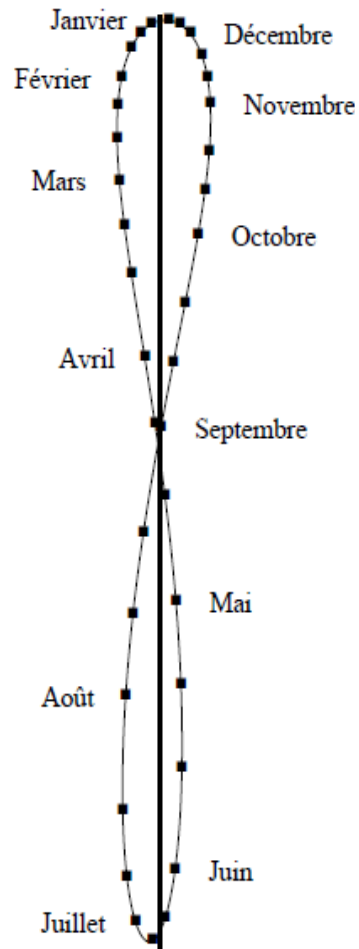
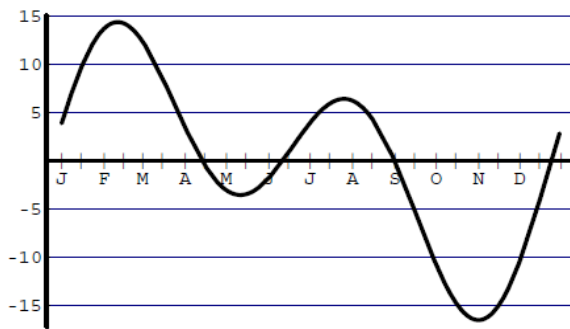


Cependant, pour tenter d'y remédier, certains cadrans présentent, superposée au segment de midi, une courbe en forme de huit indiquant la position réelle du Soleil à midi au cours des saisons, comme le montre le dessin ci-dessous d'un cadran vertical méridional classique. Lorsque l'ombre du style passe sur le segment de midi, on dit qu'il est midi vrai mais suivant l'époque de l'année, le midi moyen (celui de la montre) précède ou suit le midi vrai. La différence de durée est appelée équation du temps. Cet écart est nul vers le 15 avril, le 14 juin, le 1er septembre et le 25 décembre. Il passe par des valeurs extrémales vers le 12 février (+14 minutes), le 16 mai (-4 minutes), le 26 juillet (+ 6 minutes) et le 3 novembre (-16 minutes). On peut calculer l'équation du temps pour toute heure de la journée et imaginer de remplacer tous les segments de droite par des huit appropriés. Mais si l'on souhaitait des graduations à des intervalles aussi rapprochés que cinq minutes, au lieu d'une demi-heure comme sur l'exemple, on obtiendrait un réseau de courbes complètement illisible. Certains constructeurs ne dessinent qu'un cadran simple mais adjoignent la courbe de l'équation du temps pour midi, laissant au visiteur le soin de faire mentalement la correction sur la lecture, en admettant qu'elle est valable pour toutes les heures de la journée. Mais une conclusion s'impose : quelle que soit la méthode employée, l'évaluation de la correction à l'œil nu, ne peut être qu'approximative.



Exemple de cadran vertical méridional

Les deux figures suivantes montrent respectivement un agrandissement de la droite de midi avec la courbe en 8 de correction et le tracé de l'équation du temps en fonction des mois de l'année.



Caractéristiques du calendrier-cadran de l'Université

Tracé des heures

L'idée retenue a été de faire un cadran, assez précis (une courbe horaire toutes les 5 minutes), à lecture directe en temps universel (c'est-à-dire ne tenant pas compte du décalage d'une heure en hiver et de deux en été entre le temps l'égal et le temps universel), incluant automatiquement les corrections de l'équation du

temps et de la réfraction atmosphérique. Pour éviter le chevauchement des courbes en huit mentionnées plus haut, on a choisi la solution de dédoubler le cadran en réservant l'utilisation de chacune des deux parties obtenues l'une à l'hiver et au printemps (du 20 décembre au 21 juin), l'autre à l'été et à l'automne (du 21 juin au 20 décembre). Les huit se réduisent alors à des S qui ne se chevauchent plus et forment deux réseaux distincts parfaitement lisibles.

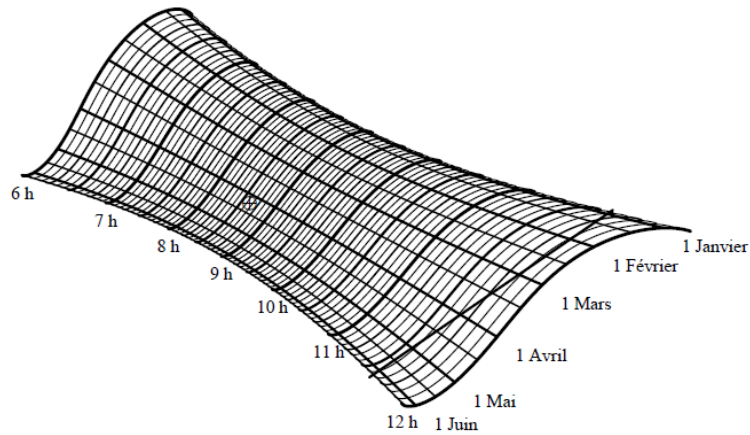
Tracé des mois et de leurs quantièmes

La course du Soleil qui pendant la journée est plus ou moins haute dans le ciel suivant la saison, peut être matérialisée sur le cadran par une ligne continue pendant un jour quelconque de l'année. Nous avons choisi pour que le dessin reste lisible, de ne tracer cette ligne que pour le premier et le quinze de chaque mois. Sur le cadran final, les lignes des équinoxes de printemps et d'automne ont également été tracées.

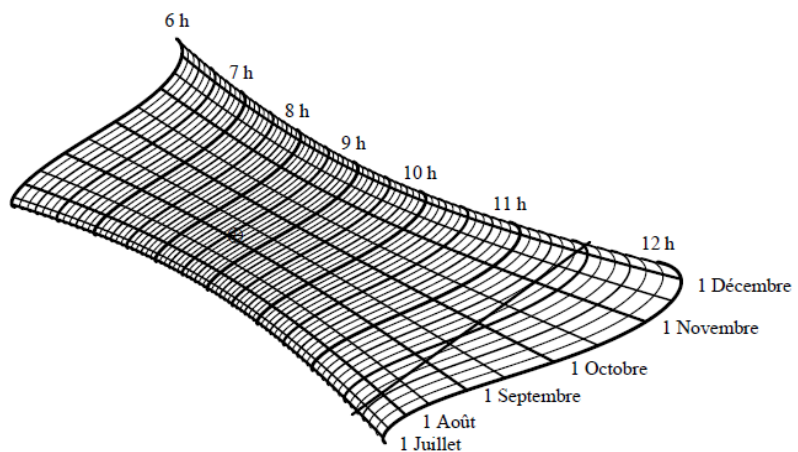
Cadran à deux faces

Pour construire un cadran plan utilisable du lever au coucher du soleil en particulier en été où la durée du jour peut dépasser seize heures, on est contraint d'utiliser un cadran à deux faces orientés différemment, dont l'une est destinée aux heures du matin (par exemple de 6h à 12h) et l'autre aux heures du soir (par exemple de 12h à 18h).

En choisissant deux orientations, on évite aussi le problème des tracés de courbe qui sortent du cadre aux heures où le Soleil est en éclairage rasant. La solution retenue consiste en deux plans inclinés, l'un dirigé vers le Sud-Est et l'autre vers le Sud-Ouest, sous la forme d'une pyramide dont la troisième face est orientée au Nord. En fin de compte on dessine quatre cadrans. Pour la pyramide, on a choisi un cube tronqué suivant un plan diagonal placé horizontalement. Il est facile de voir que les plans Sud-Est et Sud-Ouest sont orientés à 60° et que leur inclinaison vaut environ 55°. De plus, la perpendicularité des plans facilite la réalisation de l'ensemble et son orientation est rendue aisée puisque l'arête commune des deux plans est orientée vers le Sud. Les figures suivantes



Cadran Sud-Est hiver-printemps (6h-12h)



Cadran Sud-Est été-automne (6h-12h)

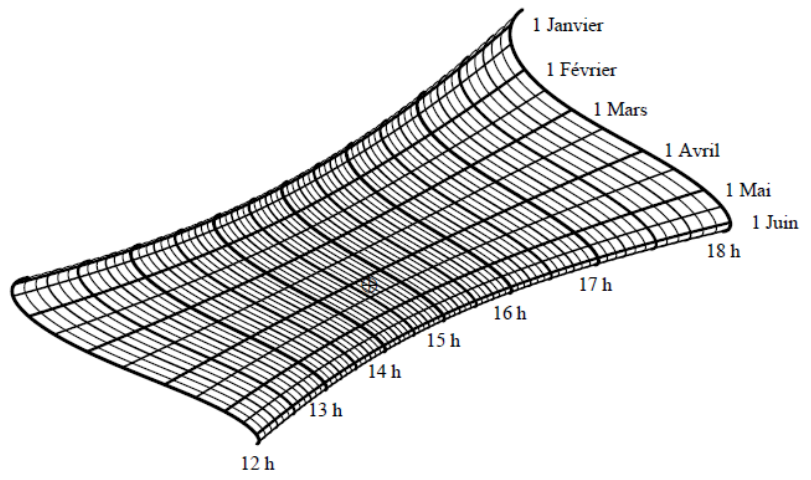
montrent la décomposition en quatre cadrans. Sur les cadrans Sud-Est, les droites qui coupent le réseau de courbes au voisinage de 12h marquent le passage du Soleil au méridien du lieu. Une remarque est importante : sur les cadrans Sud-Est au voisinage de 6h et sur les cadrans Sud-Ouest au voisinage de 18h, il y a des parties de courbes qui ne sont jamais atteintes par l'image du soleil car elles correspondent à des heures où le soleil est sous l'horizon. Nous les avons cependant tracées pour que le réseau de courbes garde une certaine esthétique.

Lecture du calendrier-cadran

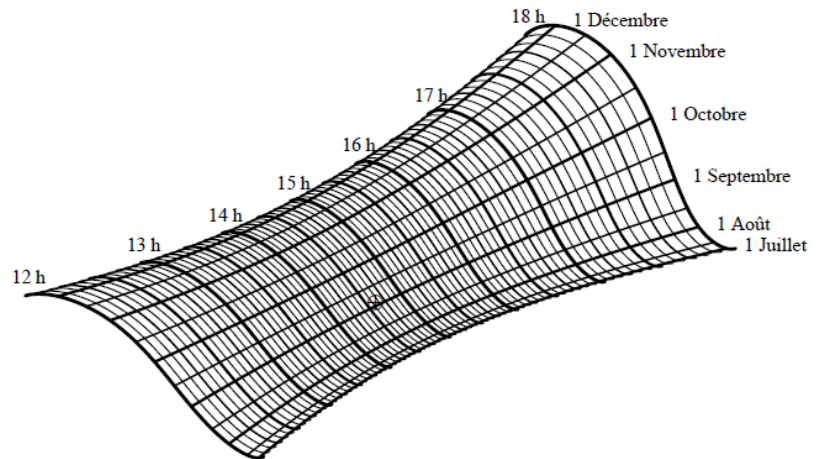
On voit sur les schémas précédents que la position du pied des styles est repérée par une petite croix au milieu des réseaux de courbes, ce qui peut être

gênant pour la lecture si l'on place un style perpendiculaire au cadran en ce point. On sait que certains cadrans solaires présentent au sommet du style une petite plaque percée qui donne une image du soleil, beaucoup plus précise pour la lecture que l'extrémité de l'ombre d'une tige. C'est l'option qui a été retenue.

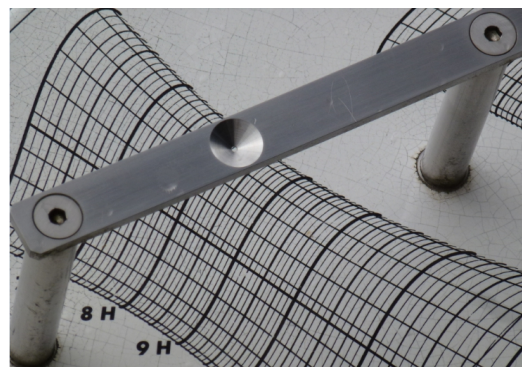
Les photographies suivantes montrent la réalisation du cadran. La détermination de la date et de l'heure s'effectue en repérant sur les réseaux



Cadran Sud-Ouest hiver-printemps (12h-18h)



Cadran Sud-Ouest 'et'e-automne (12h-18h)



de la face éclairée du cadran les deux taches brillantes formées par l'image du Soleil à travers deux œilletons. Ceux-ci sont concrétisés par deux trous circulaires pratiqués dans une barre plate parallèle à la surface du cadran. La distance de cette plaque au plan incliné est égale à la hauteur du style définissant l'échelle des dessins. A chacune des deux lectures correspond une date qui permet de déduire l'heure légale en ajoutant une ou deux heures à l'heure lue selon

que s'applique l'heure d'été ou l'heure d'hiver. Ainsi sur la photographie de la face Sud-Ouest, on peut lire sur le réseau supérieur que nous sommes le 8 août à 12h 16 c'est-à-dire à 14h 16 heure d'été et sur le réseau inférieur que nous sommes le 2 mai à 12h 07 c'est-à-dire à 14h 07 heure d'été.

Pour lever l'indétermination sur les deux dates, l'observateur est censé savoir dans quelle période de l'année on se trouve. Il peut aussi revenir le lendemain : l'un des cadrans indiquera 1 jour de moins, l'autre 1 jour de plus, ce qui lèvera l'indétermination.

Calcul d'un cadran solaire plan

Cette section est destinée aux lecteurs ayant quelques notions d'astronomie et désirant connaître une méthode de calcul d'un cadran solaire plan. Le problème est celui de la détermination des coordonnées (x, y) du sommet de l'ombre d'un style ou mieux de l'image du soleil donnée par un trou percé au sommet de ce style, sur un plan incliné de pente β et dont l'orientation notée A_0 est comptée à partir du Sud positivement d'Est en Ouest. Pour établir les formules, nous proposons une méthode géométrique concise et ne faisant appel qu'à la géométrie élémentaire.

La direction du Soleil est repérée par les deux paramètres caractéristiques du repère horizontal terrestre, à savoir l'angle h_0 (hauteur apparente) et l'azimut A , comme le montre la figure ci-dessous. La réfraction atmosphérique fait apparaître le Soleil plus haut qu'il n'est en réalité dans le ciel. Elle est importante pour les faibles hauteurs du Soleil. Elle ne concerne que la hauteur et non l'azimut. Si l'on veut que l'indication donnée par le cadran, qui correspond à une hauteur du Soleil apparente h_0 , soit correcte, il faut obtenir la valeur de h (hauteur vraie) et lui ajouter une quantité positive $R(h)$. On pose $h_0 = h + R(h)$ (h et R sont en degrés). La formule proposée pour $R(h)$ est une approximation élaborée à partir des données de l'annuaire du Bureau des Longitudes issues des tables de Radau (1889) :

$$R(h) = \frac{1}{24} \left(\frac{13}{3} - h + \sqrt{39 - \frac{41h}{5} + h^2} \right).$$

Les paramètres A et h peuvent être calculés pour tout instant par des formules connues de l'astronomie.

Formules générales des coordonnées de la tache lumineuse

En se référant à la figure dans laquelle on note la hauteur du style par a , on a :

$$OS = a, \quad ON = y, \quad NM = PQ = x$$

$$QM = PN = y \sin \beta, \quad TS = a \cos \beta, \quad OT = a \sin \beta, \quad OP = y \cos \beta$$

$$\operatorname{tg} h_0 = \frac{TS}{RT} = \frac{QM}{RQ} = \frac{TS - QM}{RT - RQ} = \frac{TS - PN}{QT} = \frac{a \cos \beta - y \sin \beta}{QT}$$

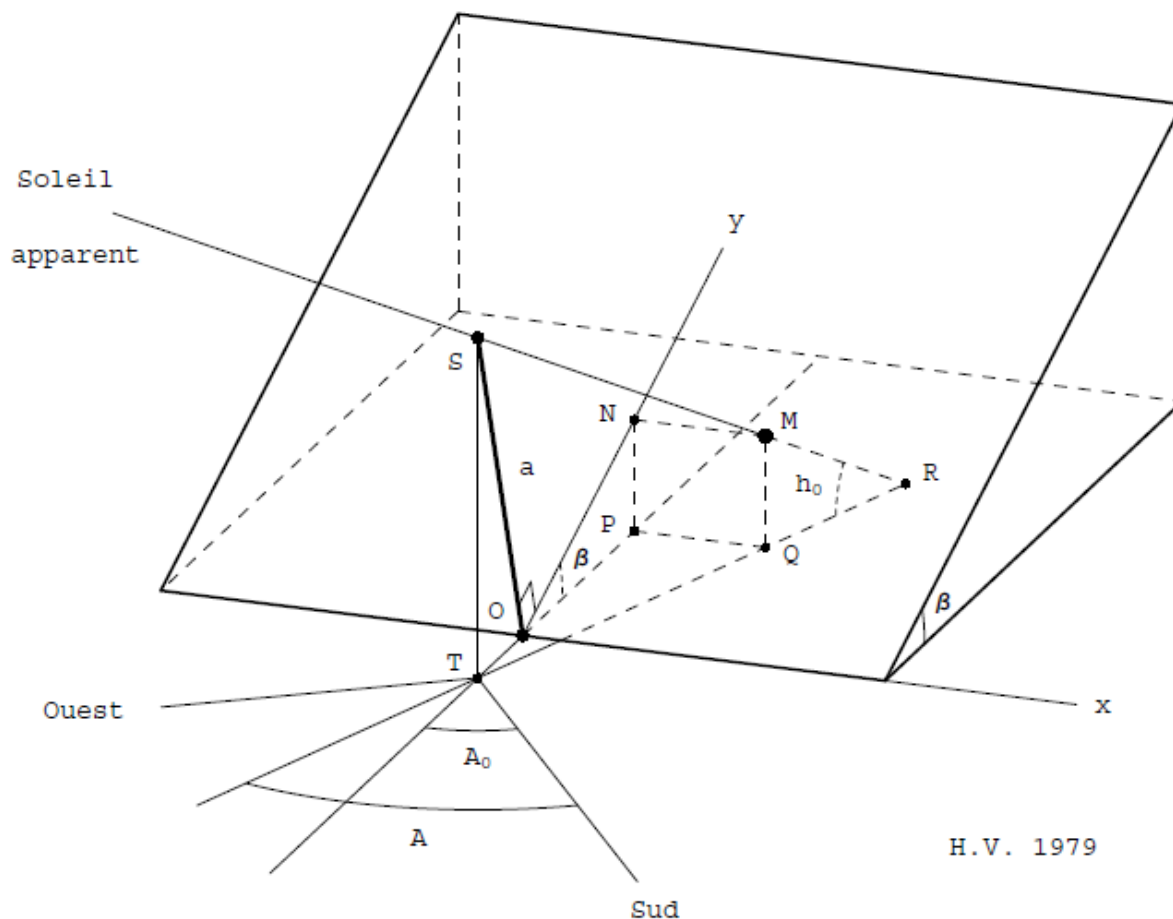
$$\sin(A - A_0) = \frac{PQ}{QT} = \frac{x}{QT}$$

$$\cos(A - A_0) = \frac{TP}{QT} = \frac{TO + OP}{QT} = \frac{a \sin \beta + y \cos \beta}{QT}$$

d'où en éliminant QT , les coordonnées x et y de la tache lumineuse sur le plan du cadran :

$$x = a \frac{\sin(A - A_0) \cos h_0}{\sin \beta \cos(A - A_0) \cos h_0 + \cos \beta \sin h_0},$$

$$y = a \frac{\cos \beta \cos(A - A_0) \cos h_0 - \sin \beta \sin h_0}{\sin \beta \cos(A - A_0) \cos h_0 + \cos \beta \sin h_0}.$$



Rappel d'astronomie¹

Les paramètres intervenant dans les formules astronomiques et géométriques sont les suivants, les angles étant en degrés décimaux :

- A : Azimut du Soleil (-180, 180)
- A₀ : Azimut du cadran (-180, 180)
- C : Equation du centre du Soleil
- h : Hauteur du soleil au dessus de l'horizon (-90, 90)
- h₀ : Hauteur apparente du Soleil (-90, 90)
- JJ : Date julienne
- L₀ : Longitude moyenne du Soleil(0, 360)

¹ On pourra consulter le livre de Jean Meeus, Calculs astronomiques a l'usage des amateurs, édité par la Société Astronomique de France, 2014.

L : Longitude apparente du Soleil (0, 360)
 M : Anomalie moyenne du Soleil (0, 360)
 R : Réfraction atmosphérique
 T : Temps en siècle julien depuis le 1 janvier 2000 12h UT
 α : Ascension droite du Soleil (0, 360)
 β : Inclinaison du plan du cadran (0, 90)
 δ : Déclinaison apparente du Soleil (-90, 90)
 ε_0 : Obliquité moyenne de l'écliptique
 ε : Obliquité de l'écliptique
 θ_0 : Temps sidéral à Greenwich (0, 360)
 θ : Temps sidéral local (0, 360)
 κ : Constante de l'aberration (0.0056932)
 λ : Longitude du lieu du cadran (-180, 180)
 v : Correction de la nutation
 φ : Latitude du lieu du cadran (-90, 90)
 Ω : Longitude du nœud ascendant de la lune(0, 360)

Les paramètres A et A0 sont comptés à partir du Sud et positivement d'Est en Ouest. La longitude λ est comptée à partir de Greenwich et positivement d'Ouest en Est. La latitude φ est comptée à partir de l'équateur et positivement du Sud vers le Nord. Le paramètre T est le temps mesuré en siècle julien de 36525 jours à partir du jour julien 245545 (1.5 Janvier 2000). Pour un instant donné sous la forme (an, mois, jour, heure, minute, seconde), la valeur correspondante de la date julienne JJ se calcule par l'algorithme simplifié ci-dessous (La fonction "Entier" est une fonction qui prend la partie entière de son argument) :

$y = \text{an} ;$
 $m = \text{mois} ;$
 Si mois < 3 alors ($y = y - 1 ; m = m + 12$) ;
 $a = \text{Entier}(y) ;$
 $b = 2 - a + \text{Entier}(a/4) ;$
 $JJ = \text{Entier}(365.25 y) + \text{Entier}(30.61*(m+1)) + \text{jour} + \text{heure}/24 + \text{minute}/1440$
 $+ \text{seconde}/86400 + b + 17209945/10 ;$

$T = (JJ - 2451545) / 36525$
 $L_0 = 280.46646 + 36000.76983 T + 0.0003032 T^2$
 $M = 357.52911 + 35999.05029 T - 0.0001537 T^2$
 $C = (1.914602 - 0.004817 T - 0.000014 T^2) \sin M + (0.019993 - 0.000101 T) \sin 2M + 0.000289 \sin 3M$
 $\Omega = 125.04 - 1934.136 T$
 $v = 0.00478 \sin \Omega$
 $\kappa = 0.0056932$
 $\varepsilon_0 = (84381.448 - 46.815 T + 0.00059 T^2 + 0.001813 T^3) / 3600$
 $\varepsilon = \varepsilon_0 + 0.00256 \cos \Omega$
 $L = L_0 + C - \kappa - v$
 $\theta_0 = 280.46061837 + 360.98564736629 36525 T + 0.000387933 T^2 - (T^3 / 38710000)$
 $\theta = \theta_0 + \lambda$

Pour calculer effectivement les coordonnées x et y il faut connaître l'azimut A ou les valeurs de sin A et de cos A ainsi que la hauteur h à partir de laquelle on calculera la hauteur apparente $h_0 = h + R(h)$ et les valeurs sin h_0 et cos h_0 . L'astronomie ne nous fournit pas directement les valeurs A et h en fonction du temps. Elles sont plutôt calculées à partir de la longitude écliptique du Soleil L, de l'inclinaison ε , du temps sidéral au méridien origine θ_0 (ces trois grandeurs étant connues en fonction du temps avec une grande précision par les formules précédentes), de l'ascension droite α , de la déclinaison δ , du temps sidéral local θ et des coordonnées géographiques du lieu du cadran (longitude λ et latitude φ).

Toutes ces grandeurs sont reliées entre elles par les formules bien connues des changements de coordonnées écliptiques en coordonnées terrestres :

$$\cos \alpha \cos \delta = \cos L \quad (1)$$

$$\sin \alpha \cos \delta = \sin L \cos \varepsilon \quad (2)$$

$$\sin \delta = \sin L \sin \varepsilon \quad (3)$$

permettant de calculer α et δ et

$$\cos h \cos A = \sin \varphi \cos \delta \cos(\theta - \alpha) - \cos \varphi \sin \delta \quad (4)$$

$$\cos h \sin A = \cos \delta \sin(\theta - \alpha) \quad (5)$$

$$\sin h = \cos \varphi \cos \delta \cos(\theta - \alpha) + \sin \varphi \sin \delta \quad (6)$$

permettant de calculer A, h.

Calcul effectifs des grandeurs utiles

Dans le calcul effectif des coordonnées, il n'est pas toujours nécessaire d'extraire la valeur d'un angle, ses lignes trigonométriques pouvant suffire. Nous donnons la méthode que nous avons employée pour les différents paramètres.

Calcul relatif à α

On se sert des formules (1) et (2) pour former $\tan \alpha = \cos \varepsilon \tan L$ d'où nous dérivons :

$$\alpha = L - \arctg \frac{\sin 2L}{\cos 2L + \cotg^2 \frac{\varepsilon}{2}}$$

Calcul relatif à δ

Comme nous n'avons pas besoin de la valeur explicite de δ , la formule (3) nous donne sin δ et sans ambiguïté :

$$\cos \delta = \sqrt{1 - \sin^2 \delta}$$

Calcul de la hauteur vraie h

Par la formule (6), on calcule

$$\sin h, \cos h = \sqrt{1 - \sin^2 h} \text{ et } h$$

Par : $h = \arcsin(\cos \varphi \cos \delta \cos(\theta - \alpha) + \sin \varphi \sin \delta)$

Calcul de la hauteur apparente h_0

$$h_0 = h + \frac{1}{24} \left(\frac{13}{3} - h + \sqrt{39 - \frac{41h}{5} + h^2} \right)$$

d'où $\sin h_0$ et $\cos h_0$.

Calcul relatif a l'azimut

On remarque que si dans les formules finales pour x et y, on développe les termes $\sin (A-A_0)$ et $\cos (A-A_0)$ on fait apparaître les quantités $\sin A$ et $\cos A$. Connaissant $\cos h$ on tirera donc ces deux lignes trigonométriques à partir des formules (5) et (6) et on les injectera dans les formules x et y.

Expression finale des coordonnées x et y

$$x = a \frac{(\sin A \cos A_0 - \sin A_0 \cos A) \cos h_0}{\sin \beta (\cos A \cos A_0 + \sin A \sin A_0) \cos h_0 + \cos \beta \sin h_0}$$

$$y = a \frac{\cos \beta (\cos A \cos A_0 + \sin A \sin A_0) \cos h_0 - \sin \beta \sin h_0}{\sin \beta (\cos A \cos A_0 + \sin A \sin A_0) \cos h_0 + \cos \beta \sin h_0}$$

Exemple simple

A titre d'exemple, nous avons tracé par les formules ci-dessus, deux méridiennes pour le lieu :

$$\lambda = 5.7705^\circ, \varphi = 45.1946^\circ$$

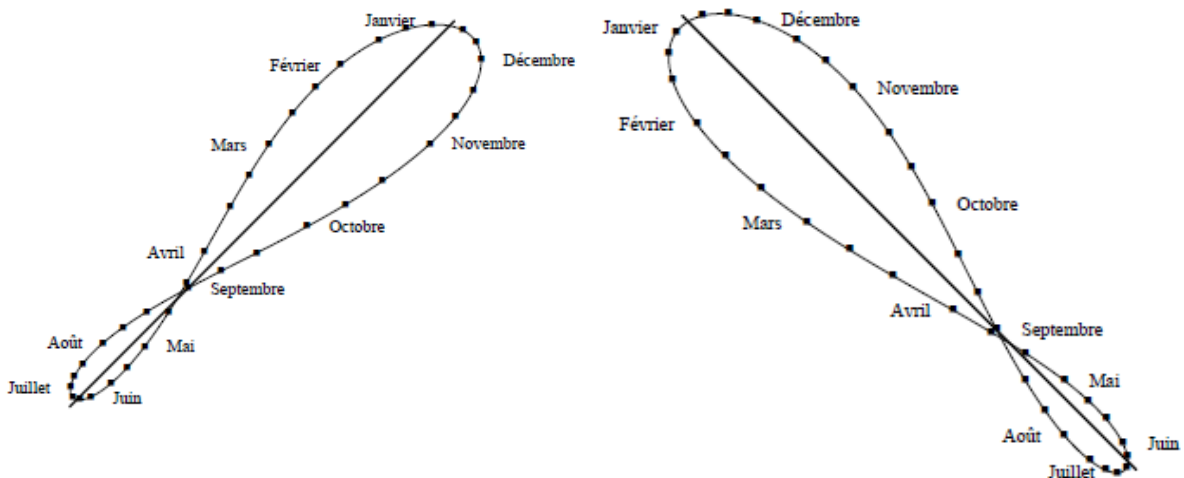
sur deux plans inclinés :

$$(\beta = \arctg \sqrt{2})$$

et orientés respectivement vers le Sud-Est et le Sud-Ouest ($A_0 = 60^\circ$).

Pour le lieu choisi, l'heure du passage de l'image du Soleil sur les courbes (midi vrai) est 11 h 37 min. Le pied des styles respectifs sont marqués par une croix. La hauteur du style est fonction de l'échelle du dessin. Il est inutile de la donner ici. Les courbes en forme de huit sont obtenues en appelant la fonction qui calcule les coordonnées de la tache par rapport au pied des styles respectifs (origine des coordonnées) à 11 h 37 min pour 365 jours à partir du 19 décembre à 12h. On a marqué sur les courbes les jours 1, 10 et 20 de chaque mois.

On a fait figurer également la droite de passage du soleil au méridien du lieu.



Page précédente, sur le schéma de gauche, une méridienne orientée Sud-Est, sur le schéma de droite, une méridienne orientée Sud-Ouest.

Remarque finale

Le lecteur aura remarqué que les paramètres astronomiques dépendent du temps et peut déduire à juste titre que le tracé du cadran va devenir progressivement inexact. Mais la variation est tellement lente à l'échelle humaine que la validité du dessin est assurée pour un grand nombre d'années.

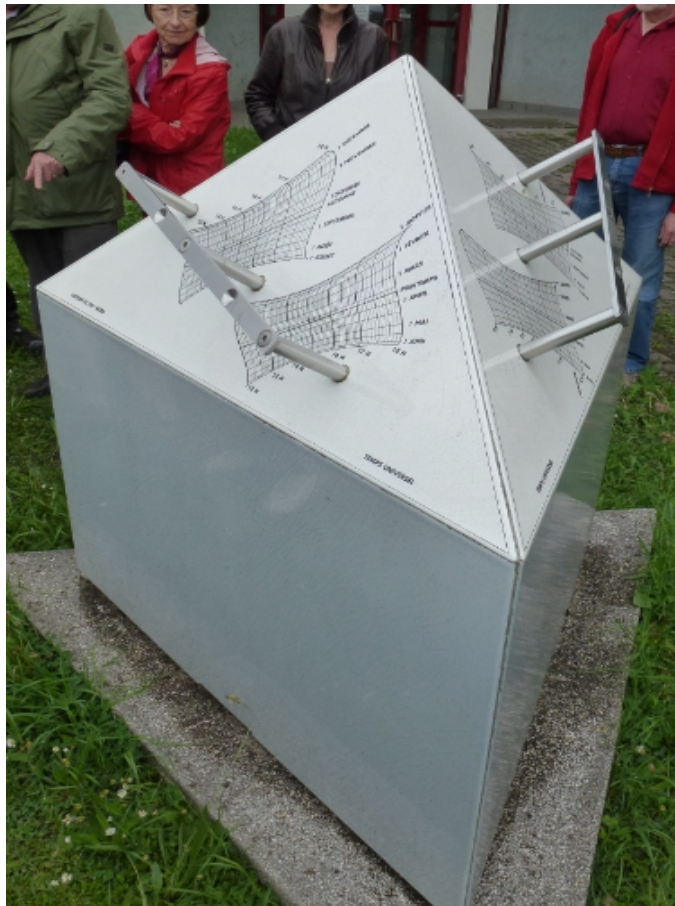
Grenoble - 15 Avril 2015

Détails sur le cadran

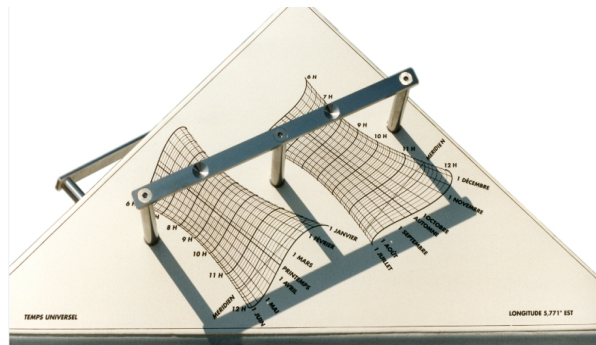
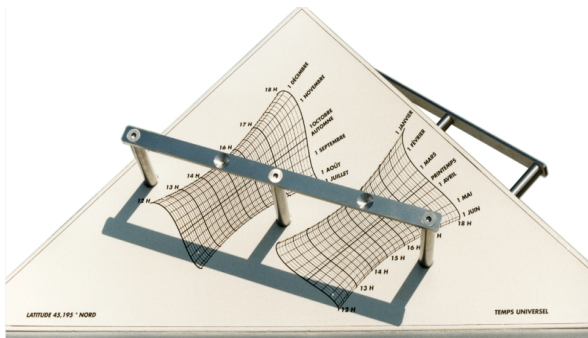
La pyramide à 3 faces associée à ses 3 panneaux verticaux est creuse.

Elle repose par l'intermédiaire d'encoches situées au bas de chaque panneau vertical sur une jupe métallique réglable en rotation et en inclinaison et posée sur un plateau d'acier scellé au sommet d'un pylône central en béton. Les trois vis de réglage d'horizontalité et les vis de blocage sont accessibles par une trappe située au milieu du panneau vertical nord. Les trois panneaux triangulaires du cadran et leurs trois panneaux rectangulaires verticaux associés sont en lave de Volvic émaillée, réalisés et assemblés par la société Pyrolave de Castelsarrasin.

Les seules contraintes mécaniques imposées étaient la perpendicularité des faces Sud-Est et Sud-Ouest et la précision des six trous destinés aux inserts supports des six colonnettes supportant les deux réglettes porte-œilletons.

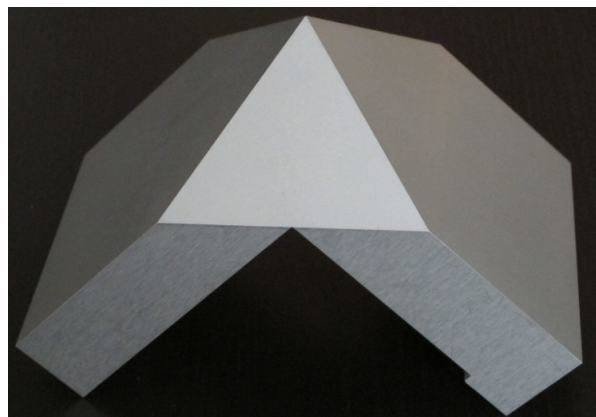


Celles-ci, leurs supports et leurs inserts respectifs ont été usinés en acier inoxydable au molybdène type 316, la mécanique interne restant en acier standard. Une fois "l'horizontalité" effectuée à l'aide de niveaux à bulle posés sur une équerre amovible spéciale s'appuyant sur les deux faces perpendiculaires du cadran, l'azimut du cadran a été ajusté lors du passage du Soleil au voisinage du méridien à une heure UTC connue (voir face Sud-Est). Toute la partie mécanique était sous la responsabilité de la société Alpes Instruments de Meylan dont nous assurions alors la présidence et la direction.



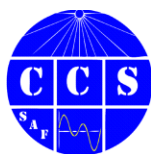
Face Nord du cadran ▲

Equerre amovible ayant servit au positionnement du cadran ▼



⇒ Dans la version numérique, en annexe :
Le fichier pdf original sous le nom de "CadranUniv-finalH2.pdf"





Méridienne sur un hyperboloïde

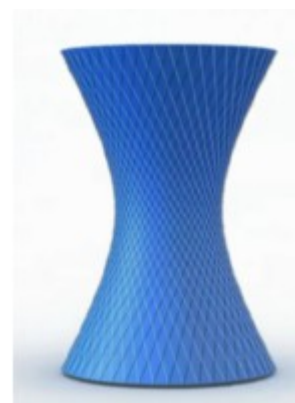
Francis Ziegeltrum

Méthode de fabrication d'un hyperboloïde à une nappe de révolution en plâtre et tracé d'un cadran solaire de temps moyen sur celui-ci.

1. Introduction

L'hyperboloïde est une surface de la famille des quadriques réglées. Cette forme est devenue familière depuis qu'elle est utilisée pour la réalisation des aéroréfrigérants des centrales nucléaires. Etant donné que cette surface est engendrée par une droite tournant autour d'un axe il me semblait intéressant de trouver une méthode de fabrication d'un hyperboloïde à une nappe de révolution en plâtre puis d'y tracer un cadran solaire de temps moyen.

À ma connaissance, seuls deux gnomonistes, Joseph Mollet et Denis Savoie, ont traité ce sujet, sans toutefois parvenir à une solution permettant la réalisation d'un cadran solaire et encore moins d'un cadran solaire de temps moyen.



2. Réalisation d'un hyperboloïde en plâtre

L'hyperboloïde étant une surface de révolution engendrée par une droite il semble naturel de le réaliser à l'aide d'un tour.

Le tour que j'ai utilisé est d'une extrême simplicité. Le bâti est composé de deux planchettes carrées en bois et de 4 tiges filetées les maintenant ensemble tout en fixant un espace entre elles correspondant à la hauteur de l'hyperboloïde. Une règle métallique placée de biais matérialise la génératrice et permet de lisser le plâtre que l'on applique autour d'un tube en carton servant de support et que l'on fait tourner lentement, par exemple avec une perceuse.



3. Calcul des courbes en huit

Soit un hyperboloïde d'axe parallèle à Oz généré par une droite de vecteur directeur \vec{AB} .

Les points A et B se déplacent sur 2 cercles de même rayon R mais sont angulairement décalés d'un angle φ . La distance entre les 2 cercles est appelée H. On appellera base le cercle portant le point A.

À une distance h de la base est placé, depuis l'axe de rotation de l'hyperboloïde, un gnomon radial de longueur L. Le point P désigne l'extrémité du gnomon dont l'ombre projetée sur la surface indiquera l'heure locale. Le point P est l'origine des coordonnées horizontales.

Les coordonnées du point A s'écrivent
$$\begin{pmatrix} R \cos(\theta) - L \\ R \sin(\theta) \\ -h \end{pmatrix}$$

et celles du point B
$$\begin{pmatrix} R \cos(\theta + \varphi) - L \\ R \sin(\theta + \varphi) \\ H - h \end{pmatrix}$$

Ainsi le vecteur directeur \vec{AB} de la droite génératrice a comme coordonnées

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta + \varphi) - \cos\theta \\ \sin(\theta + \varphi) - \sin\theta \\ H/R \end{pmatrix}$$

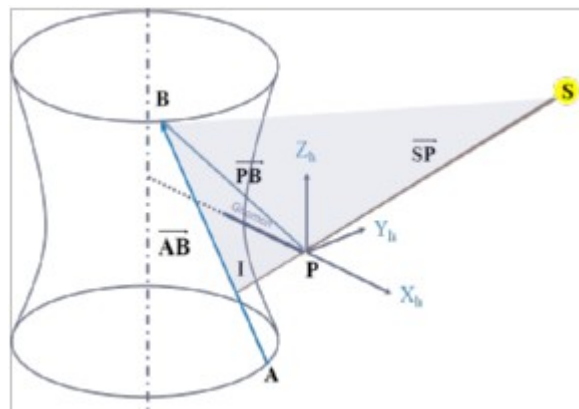
Remarque :

Suivant la valeur de φ la surface réglée sera un cylindre ($\varphi=0$), un hyperboloïde ($0 < \varphi < 180^\circ$) ou un cône ($\varphi=180^\circ$). Ces 3 surfaces font donc parties d'une même famille.

Soit S la représentation locale du Soleil, les coordonnées horizontales de S sont
$$\begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \end{pmatrix}$$

Ces coordonnées horizontales se calculent aisément en utilisant la méthode matricielle décrite dans mon traité abrégé de gnomonique.

Un point I projection de P appartient à la surface réglée, si et seulement si il appartient à une des droites génératrices, c'est-à-dire si et seulement si les vecteurs \vec{SP} , \vec{AB} et \vec{PB} sont coplanaires.



Pour un instant donné, il s'agit donc de déterminer le vecteur directeur \vec{AB} tel que le produit mixte $(\vec{SP}, \vec{AB}, \vec{PB})=0$

La solution la plus simple est de déterminer l'angle θ par la méthode de dichotomie.

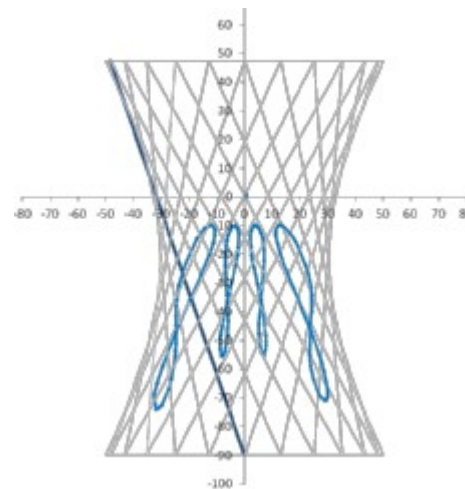
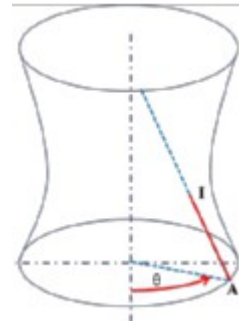
Connaissant l'angle θ il est alors possible de calculer les coordonnées du vecteur \vec{AB} puis de calculer les coordonnées du point I, point d'intersection de la droite passant par A et la droite passant par S et P. Il est alors facile de calculer la longueur du segment AI.

L'angle θ et la longueur du segment AI permettent de positionner de façon précise un point I sur la surface de l'hyperboloïde. Ces coordonnées je les ai appelées coordonnées pseudo-polaires.

Le calcul des coordonnées pseudo-polaires s'effectue à l'aide d'un tableau Excel complété d'un certain nombre de fonctions programmées en visual basic permettant de simplifier les opérations. Le but du calcul est d'obtenir pour chaque courbe en huit un nombre suffisant de points pour la tracer sur la surface de l'hyperboloïde.

En choisissant au mieux la hauteur h et la longueur L du gnomon, il est possible de tracer au plus quatre courbes en huit, cela justifie l'appellation de méridienne.

Une simulation avec un graphique Excel permet d'affiner les réglages



4. 4. Réalisation de la maquette

Pour la réalisation de ma maquette j'ai pris les dimensions suivantes :

Rayon $R = 50\text{mm}$

Décalage angulaire φ entre A et B = -105°

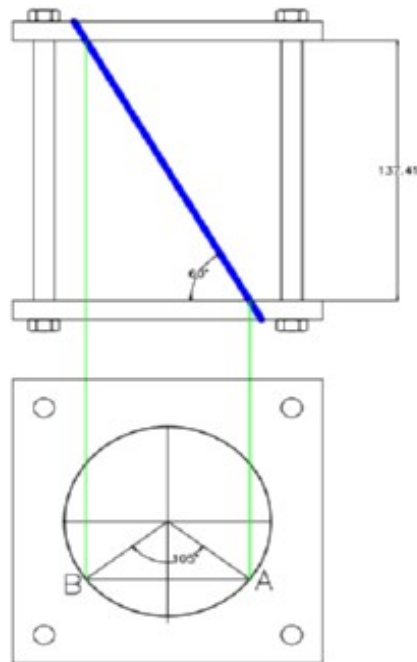
Longueur du gnomon $L = 60\text{mm}$

Distance entre la base et le gnomon $h = 90\text{mm}$

La hauteur totale de l'hyperboloïde est de 137,41mm.

Cette valeur vient du fait que pour scier l'entaille prévue pour la règle il est plus facile de prendre un angle disponible sur la scie à onglet. Pour ma part un angle de 60° semblait optimal.

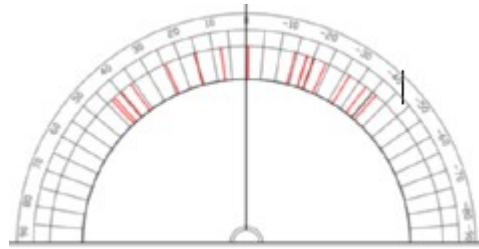
La méridienne a été calculée pour une longitude de $-7^\circ 26'$ et une latitude de $47^\circ 39'$.



Voici les valeurs obtenues pour le tracé des quatre courbes en huit :

	12h		13h		14h		15h	
	Angle θ	Distance AI	Angle θ	Distance AI	Angle θ	Distance AI	Angle θ	Distance AI
intersection avril	-20.3	49.7	25.4	62.2	47.4	62.3	71.9	50.8
01-mai	-23.9	40.0	19.3	53.7	41.9	53.3	66.1	36.2
01-juin	-31.7	25.6	10.6	42.8	33.6	42.4	55.3	22.9
solstice été	-37.5	19.6	7.1	40.0	30.7	40.5	51.6	23.1
01-juil	-40.0	18.5	6.5	40.5	30.4	41.3	51.3	25.3
01-août	-41.2	26.7	11.6	46.8	35.6	50.0	57.5	37.2
intersection août	-20.3	49.6	25.4	62.2	47.5	62.3	72.0	50.9
01-sept	-18.0	51.4	26.6	63.1	48.4	63.2	73.3	51.8
équinoxe automne	7.4	67.9	39.1	73.0	58.7	72.5	87.2	62.5
01-oct	15.4	72.6	43.3	78.1	62.1	75.7	91.5	66.7
01-nov	36.1	85.3	55.1	86.0	71.2	85.8	96.1	63.2
01-déc	43.3	91.4	59.3	91.4	73.4	91.4	92.3	91.3
solstice hiver	42.2	92.7	58.3	92.5	72.0	92.5	88.8	92.7
01-janv	39.6	92.3	56.7	92.2	70.5	92.2	86.8	92.3
01-févr	24.3	86.4	49.0	87.6	64.6	87.9	81.8	87.4
01-mars	-0.6	73.2	39.7	79.6	58.3	80.0	78.3	77.8
équinoxe printemps	-14.4	61.9	33.1	72.2	53.7	72.7	76.0	67.7
01-avr	-18.2	55.4	29.1	67.1	50.5	67.4	74.2	59.4

Pour chaque courbe en huit il est nécessaire de tracer un rapporteur d'angle θ n'indiquant que les angles nécessaires au tracé. Ce rapporteur imprimé sur papier est collé près du solide et un trait sur ce dernier permet de l'orienter angulairement.



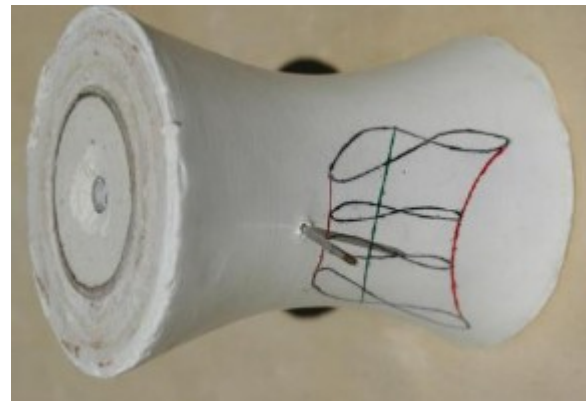
Le tracé des courbes en huit sur la surface de l'hyperboloïde se fait en remplaçant la règle ayant servie à lisser le plâtre par une règle graduée.



Pour chaque point I on tourne l'hyperboloïde d'un angle θ autour de son axe de rotation et on reporte depuis la base la longueur AI.

Les points sont reliés entre eux à main levée. Il est possible de la même manière de calculer puis tracer les lignes diurnes.

Une tige tenant lieu de gnomon, d'une longueur de 60mm, est enfoncée dans l'hyperboloïde au point de coordonnées pseudo-polaires $\left(\begin{matrix} \theta = 74,1 \\ AI = 104 \end{matrix} \right)$.



Il reste à placer la méridienne au Soleil, le gnomon aligné avec l'axe nord sud, afin de vérifier la précision des calculs.

5. Conclusion

En choisissant de définir l'hyperboloïde comme étant une surface engendrée par une droite tournant autour d'un axe il est possible de réaliser une forme en plâtre puis d'y tracer les courbes en huit afin d'en faire une méridienne de temps moyen.

Cette méthode permet également de réaliser des méridiennes cylindriques et coniques puisque toutes ces formes appartiennent à une même famille de surface réglée.





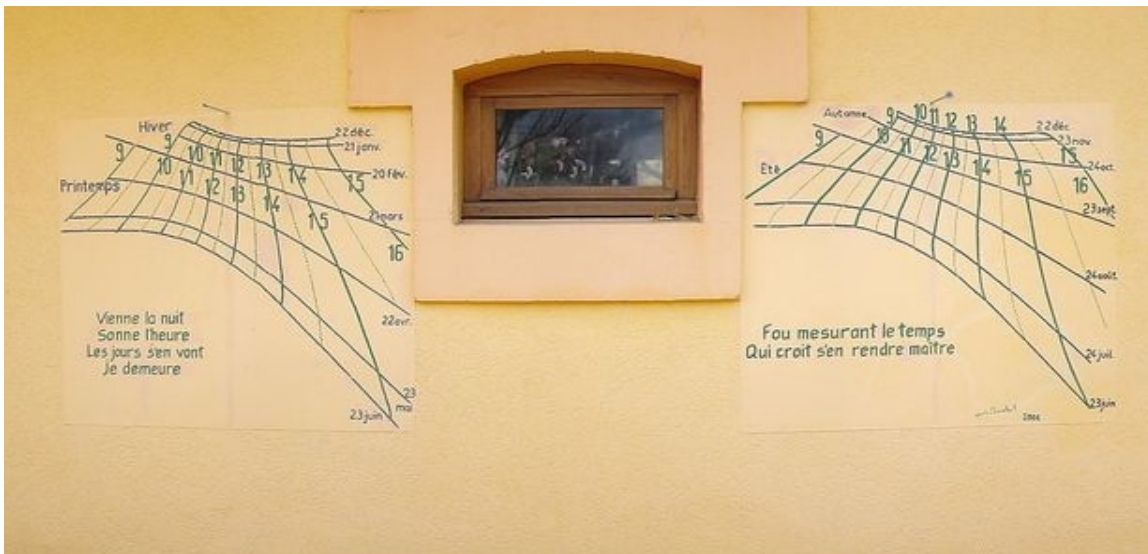
INFORMATIONS DIVERSES



° Dernières réalisations ou découvertes

- Yves Le Menestrel : un cadranier occasionnel

Ayant contacté notre commission pour quelques renseignements, M. Le Menestrel nous a communiqué une photo des cadrans qu'il a réalisé sur sa demeure 406 chemin des cèdres, 73400 Ugine. Coordonnées : N 45,75367°, E 6,42275°, + 498 m. Orientation : 158,4 °.



Le calcul des cadrans a été réalisé en suivant les indications de Jean-Noël Tardy dans son livre *Cadrans solaire, les comprendre et les construire* (Édisud). Y. Le Menestrel a écrit un logiciel adapté en Visual-Prolog. Le résultat a été imprimé sur feuillet A4 pour vérification et validation pendant quelques semaines, puis agrandi à la taille voulue sur panneau double face en 1996. Lors de la réfection de la façade en 2006, le panneau a été reproduit à même le mur.

Les deux cadrans se complètent pour éviter le fouillis. On passe d'un cadran à l'autre aux solstices. Les styles sont orthogonaux. Le gnomon du cadran actif comporte une pastille dont l'ombre portée le distingue du cadran inactif.

Résultat, l'heure est lisible à 5-10 minutes près selon la saison. La date lisible à 4-5 jours près selon la saison. Le quatrain de gauche est emprunté à Apollinaire, celui de droite est du cru du cadranier occasionnel comme se nomme M. Y. Le Menestrel.

- Claude Gahon : meunier tu dors

Eh oui notre meunier de cette célèbre comptine aurait bien apprécié que le soleil fasse le travail à sa place pour le laisser dormir tranquillement au fur et à mesure que ses sacs auraient été montés au moulin, heure par heure, grâce à l'astre du jour...

"Meunier tu Dors" est un moulin qui donne l'heure solaire quand le sac se déplace le long de l'échelle.

Cette fois, j'ai fait de la mécanique astronomique, digne de celle de l'horloge de la cathédrale de Strasbourg ! Je garde le secret. Quand on tourne les pales, le sac monte, ou descend, étonnant non ?

Pour lire l'heure sur l'échelle graduée d'heure en heure, on tourne les pales jusqu'à ce que les "crans" de la pale méridienne (elle a un repère) soient ombrés sur toute leur largeur, le plancher de la nacelle, porteuse du sac, est alors arrêté à la graduation de l'heure cherchée.

L'ensemble fait environ 65cm de haut hors tout, réalisé avec des chutes de matériaux de toutes sortes: le corps est en isorel crépi et peint, le pied et les pales sont en sapin lasuré, la nacelle et le support poulie sont en aluminium.

Cela m'a demandé pas mal de temps de réflexion et d'exécution, mais le résultat est conforme à mes attentes, j'espère qu'il vous plaira.



- Détails sur un cadran vendu

Comme nous le mentionnions dans notre info-mail-gnomonique N° 58 du 17 avril dernier le cadran ci-dessous était mis en vente à Drouot sur la base d'une estimation de 700 à 1000€. Jean Claude Gavet nous indique que ce cadran a été adjugé à . . . 1450 €.

Nous présentons ci-dessous les photos prises par Jean-Claude de cet objet de 23,6cm de diamètre, jugeant celle de l'annonce moins réalistes. Nous reproduisons également le texte initial de Drouot

Rare cadran solaire de forme circulaire en alliage d'étain. Le disque central pourvu d'un style découpé est rehaussé d'un masque solaire accompagné de la devise de Louis XIV Nec pluribus Impar et de la mention FABRIQUE DE PARIS. Il est donné pour la latitude de Paris 48D 50 M. Au revers, une rose des vents et le nom de Pellier à Paris. Le cadran est agrémenté d'une couronne graduée à 360° avec points cardinaux et leurs subdivisions. Sur la couronne, la dédicace LA NATION LA LOY LE ROY/DÉDIÉ ET PRÉSENTÉ A NOS SEIGNEURS DE L'ASSEMBLÉE NATIONALE EN MARS 2eme ANNÉE DE LA LIBERTÉ FRANCAISE 1790. Paris.



Daté 1790. Crochet de suspension rapporté Diam. 23,6 cm Dans le procès-verbal des séances de l'Assemblée nationale 1789-1791, il est fait état que le 6 mars 1790, Le sieur Pellier, horloger, a été admis à la barre, où il a offert à l'Assemblée l'hommage d'un cadran solaire de son invention, d'un métal que le temps embellit, et qui marque l'équation du soleil, les vents principaux, et les degrés du méridien. Dans Révolutions de Paris, Dédiés à la Nation et au District des Petits-Augustins, Paris

1790, on découvre que ledit horloger ne perd pas le nord. «Le sieur Pellier, horloger, dont nous avons parlé dans notre dernier numéro, a dédié et fait hommage à l'assemblée nationale d'un cadran solaire à équation, avec un enjolivement relatif aux circonstances de la liberté: dans le cercle est une division de 360° du tour du monde, ainsi que les vents principaux; de façon qu'avec un cadran, en observant les parallèles, on voit dans quelle partie règnent les vents; et par un procédé peu connu, il fait marquer l'heure sur ses cadrans, avec un gros fil de clavecin fixe, qui rend l'heure d'une justesse précise. Il donnera un imprimé aux acquéreurs; le juste prix sera de 18 livres; il demeure rue des Canettes Saint-Sulpice, au-dessus du Charcutier, au premier.»



- Louis de Dinechin : un analemmatique discret et pédagogique

« Après un vertical tracé sur ma façade légèrement déclinante (15°O), je voulais tracer un analemmatique horizontal. Je dispose d'une cour goudronnée, mais suis limité par 2 contraintes : passage répété des voitures qui m'oblige à construire un tracé résistant, mais trop peu de temps pour faire une construction maçonnée "en dur"... J'ai donc opté pour un cadran provisoire, qu'on pourrait appeler "phénix", puisqu'il renaît de ses cendres après les intempéries...

En bref, seuls les points horaires et la ligne des dates sont discrètement matérialisés sur le bitume. Charge à l'observateur d'y inscrire à la craie les dates et les chiffres des heures. Une activité qui me permet également d'enseigner à mes enfants l'écriture en chiffres latins et romains.

En pratique, après calculs sous tableur, tracé de la méridienne, de l'échelle des dates et des points horaires, j'ai percé le goudron sur 5 cm et y ai fiché des rivets inox, à



tête large d'environ 15 mm de diamètre. Une fois finie, la grande ellipse est bien visible mais parfaitement indolore pour les pneus des véhicules. Dès que la météo et le temps libre me le permettent, je sors la boîte de craies, numérote les points horaires, et laisse l'imagination des enfants faire le reste. Le cadran peut donc se transformer en marelle, en jeu de l'oie, en tortue, ou être l'objet de concours d'équilibre en mode "saute-mouton" sur les points horaires. Jusqu'à la prochaine pluie qui viendra effacer ces œuvres éphémères. Seul resteront les rivets : l'art passe et la science reste... »

- Claude Gahon : Tjibaou



Centre Culturel Tjibaou de Nouméa
(reproduction internet)

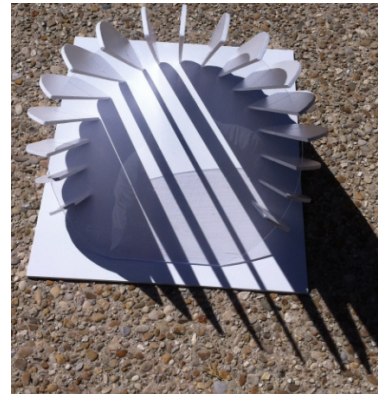
Avec ce soleil qui "tapait dur" cet été, pas difficile de tester les cadrans, ce que je viens de faire avec ma nouvelle réalisation.

Son principe n'est pas une innovation, je l'ai déjà utilisé pour "Grandes Orgues". Il a été exécuté sous plusieurs formes par d'autres cadraniers, mais là je me suis inspiré des constructions du Centre Culturel **Tjibaou** de **Nouméa** via les photos trouvées sur internet. (dont 2 en pièces jointes).

Comme on le voit, l'heure est renseignée par la "voile" dont l'ombre est la plus étroite.

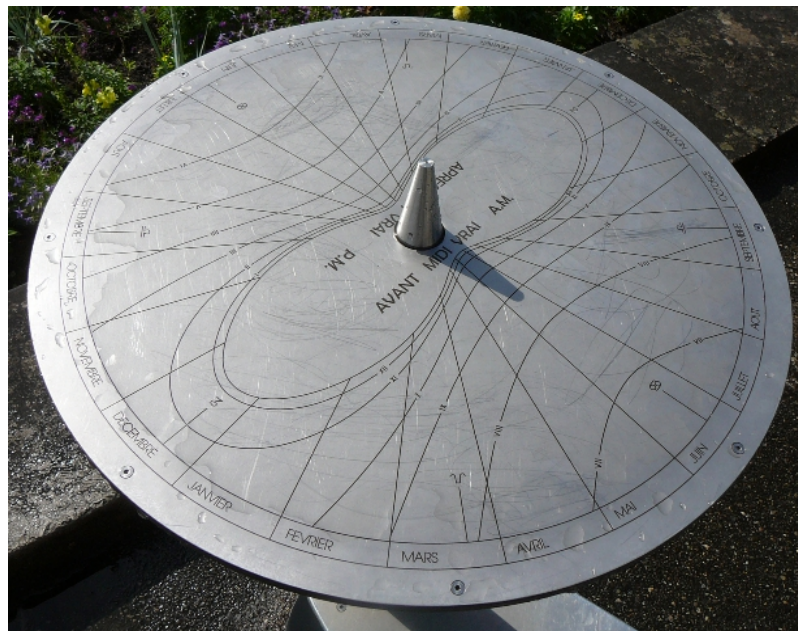
Encombrement 30 x 30 x 40 avec un disque de plexiglas transparent pour le cercle équatorial

qui sert à la fixation des voiles. Les voiles sont en PVC expansé d'épaisseur 3mm.

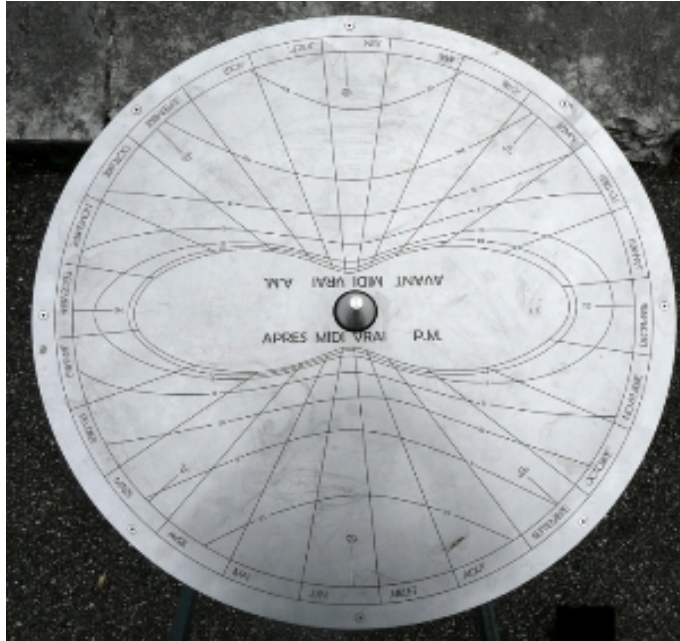


- Joseph Theubet : un autre cadran de hauteur

Devant le Musée d'Histoire des Sciences de Genève est exposé, depuis quelques mois, une nouvelle réalisation du gnomoniste genevois René Béguin, un cadran de hauteur horizontal. Même s'il n'a pas été conçu pour concurrencer les montres suisses, il n'en reste pas moins remarquable par son ingéniosité. Conçu en 2011, ce cadran a un diamètre de 56 cm et la hauteur du gnomon est de 6 cm.



Pour connaître l'heure*, il faudra tourner le disque jusqu'à ce que la pointe de l'ombre du gnomon se reporte approximativement sur la date du jour. Auparavant, on aura choisi le tracé du matin ou de l'après-midi. La photo de droite a été prise le 22 juin à 8h37 (TU+1).



Jusqu'ici, je n'avais jamais vu un tel cadran dans les traités de gnomonique consultés et je me demande s'il ne s'agit pas d'un nouveau venu dans la famille des cadrans de hauteur? Si vous le connaissez, ne manquez pas de nous le signaler.

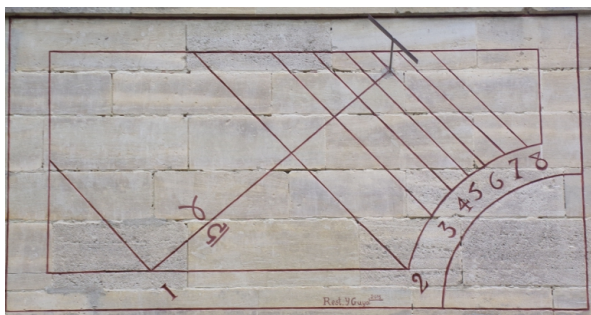
** Il est programmé pour l'heure légale d'hiver.*

NB : La théorie et les calculs de ce type de cadran sont présentés dans la rubrique « courriers gnomoniques ».

- Yves Guyot : restauration

Yves nous informe qu'il a restauré en juin dernier les deux cadrans (oriental et occidental) de l'église de Médan dans les Yvelines (78).

Voici les cadrans avant et ... après



- Pierre Duverney : un cadran

Pour le plaisir, Pierre nous offre la photo de ce "cadran solaire" situé "Calle Sombrerete".



- Manoir de Saussey (Manche)

Le manoir de Saussey outre de posséder un cadran méridional (n° 5056802-1) de notre inventaire, présente un important musée du verre.

Parmi les pièces exposées celle-ci à l'honneur de la gnomonique.



- PIERRES DE ROSETTE

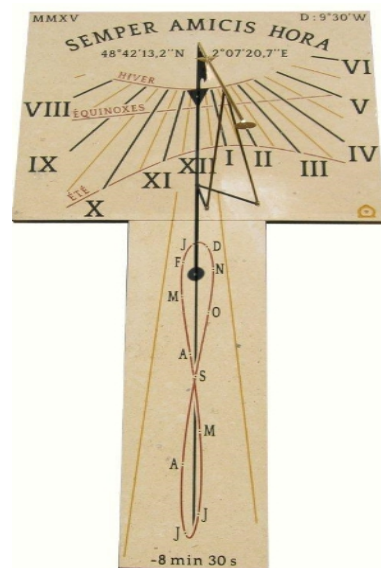
L'atelier Pierres de Rosette vient de réaliser ce cadran composé de 2 parties et d'un double style. Il sera installé à Gif-sur-Yvette dans l'Essonne.

La partie supérieure comprend les lignes horaires, les arcs diurnes des solstices et des équinoxes, la devise, les coordonnées et la date du cadran.

La partie inférieure comprend les lignes de 11h30 et 12h30 ainsi que la courbe en huit de l'équation du temps. Le client a également désiré que nous inscrivions -8 min 30 s qui correspond à la valeur arrondie de l'écart de longitude avec le méridien de référence de Greenwich.

Le cadran possède un double style avec un style plein pour la partie n°1 puis un œilleton pour la partie n°2.

La difficulté a consisté à gérer la transition entre le 1er et le 2e style .

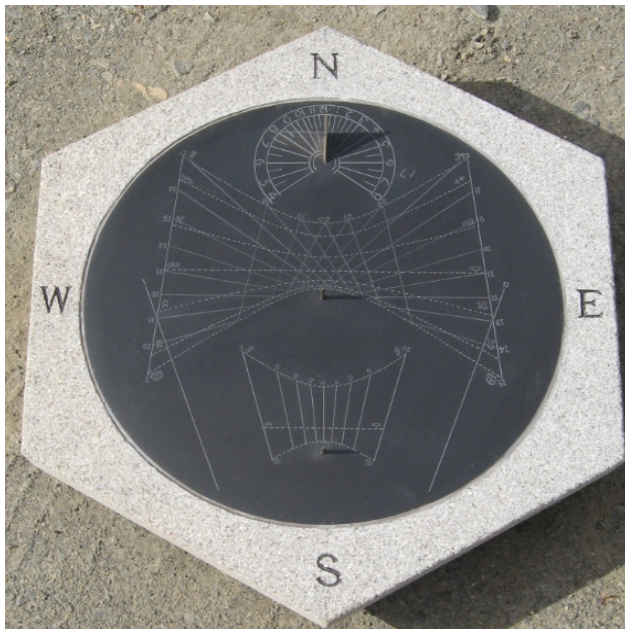


- Jean-Paul Cornec : cadran multiple de l'Abbaye de Beauport

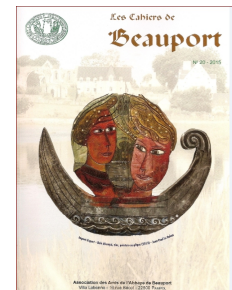
Lors de notre réunion de Genève en mai 2013, Jean-Paul Cornec avait décrit la reconstitution d'un cadran horizontal multiple de l'Abbaye de Beauport à Paimpol (22) à partir d'un fragment découvert lors de fouilles.

Ce fragment de schiste porte une partie du tracé de trois cadrans solaires : un cadran horizontal classique, un ensemble d'arcs des signes avec lignes italiques/babyloniennes et un cadran d'heures inégales.

A l'initiative de l'association des "Amis de Beauport", une copie complète en a été réalisée par l'artiste Bernard San Miguel, suivant les tracés que j'avais reconstitués. Il a reçu ses styles récemment et il sera présenté officiellement le 4 octobre prochain.



De plus un article est paru en juin dans la revue de cette association, "Les Cahiers de Beauport". L'article signé de J.-P. Cornec et P. Labat, décrit la reconstitution du cadran et présente une courte histoire des cadrans solaires.



- Jean-Paul Cornec : un scaphé au Village Gaulois

« L'année dernière à Avignon j'avais présenté le début de la réalisation d'un grand scaphé au Village Gaulois à Pleumeur-Bodou. Ce cadran est maintenant terminé. Nous l'avons achevé fin mai. Nous lui avons ajouté une partie géographique avec la peinture d'une partie de l'Afrique.

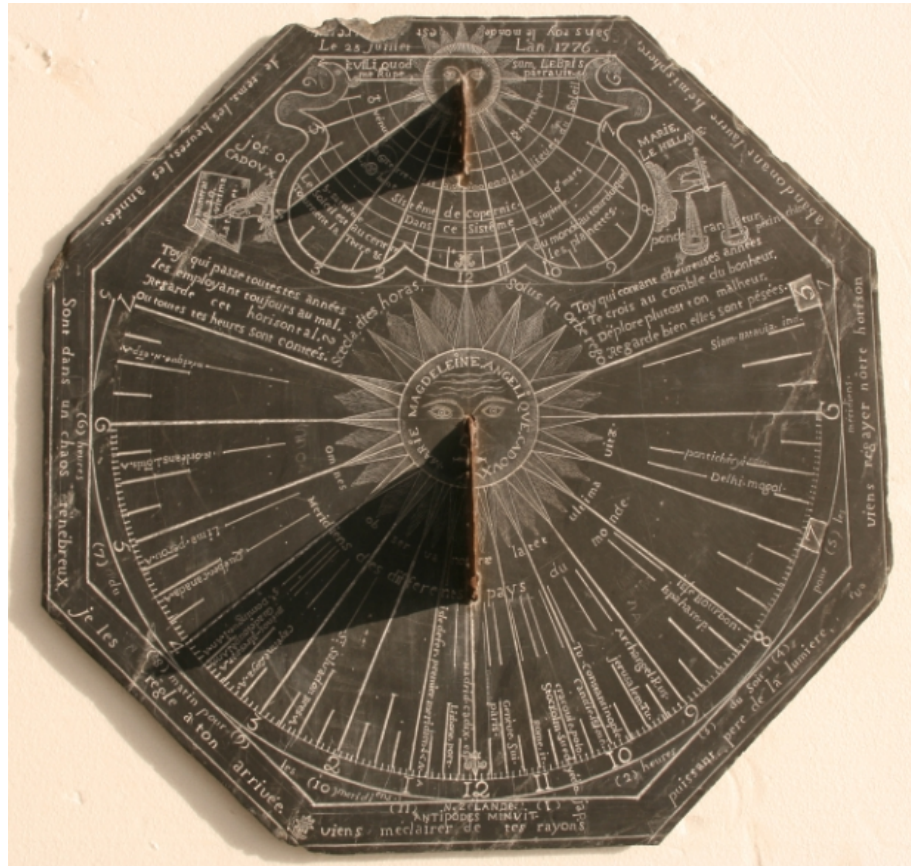


Il est décrit dans mon site : <http://jean-paul.cornec.pagesperso-orange.fr/index.html> »

- Pierre Labat : cadran de Saint-Guen

A notre réunion de Genève, Pierre nous contait l'histoire du cadran daté 1776 qui après une absence de plusieurs dizaines d'années retrouvait son village. Il vient de nous envoyer une photo de ce dernier.

« J'ai emprunté le cadran à la mairie de Saint-Guen ce qui m'a permis de faire plusieurs photos après avoir rempli les creux des dessins et écritures avec de la craie ».



- Marie-Claude Paskoff : bloc gnomonique

Lors d'une visite du château de FLAUGERGUES à Montpellier, Marie-Claude a pu constater que l'état du bloc gnomonique situé dans le parc continuait à se dégrader.



Cadran n° 3417209-2 de notre inventaire

- Yves Le Corre : cadranier amateur

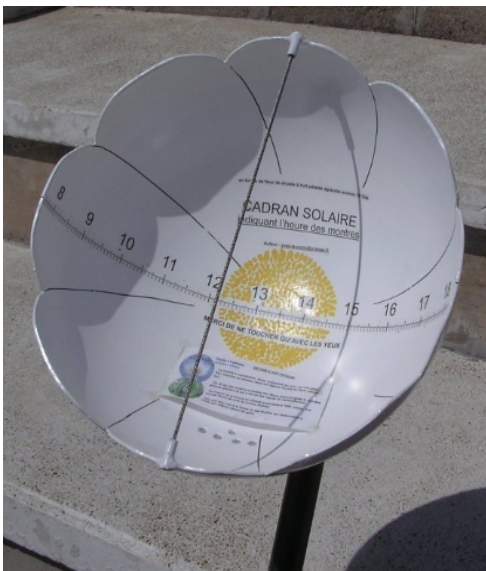
L'année passée, notre collègue Christain Druon a rencontré à La Baule, un cadranier amateur, monsieur Yves Le Corre. Contacté dernièrement celui-ci nous fait le plaisir de nous présenter ses réalisations.

« Pour information je me suis mis à faire des cadrans que depuis ma retraite et surtout depuis 10 ans. Je fais cela pour mon plaisir et sans but lucratif. L'un a fait l'objet d'un don à ma commune de naissance en 2011 (n° 4). La statue-cadran Anne de Bretagne (n° 6) a été mise à disposition gracieuse en 2014 en échange d'un emplacement sur le Boulevard de l'Océan de La Baule. Les autres sont chez moi à La Baule où je dispose d'une place et d'un ensoleillement limités.

Étant très chercheur, je ne m'inspire pas de modèles existants mais par l'innovation. Je recherche la précision à la minute près. Tous permettent de retrouver l'heure des montres. Certains n'indiquent même que l'heure des montres au prix de la contrainte de corriger le réglage dès que la minute arrondie à la plus proche change. C'est le cas de la statue-cadran qui a un succès énorme toute la journée.

J'ai créé de nouvelles formes comme le n° 3, très élégant mais malheureusement trop difficile à réaliser.

Ci-dessous 6 de mes cadrans très précis dont 5 à la minute près :



N° 1 : Un cadran 1/2 sphérique en forme de fleur. Il indique l'heure légale ajustée manuellement de temps en temps*



N° 2 : Un cadran à table parallèle à l'équateur, installé au sommet de ma maison à La Baule. Réalisé sur un matériau translucide, il est lisible sur sa face inférieure toute l'année, sauf aux équinoxes. Il indique l'heure légale ajustée manuellement de temps en temps*

- Le cadran N° 3 est à table de lecture hélicoïdale. C'est un instrument de démonstration qui peut être installé et réglé partout mais il pèse 150 Kg !

Il indique :

- ° L'heure solaire sur l'échelle du haut
- ° L'heure légale en bas, ajustable manuellement de temps en temps*
- ° Le décalage horaire du jour entre les deux échelles.

- Le cadran N° 4 possède une table de lecture proche de l'horizontale et principalement en béton diamètre 80 cm.

Il indique l'heure solaire du lieu et porte un tableau de conversion en heure légale (Don à mon village de naissance)



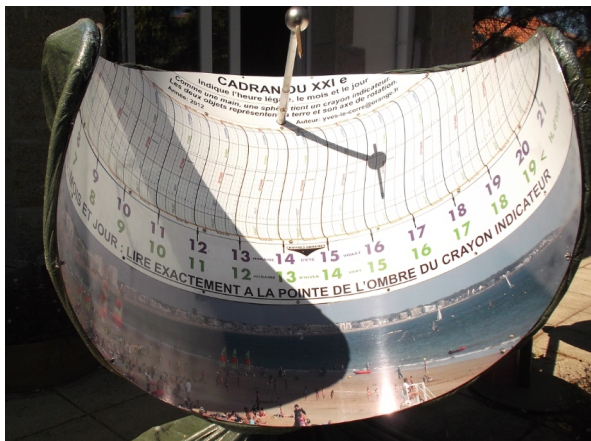
Cadran N° 3



Cadran N° 4

- Le numéro 5, est un cadran dit du XXIe. Il est statique et indique de lui même l'heure légale, le mois et le jour avec une précision numérique. Seule intervention deux fois par an est nécessaire pour retourner le graphique afin de faire apparaître le semestre suivant. C'est un prototype de démonstration pouvant être réglé partout en France.

- La statue-cadran numéro 6, est une œuvre double née de deux, entre autres, de mes passions : la Bretagne et les cadrans. La statue représente la duchesse Anne de Bretagne et reine de France. Sculpture motivée par l'année 2014, 500e anniversaire de sa mort. Le cadran 1/2 cylindrique a le même fonctionnement que le cadran-fleur, cité en numéro 1*.



Cadran N° 5



* Ajustage nécessaire pour appliquer la correction de l'équation du temps (Le temps solaire étant légèrement variable par rapport au temps moyen, celui des montres).

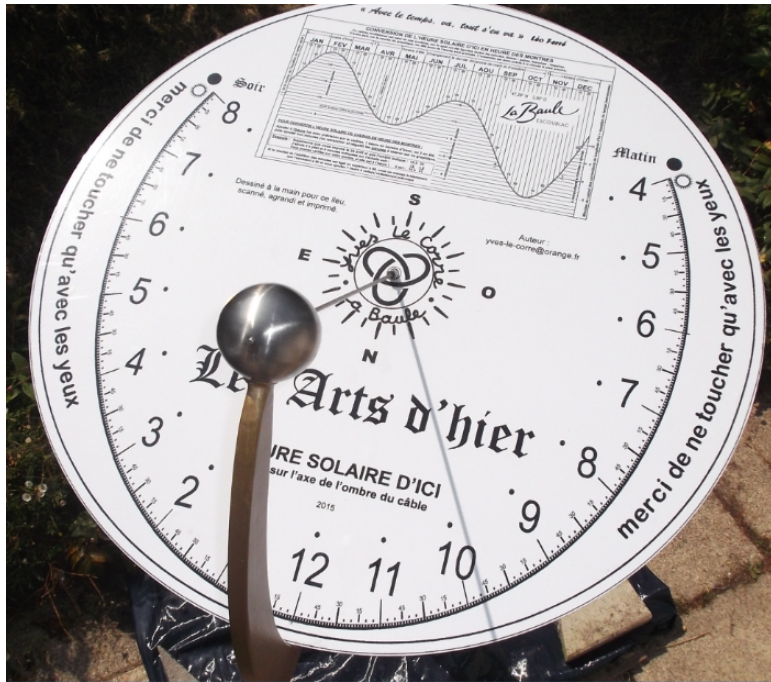
Cadran N° 6 ►

Voici mes réalisations de cette année 2015 :

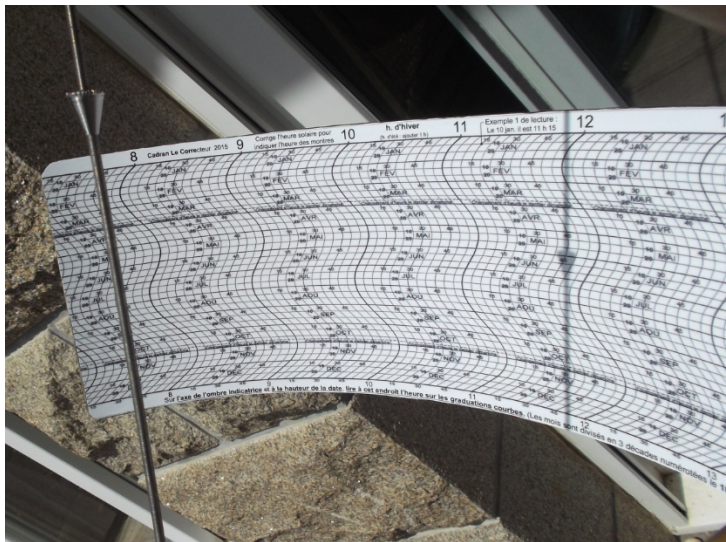
- Cadran N° 7, il est plan (forme la plus facile à obtenir) proche de l'horizontale. Il fonctionne toute la durée du jour, même du plus long.

Il est de dimension et de dessin identique au n° 4 et peut être installé partout. Seule l'orientation et la méthode pour trouver l'heure des montres sont modifiées en fonction du lieu d'installation. Sa courbe d'équation du temps est graduée des 365 jours de l'année.

Cadran N° 7 ►



Cadran N° 8 ▼



- Le 8 est un cadran statique en demi cylindrique dit " Le Correcteur " parce qu'il indique directement l'heure des montres à condition de lire sur l'axe de l'ombre à la hauteur de la date et, à cet endroit, lire les minutes sur les graduations courbes.

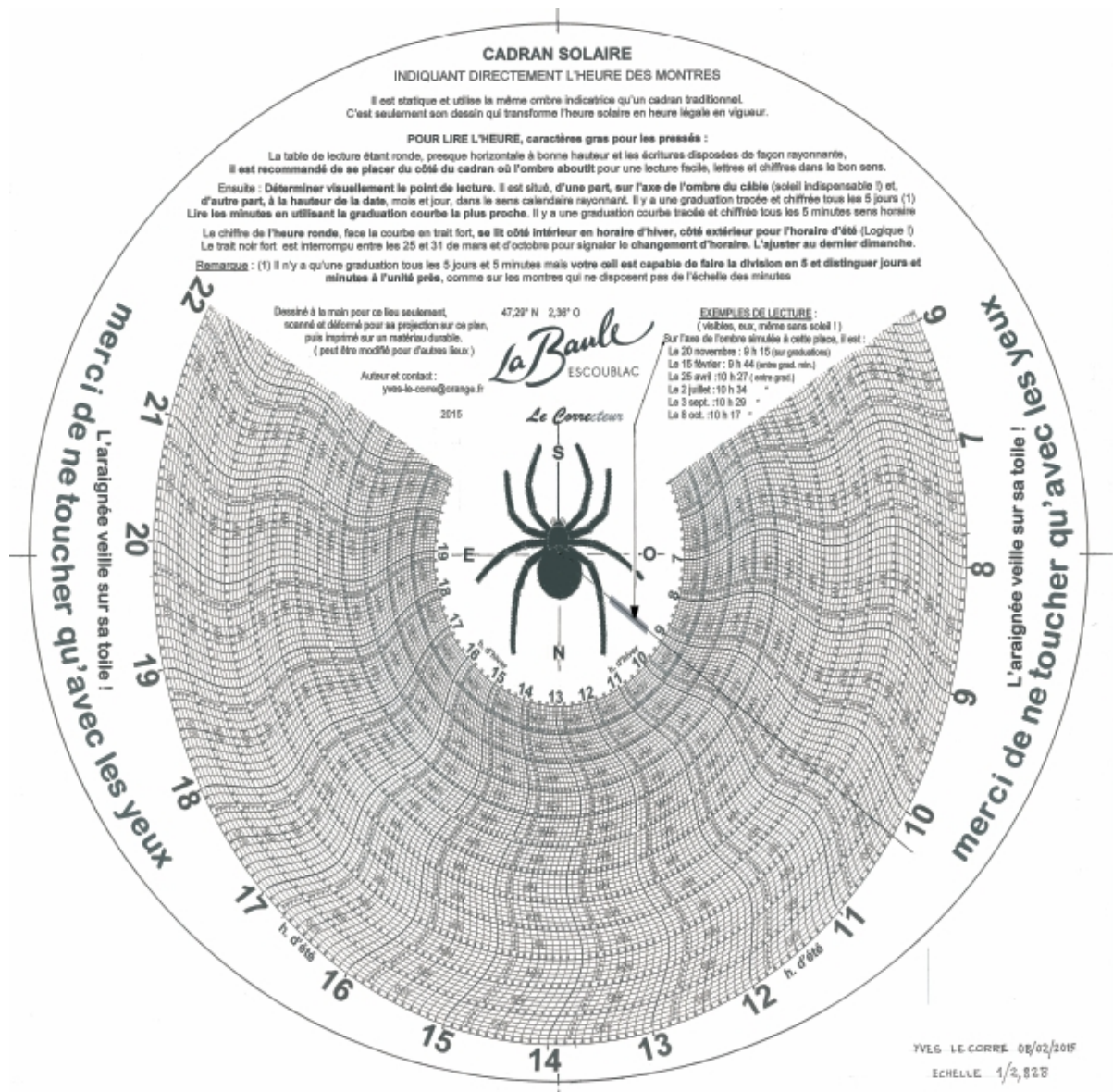
- Pour le numéro 9, j'ai déjà imprimé un dessin qui aurait le même but que le n° 8, appelé l'araignée, qui pourrait prendre place sur la même structure que celle du n° 7

Ces n° 8 et 9 ne sont pas plus difficiles à lire qu'une horloge à 2 aiguilles mais il ne sont pas testés par le public. Je crains que les lecteurs ne soient pas disposés à s'adapter à cette nouvelle culture. Si cela se confirme, mon étude va peut-être s'arrêter là ?

J'ai aussi un projet pour proposer un cadran traditionnel vertical en hauteur à une ville médiévale mais, tout de même avec toutes les minutes graduées. A la hauteur des yeux un panneau contiendrait un convertisseur de l'heure solaire lue sur le cadran en heure des montres. Cela sans faire aucun calcul mental. J'estime que c'est nécessaire pour la survie des cadrans car, de nos jours, personne se donne la peine de faire un petit calcul simple à chaque lecture de l'heure.

Quand mon projet sera avancé je vous le fais parvenir.

Page suivante le cadran numéro 9.



Tous Les cadrans de Monsieur Y Le Corre sont visibles sur le Site des cadrans solaires de Michel Lalos (<http://michel.lalos.free.fr/>).

Tous sont visibles à La Baule (44) sauf le n° 4 à Droisy (27)

Yves Le Corre 24 av d'Huelgoat 44500 LA BAULE Tel. : 02 40 24 56 29

- Claude Gahon : cadran-sculpture

Pour ce cadran, j'étais parti sur une mauvaise voie en voulant à tout prix que les heures se lisent à l'intérieur de la "sculpture". Erreur car il y a trop d'arêtes qui peuvent produire des ombres différentes pour une même heure et sur une même surface.

J'ai donc changé ma théorie, et voici donc 3 panneaux avec chacun un "volet" extérieur dont l'arête sert de style polaire.

Le plan des panneaux étant parallèle à ce style, les lignes horaires gravées sur le panneau, sont donc parallèles entre elles et au style.

C'est ainsi qu'on peut lire les heures solaires en passant d'un panneau à l'autre d'abord pour la plage 4h à 10h, puis 10h à 16h, et enfin 16h à 22h.

Formes et positions m'ont valu quelques heures de suées mathématiques en 3D, mais je n'ai pas eu à recommencer mes découpes, ouf !

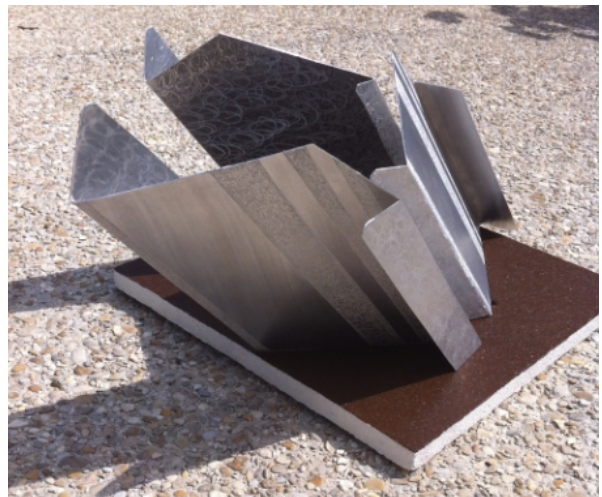
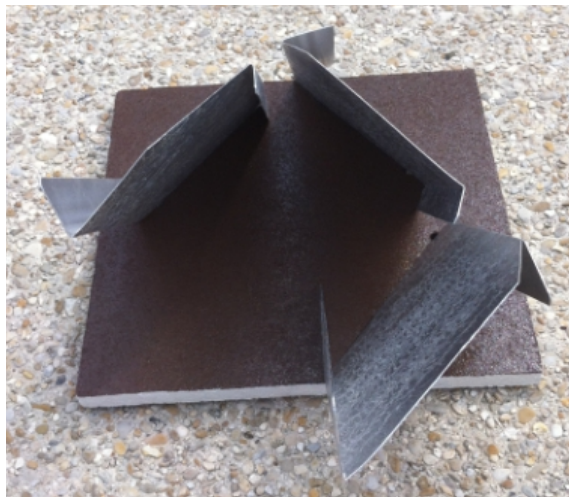
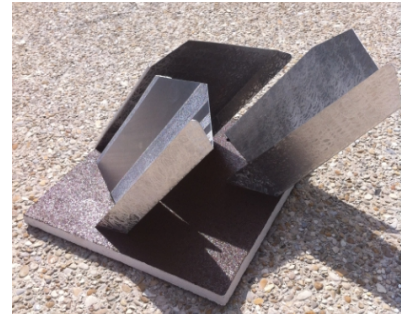
Réalisé en plaque d'aluminium de 0.8mm, plus facile à plier que le 1.5mm que j'utilisais d'habitude.

Bon d'accord, ce n'est pas vraiment la copie de la sculpture de Joël Robic*, mais, je pense, que l'on y retrouve un peu de son esprit, et puis cela a été le point de départ de ma réflexion. J'espère qu'il vous interpellera.

Nota : La réalisation ressemble aussi au cadran des mines de Sophia Antipolis.

<http://www.cadrans-solaires.fr/cadran-mines.html>

* Sculpture présentée par Joël sur son site à l'occasion du 1er avril 2015



- Cadrans de Jean-Marie Leclercq

Ma première rencontre avec Monsieur Berriot date de 2012. Nous avons constaté que le cadran construit en 2000 ne donnait pas l'heure exacte. Il m'a suggéré de m'aider à le retracer. Il s'agit d'un cadran peint directement sur un mur orienté N-E (photo 1).

Personnellement, j'ai réalisé un cadran équatorial. Pied et ossature en acier et table de lecture en PVC gravé. Ce cadran a été positionné sur un chemin de randonnée (photo 2).

Toujours en métal, j'ai conçu un cadran équatorial armillaire (photo 3).



Photo 1 ▲



Photo 2 ►



Photo 3 ►►

Egalement avec Monsieur Berriot, nous avons réalisé un cadran horizontal en béton blanc (photo 4). Le résultat ne plaît que moyennement à Monsieur Berriot. Il est évident que cela n'a rien de comparable avec un cadran en pierre.

Avec Monsieur Berriot, nous avons continué à entretenir des rapports amicaux et instructifs pour moi. Je voulais un beau cadran vertical sur ma devanture de maison. Je lui ai demandé de le réaliser (photo 5).



Photo 4

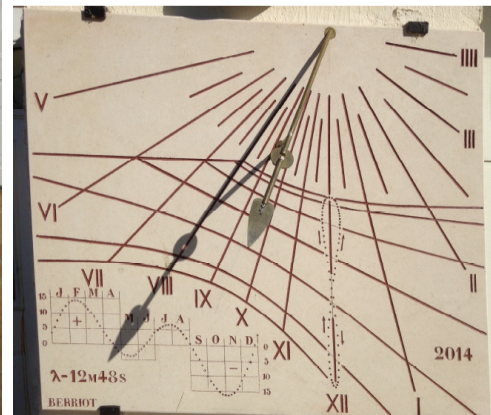
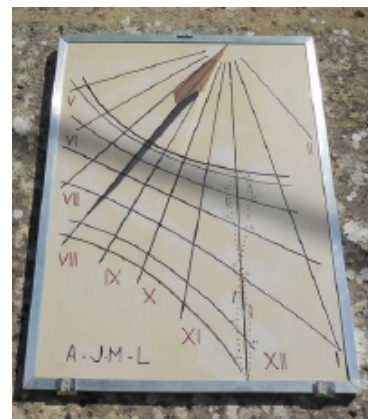


Photo 5

Je me suis investi et je suis maintenant capable de tracer un cadran déclinant. J'en ai donc réalisé un en panneau de résine. Je ne serai que parfaitement satisfait du travail de ma passion, que quand j'aurai une dextérité suffisante de la gravure sur pierre. C'est mon prochain objectif.

Nota : Pour le relevé de déclinaison, j'utilise un cadran horizontal et un grand compas d'école. J'ai également relevé les angles sur un plan cadastral de « cadastre-gouv ». Il n'y avait pratiquement pas d'écart. Cela m'a servi de moyen de contrôle.

En conclusion, j'ai encore énormément à apprendre. C'est, je crois, le sujet primordial de ma motivation.



- Un cadran bifilaire au cimetière d'Azille (11)

Jean Pakhomoff nous informe de sa dernière création en ajoutant : « Le temps passe... et ce sera peut-être bien le dernier! ». Nous souhaitons bien au contraire que d'autres bifilaire ou à style multiple viendront compléter la collection.

Coordonnées GPS du cadran :
Latitude: 43° 16' 57,60" NORD ; Longitude: -
2° 39' 34,50" EST

Ce cadran montre les heures 1/2 heures et 1/4 d'heures solaires. La naissance des lignes d' [heures italiques et babyloniennes](#) aux intersections de la 12e heure italique et 12e heure babylonique avec les lignes horaires et demi horaires tabulaires est particulièrement mise en évidence.

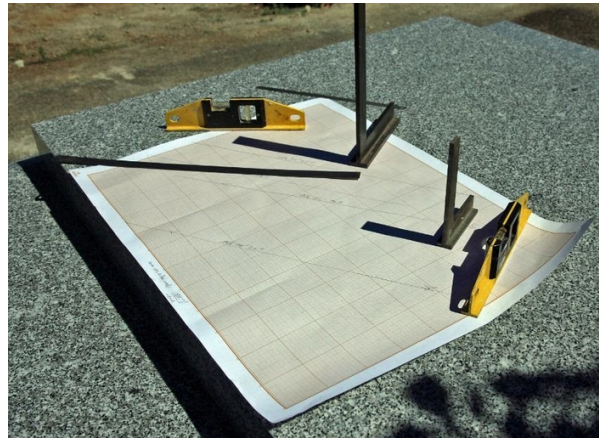
Le cadran porte une courbe en 8 d'[équation du temps](#) sur la 10e heure solaire et sur la 14e. Les arcs diurnes zodiacaux sont

tracés. Côté sud le cadran solaire comporte un hémicadran [analemme](#) montrant les heures et demi heures du soir.

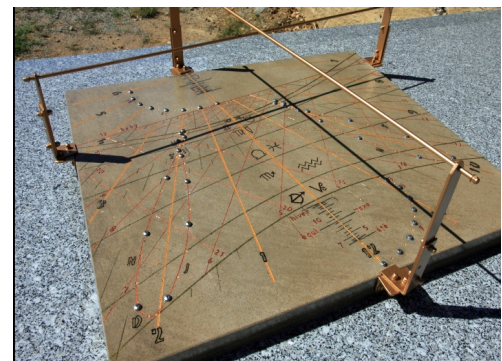
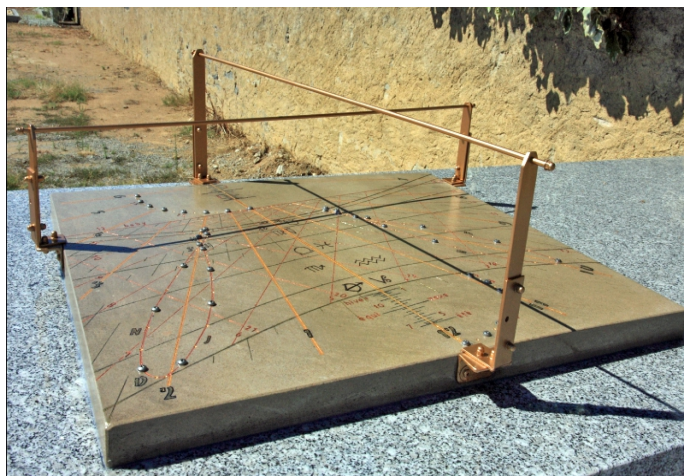
Côté nord le cadran solaire comporte un hémicadran [analemme](#) montrant les heures et demi heures du matin.

Le cadran est surmonté d'une devise écrite en russe sur la stèle (même devise que celle inscrite sur le :

[cadran tombal du cimetière saint-Pierre à Marseille](#))



Détermination de la méridienne le 24 juin 2015



Cadran est à retrouver sur le web, à partir du lien ci-dessous :

<http://www.pakhomoff.net/uncadranbifilaire.html>



° Informations diverses

- Des « applis » dans votre poche par Y. Massé

Après l'ensemble des inventaires sur votre Smartphone ou tablette Android¹ de Pascal Prevost (réf info mail n° 21 du 3 février 2015 et site "MC-Cadrans solaires" sur Google play : https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ppssoft.mbc_cadrans), voici un cadran et son temps vrai réalisé par Yvon.

Notre collègue propose 2 applications pour ordiphone et tablette Android version 4.0 ou supérieure : **TpSol** pour contrôler l'heure d'un cadran et le représenter et **DesCad** pour explorer les configurations des cadrans et les réaliser

1- La fonction principale de **TpSol** est de donner l'heure solaire en fonction de l'heure civile et de la position GPS. En outre, TpSol :

- fournit l'équation du temps et la déclinaison du Soleil,
- indique l'azimut et la hauteur du Soleil,
- trace l'ombre du Soleil sur un cadran solaire vertical méridional (par défaut) ou en actionnant la touche « auto », représente le cadran à contrôler en appliquant l'ordiphone sur le support du cadran à vérifier.

TpSol permet donc de contrôler directement l'exactitude d'un cadran.

L'application TpSol est gratuite,
elle est à télécharger à l'adresse :
<https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.ymasse.tpsol>

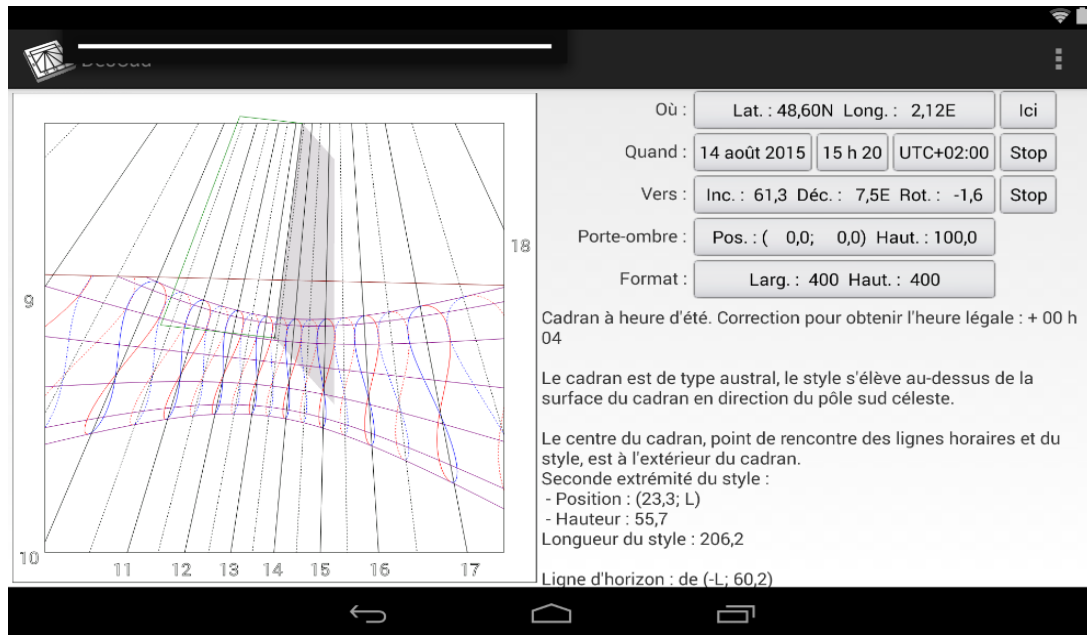


2- **DesCad** fait apparaître en temps réel la représentation d'un cadran en fonction de l'orientation de la machine (l'appliquer sur le mur qui doit recevoir le cadran).

La position / grandeur du style ainsi que la date / heure de l'ombre peuvent se modifier par touché glissé sur l'écran tactile.

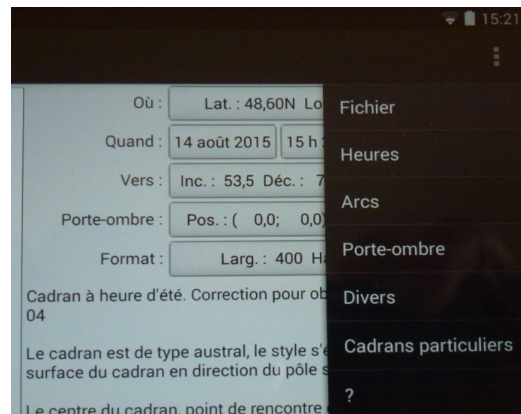
DesCad donne les coordonnées des points pour le traçage des segments de droite du cadran.

¹ Une application sur Ipad/Ipod est prévue.



La fonction :

- Fichier : permet d'enregistrer les éléments de traçage.
- Heures : permet de limiter le tracé des heures, d'adjoindre les demies ou les quarts d'heure ; les courbes de temps moyen etc.
- Arcs : permet le choix de tracer les arcs diurnes ou non, par date, par les signes du zodiaque, par mois...
- Porte ombre : il peut être visible ou non, être représenté en style filaire, en style plein ou gnomon.
- Divers : offre le choix de quadriller la présentation, de tracer la ligne d'horizon, de représenter l'ombre du style, d'introduire ou non la réfraction.
- Cadrans particuliers : permet d'afficher directement un cadran : horizontal, méridional, occidental, oriental, septentrional, équatorial Nord ou Sud, polaire Nord ou Sud.
- ? : Propose une aide d'utilisation avec schémas et indique la version de l'application.



L'application DesCad est payante (1,80€),

elle est à télécharger à l'adresse : <https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.ymasse.descad>

Remarque : TpSol et Descad utilisent le capteur magnétique de votre machine. Il convient de l'étalonner de la façon suivante :

- S'assurer qu'aucun corps métallique ou aimant n'est à proximité de l'appareil (penser à la fermeture magnétique de la protection de l'ordiphone).
- Activer le tracé dynamique du cadran (touche "Auto" du groupe de boutons "Vers").
- Faire tourner lentement l'ordiphone ou la tablette suivant les trois axes : 2 à 3 tours pendant environ 10 secondes par axe.

L'étalonnage est terminé. Les paramètres de l'orientation du cadran (inclinaison et déclinaison) qui sont déterminés et fournis par les "applis" à partir du capteur magnétique sont alors moins erratiques et plus précis.

La précision n'est toutefois que de quelques degrés.

Pour explications Nord magnétique/Nord géographique (celui utilisé en gnomonique : Wikipédia, http://flrvz.free.fr/astrinfo/decl_magn.php ; <http://www.randonner-malin.com/la-declinaison-magnetique/> .

Pour calculer l'écart entre le Nord magnétique et Nord géographique en fonction du lieu et de l'année : <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination> ; http://geodesie.ign.fr/index.php?page=calcul_de_declinaison_magnetique ; <http://www.geomag.nrcan.gc.ca/calc/mdcal-fr.php> ;

- Suite sur « Le cadran solaire de Saïs » par J. Scordia

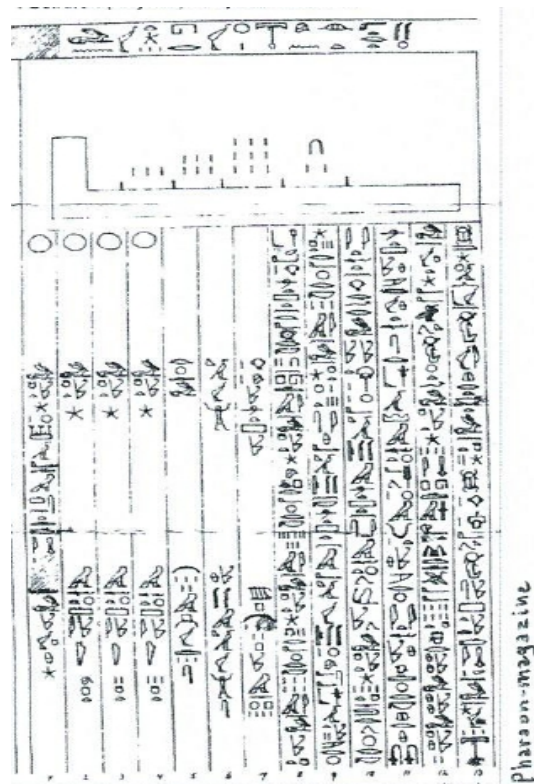
Jean Scordia a retrouvé l'inscription du cénotaphe de Séthi I à Abydos (l'Osireion) en lisant le magazine Pharaon du 2^e trimestre 2015 et en parcourant l'annexe de l'article de D. Savoie et J. Bonnin *Archéologie, gnomonique et imposture* dans Cadran Info N°31 page 97, présentant le document de Larisa N. Vodolazhskaya *Reconstruction of vertical and L-shaped ancient Egyptian sundials and methods for measuring time*.

Il s'agit du mode d'emploi de l'horloge à ombre gravée au-dessus du texte dégradé. Après avoir donné la traduction selon F. Tonic, rédacteur de *Pharaon-magazine*, J. Scordia se risque à une traduction personnelle.

C'est ce document que vous trouverez en annexe.

⇒ Dans la version numérique, en annexe :

le fichier : CS de Saïs_J.C.pdf



- Partie finale « Le cadran solaire de Saïs » par J. Scordia

Considérant sa traduction de *l'horloge à ombre* incomplète et insatisfaisante, J. Scordia nous a fait parvenir le corrigé : une traduction d'après von Bomhard (Université de Montpellier III, 2014).

Ce texte sur une horloge à ombre serait jusqu'à présent le plus ancien document épigraphique parlant de gnomonique (XIII^e siècle avant J-C). Il apparaît un à deux siècles après celui évoquant la clepsydre. Ici, nous sommes encore au Bronze Moyen, à l'époque des tumulus, sans écriture, et la III^e phase de la construction de Stonehenge vient de s'achever.

⇒ Dans la version numérique, en annexe :

le fichier :CS de Saïs_J.C_2.pdf



° Courriers gnomoniques

- A propos de l'article « Lignes babyloniennes et italiques » de D. Collin

Des réactions à la suite de l'article de Dominique Collin paru dans Cadran Info N° 31 pages 33-52.

De René J. Vinck :

(1) « Voici une autre méthode pour trouver facilement les coefficients p, q, r (équations 8, page 38, CI 31) d'une droite Babylonique/Italique, si on a un logiciel permettant des multiplications de matrices.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos I & \sin I \\ 0 & -\sin I & \cos I \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos D & \sin D & 0 \\ -\sin D & \cos D & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \\ 0 & -\cos \varphi & \sin \varphi \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos \varphi * \sin B \\ \cos \varphi * \cos B \\ -\sin \varphi \end{bmatrix}$$

L'équation cartésienne d'une droite Babyl./Ital. est alors : $px + qy - gr = 0$

Et pour les points P et Q : $x1 = gr/p$ et $y1 = gr/q$ (g est la longueur du gnomon perpendiculaire sur le tableau)

Utilisant les mêmes données de l'exemple numérique (page 40-41) on obtient des résultats équivalents :

Cadran horizontal : $\phi = 43.7^\circ$, $D = 0$, $I = 0$, $g = 2$
 B = 15° $x1 = -10.4989$ $y1 = 115.419$
 B = 30° $x1 = -5.145$ $y1 = 27.794$
 Etc.

Cadran vertical : $\phi = 43.7^\circ$, $D = +50^\circ$, $I = 90^\circ$, $g = 2$
 B = 285° $x1 = 0.811$ $y1 = 0.97$
 B = 300° $x1 = 1.075$ $y1 = 0.864$
 Etc.

Bien cordialement.

(2) Voici maintenant une formulation complète par calcul matriciel

Lignes Babyloniques et Italiques

- Définitions: Latitude : ϕ
- Déclinaison du tableau : D , positive vers l'Est, négative vers l'Ouest
- Inclinaison : I , Angle horaire Babyl./Ital.en degré : B (15° par heure Bab./Ital.)
- Longueur du gnomon perpendiculaire sur le tableau : g
- Matrice de rotation des axes cartésiennes orthogonales dans l'espace : M

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos I & \sin I \\ 0 & -\sin I & \cos I \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos D & \sin D & 0 \\ -\sin D & \cos D & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \\ 0 & -\cos \varphi & \sin \varphi \end{bmatrix}$$

1. Equation cartésienne des lignes Babyl./Ital.

$$px + qy - gr = 0$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = M * \begin{bmatrix} \cos \varphi * \sin B \\ \cos \varphi * \cos B \\ -\sin \varphi \end{bmatrix}$$

Et pour les points P (x1,0) et Q (y1,0) : $x1 = gr/p$ et $y1 = gr/q$

2. Equation de l'enveloppe, Arc diurne maximal :

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0$$

$$\begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} = M * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$A = l^2 - (\cos \varphi)^2 \quad B = 2lm \quad C = m^2 - (\cos \varphi)^2 \quad D = -2lng$$

$$E = -2nmg \quad F = g^2 * [n^2 - (\cos \varphi)^2]$$

3. Coordonnées du point tangent : (Xo, Yo)

$$\begin{bmatrix} xo \\ yo \\ zo \end{bmatrix} = M * \begin{bmatrix} \sin B * \sin \varphi \\ \cos B * \sin \varphi \\ \cos \varphi \end{bmatrix}$$

$$Xo = \frac{-g*xo}{zo} \quad Yo = \frac{-g*yo}{zo}$$

De Pierre-Louis Cambefort :

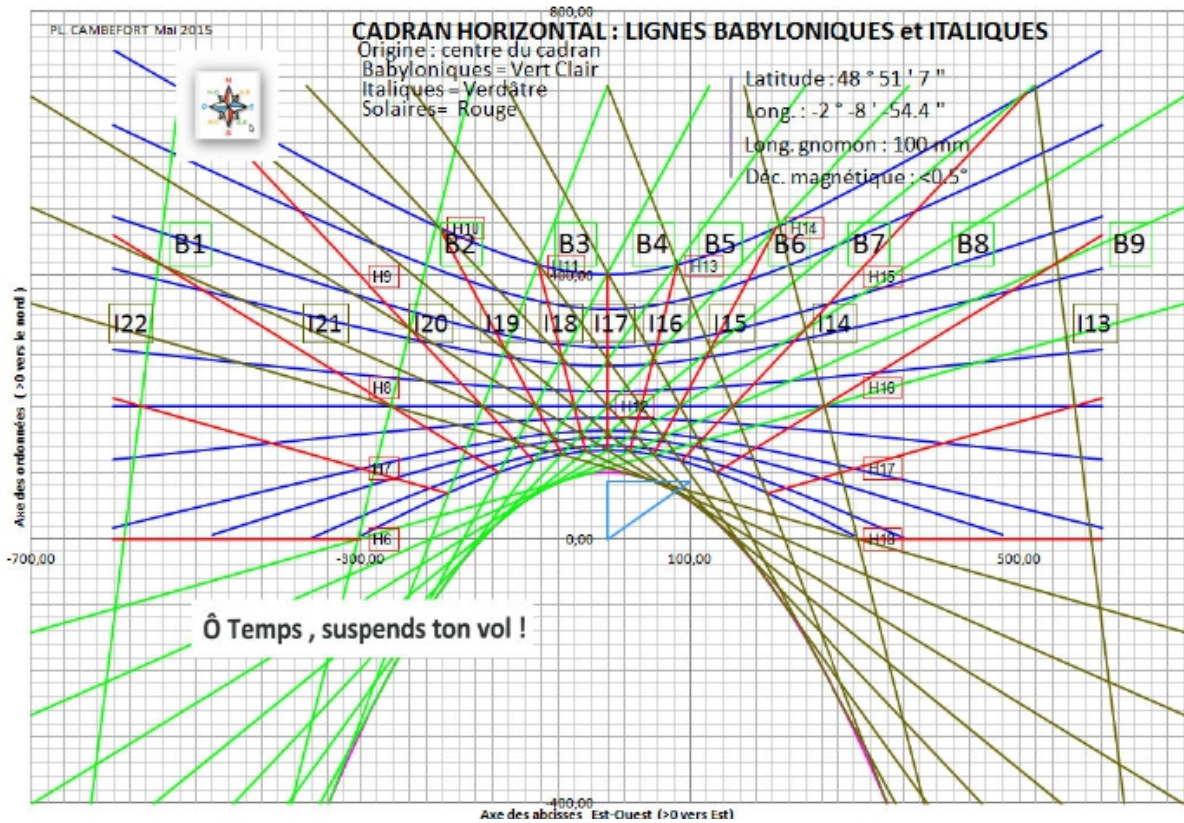
« J'ai lu avec plaisir et grand intérêt, le Cadran-Info n° 31 de mai 2015. En particulier, je me suis intéressé à l'article "Lignes Babyloniques et Italiques " de Monsieur Dominique Collin . Je l'ai utilisé pour tracer, grâce au logiciel que j'ai créé sur VBA EXCEL, le cadran solaire horizontal avec lignes babyloniennes et Italiques tangentes à l'arc diurne maximal ; ci-après, un scan de ce cadran.

J'ai toutefois quelques difficultés à comprendre pourquoi il est écrit dans le paragraphe 1.4 de cet article que :

(1) Les lignes horaires babyloniennes sont tangentes aux points de division des arcs diurnes extrêmes : quelle démonstration peut-on avoir de cette affirmation? et pourquoi les lignes babyloniennes prennent leur source de définition dans ce point de tangence ?

(2) L'égalité $H = B/2$ entre l'angle horaire et la B^e heure babylonienne ?
Peut-être Monsieur Dominique Collin aurait-il la gentillesse de me l'expliquer .

Bravo pour ce Cadran-Info, bien amicalement ».



Scan du cadran de M. Cambefort

Réponse de D. Collin

La réponse s’appuie sur la connaissance du mouvement diurne. Quelques aspects sont méconnus du grand public.

Réponse (1).

Considérons la sphère céleste. L’arc diurne maximal est le plus grand des petits cercles de la sphère parallèle à l’équateur, dont les centres sont sur l’axe des pôles. Ce cercle est tangent au point Nord à l’horizon du lieu de latitude phi (et a pour déclinaison $(90^\circ - \phi)$). Le point horizon Sud² est quand à lui tangent à l’arc nocturne maximal qui est le plus grand des cercles nocturnes. Le cercle horizon est donc simultanément tangent à ces deux petits cercles extrêmes très particuliers. Un point horaire mobile sur l’arc diurne maximal le parcourt en 24 heures de temps vrai. Prenons alors le point horizon Nord.

Déplaçons-le sur le long de l’arc diurne maximal jusqu’à ce qu’il ait parcouru 15° par exemple. On va maintenant imaginer que tous les points du cercle horizon se déplacent dans la même direction pour prendre une position fixe, si bien que ce grand cercle s’est comme déplacé en bloc tout en restant tangent aux petits cercles extrêmes (il y a eu donc rotation du cercle horizon). La position de ce grand cercle 15° plus tard (1h) sera le grand cercle de l’heure babylonique de 1h (B1). On dira que le Soleil s’est levé il y a une heure (on est bien parti d’un point sur l’horizon c’est-à-dire d’un lever...). Puis par répétition du procédé tous les 15° le long de l’arc diurne maximal pour revenir enfin au point Nord sur l’horizon, c’est comme si le cercle horizon avait effectué une révolution en 24 heures de temps vrai. On balaye ainsi les babyloniennes et les italiennes.

² L’arc diurne minimal est réduit au point Sud de l’horizon du lieu. C’est aussi par ce point que passe le plus grand cercle nocturne de déclinaison $(\phi - 90^\circ)$.

L'horizon n'a pas bougé en vérité. Mais il y a glissement d'un grand cercle de la sphère céleste, depuis le cercle horizon, le long des arcs diurnes extrêmes de 0° à 360° et par exemple avec un pas de 15° pour parcourir ainsi les 24 heures de temps vrai. C'est cet artifice qui donne naissance aux lignes horaires babyloniennes et italiques sur un cadran plan.

La figure ci-contre, détaille le principe que l'on vient de décrire. (Un fichier pdf 3D, manipulable à la souris permet d'examiner sous toutes les coutures cette figure. Il est joint à cette réponse)

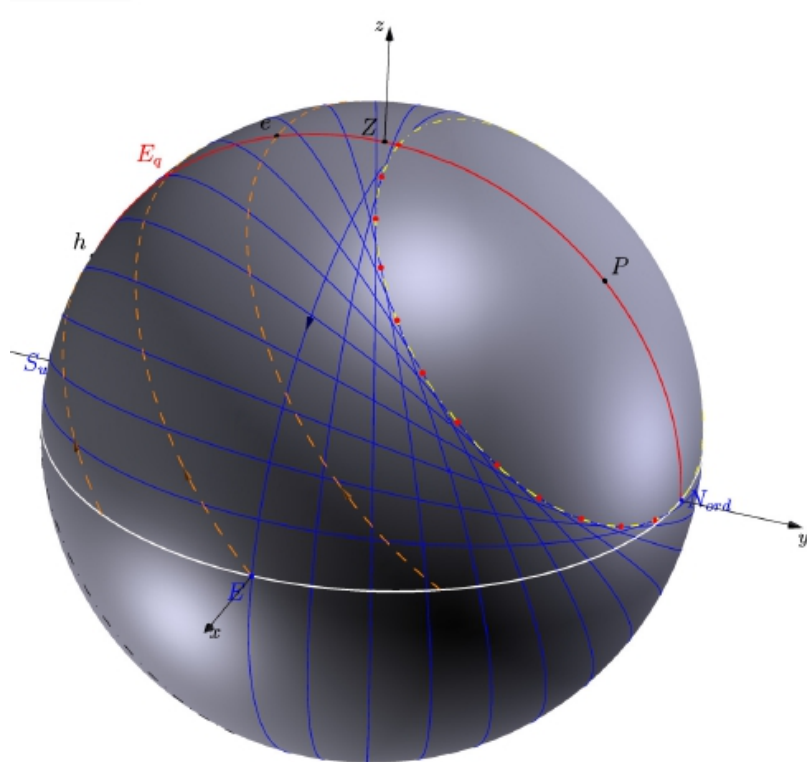


Figure : Les 12 premiers arcs de grand cercle de la sphère céleste tangents aux cercles diurne et nocturne maximums.

On fait glisser artificiellement le grand cercle horizon sur la sphère céleste tous les 15° le long des arcs diurne et nocturne extrêmes en leur restant toujours tangent. Cette propriété est intégralement conservée dans la projection centrale. Dans le plan du cadran, l'arc diurne maximal est une conique à centre et les lignes babyloniennes sont des droites qui lui sont tangent. D'où les propos de l'article au paragraphe 1.4. Cela répond à la question (1).

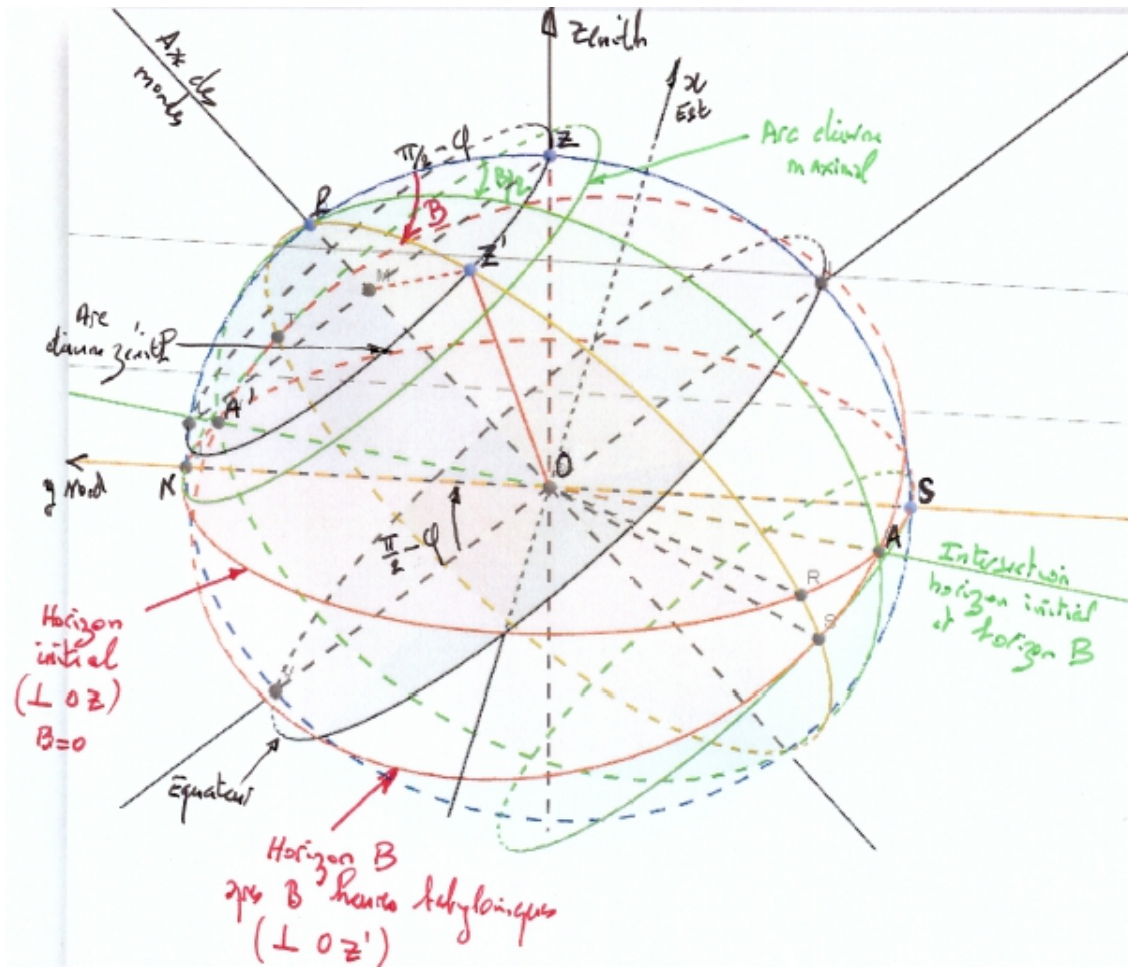
Réponse (2).

L'égalité entre l'angle horaire et la B_e babylonienne n'est valable que sur l'arc diurne maximal.

D'ailleurs, il est donné : $H = T = B/2$. Cela signifie que sur cet arc diurne la B_e heure babylonienne vaut deux fois l'heure Temporaire. On peut en effet se demander quel est l'intérêt de cette relation ou de cette remarque. Rappelons simplement que l'heure temporaire est la douzième partie du temps écoulé entre le lever et le coucher du Soleil. Elle n'est pas égale à l'angle horaire, excepté aux équinoxes. Les lignes temporaires sur la sphère céleste, qui sont des sinusoides sphériques, ont leur maximum (crêtes) situés sur l'arc diurne maximal. Par conséquent, il existe douze maximums c'est-à-dire qu'il y a exactement 12 heures temporaires sur l'arc diurne maximal, par définition. Ces 12 heures temporaires représentent 24 heures de temps vrai, car à ce moment là, une heure temporaire est égale à l'angle horaire correspondant au maximum sur l'arc diurne maximal, à savoir : 1h temporaire=30°, 2h temporaire=60°, etc.

Ceci pour démontrer qu'il va bien exister 24 heures babyloniennes sur l'arc diurne maximal. Il y a bien entendu une autre explication plus expéditive et plus claire pour indiquer cela. Alors certes, ce passage dans l'article n'est pas forcément des plus pertinent et des plus clair dans l'explication de ce que sont les lignes babyloniennes, d'autant plus qu'il n'est pas abordé les relations de passage entre les différentes heures parce que ce n'est pas le sujet (relations entre : temps vrai, heures temporaires, heures babyloniennes, heures italiques, durée du jour, que l'on retrouvera par exemple dans l'ouvrage cité en note de bas de page dans l'article...). Cela répond à question (2).

Dessin d'interprétation des lignes babyloniennes et italiques sur la sphère céleste :



Commentaires du croquis ci-dessus:

Lors du déplacement Z' du zénith Z le long de son axe diurne (cône d'axe OP et de $\frac{1}{2}$ angle du sommet $\pi/2 - \varphi$), le grand cercle horizon se déplace, tout en restant tangent aux 2 arcs diurnes extrêmes (déclinaison $90^\circ - \varphi$ et $\varphi - 90^\circ$).

Avec B , heures babyloniennes, Z vient en Z' et l'horizon initial vient en horizon B .

L'intersection $A A'$ des 2 horizons a son angle horaire égal à $B/2$.

Pour l'horizon B , l'horizon initial représente la ligne babylonienne B : c'est un grand cercle d'une droite en projection, tangent aux 2 quantités que sont les arcs diurnes externes.

- A propos de l'article « Eclaircissement d'un tunnel ou d'un mausolée » de D. Savoie

En complément de l'article de Denis Savoie sur le temple d'Abou Simbel Cadran Info n° 31 p. 104, Monsieur Jean Scordia nous fait part des remarques suivantes.

« J'ai lu avec grand intérêt l'article « Eclaircissement d'un tunnel ou d'un mausolée » (D. Savoie/ Ph. Sauvageot) paru dans *Cadran Info* n° 31. Concernant le temple d'Abou Simbel, illustré par deux photographies, il s'agit du Grand Temple, dédié au grand Ramsès II. L'autre temple célèbre et voisin de ce site est le Petit Temple (dédié à Néfertari, une épouse du Roi). A propos de la tache solaire sur les statues du fond du sanctuaire, vous notez que le 20 octobre les rayons éclairent le visage d'Amon (dieu avec deux plumes sur la tête, la deuxième statue

en partant de la gauche) puis celui du roi. Ils éclaireront ensuite Rê-Horakhty, tout à droite (faucon surmonté d'un disque solaire et d'une tête de cobra), mais que vous nommez Horus, « Horakhty » contient la racine « Horus ».

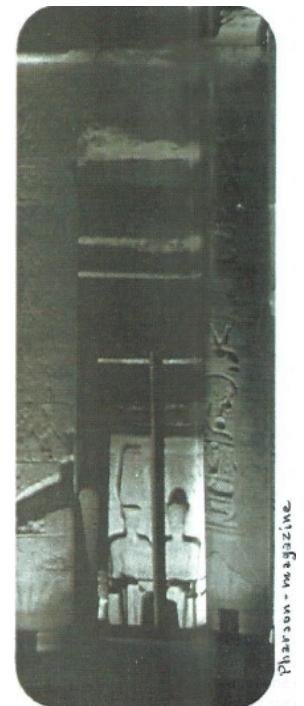
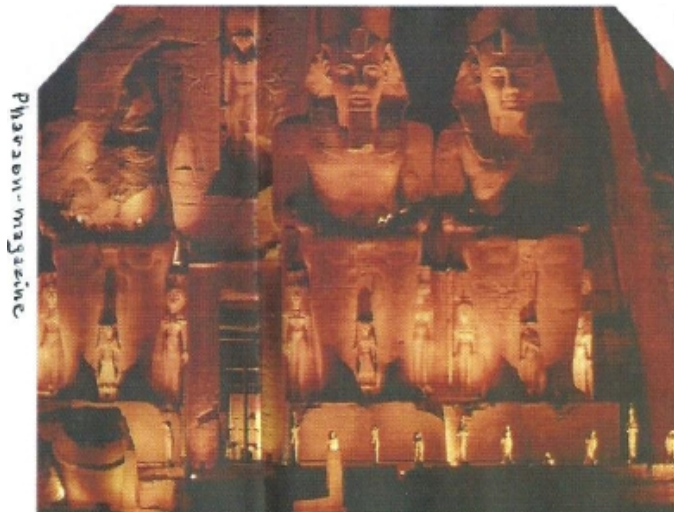
Le dieu protéiforme Soleil, Rê, a fusionné avec « Horus dans l'horizon » (« Hor » : le faucon Horus + « akhty » : l'horizon). Horus est un autre dieu, ou plutôt plusieurs autres : ainsi, il y a le fils de la déesse Isis, également Horus « F Enfant » et Horus de Méha (dont vous indiquez le nom de sa montagne). Ses nombreuses statues, de faucon, sont placées à l'extérieur du temple, alignées devant le piédestal des statues géantes du Roi.

Vous ne dites rien de la première statue, qui sans doute

demeure toujours dans la pénombre : mais pour quelle raison n'est-elle pas illuminée ? Il s'agit de Ptah/Osiris/Sokar (trinité funéraire en une divinité). Est-ce donc par superstition ou pour des raisons de géométrie par le plan de l'édifice ? L'axe du temple semble passer entre les deux statues du milieu et non par celle de Ramsès. Si le Soleil éclaire le dieu le plus à droite, il devrait aussi le faire pour celui le plus à gauche : pourquoi, diable, n'est-ce pas le cas ? Pouvait-elle être éclairée il y a 3300 ans ? Si elle n'était pas éclairée il y a 33 siècles, celle d'à côté, Amon (qui signifie « le Caché », « l'invisible »), ne l'était-elle pas non plus (pour des motifs astronomiques, sinon religieux) ?

D'après plusieurs clichés pris dans Taxe de l'entrée, cet axe tombe au milieu des 4 statues du sanctuaire. Les mesures que je connais ne sont peut-être pas tout à fait exactes : largeur de la façade = 30 m, hauteur des statues géantes = 20 m ; profondeur du temple = 55 m ; la 2e salle après l'entrée mesure 17 m de large sur 18 m de long ; les 5 portes successives auraient la même largeur, que je ne puis estimer.

En espérant que vos lumières éclairent ma lanterne, comme l'écrivait un de vos lecteurs ».



- A propos de l'article «Archéologie, gnomonique et imposture » de D. Savoie

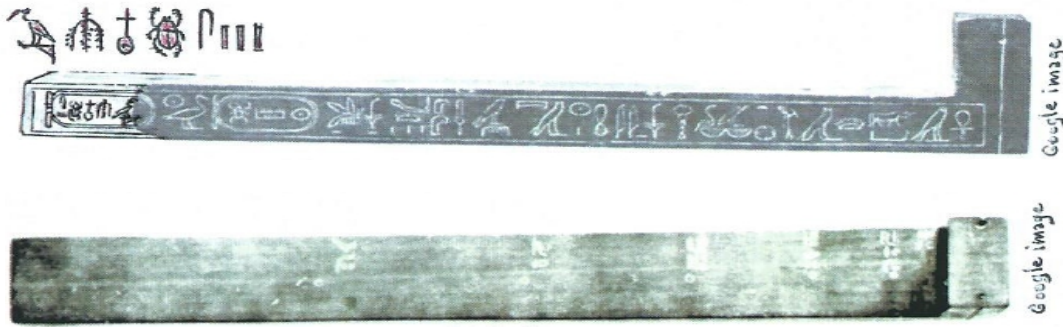
Toujours dans cadran Info n° 31, l'article en page 97 et ses annexes, font apporter les commentaires suivants de la part de Monsieur Jean Scordia.

Je voudrais commenter ou compléter certains détails de l'article « Archéologie ... imposture ».

* Sur la figure 3, page 99, le cadran règle ou en L est celui de Thoutmosis III (Musée de Berlin). Il ne porte pas d'indication horaire en hiéroglyphes. Les signes finement gravés sur le côté, sans repentir, indiquent l'identité de son glorieux possesseur : la longue y formule inscrite se termine par l'équivalent actuel du prénom et du nom. Le texte de droite vers la gauche ; comme l'extrémité de la règle est brisée, il manque le deuxième



nom du pharaon, inscrit dans un second cartouche dont on voit juste le début. Le 1er nom (*Roi de Basse Egypte* : jonc + abeille) est *Menkhéperré* ; le 2e nom (*Fils du Soleil* : canard+ disque solaire) est « Djéhoutymosé Néferkhéperou » (5 signes, dont 2 superposés, dans un ovale de même dimension que le premier) ; ce qui allonge la règle de un à deux centimètres.



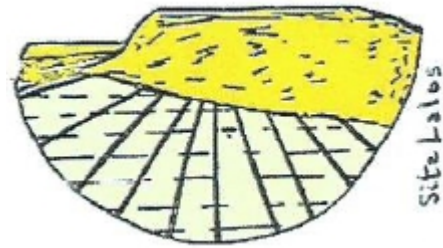
De 23 cm on atteindrait sans doute 25 cm, c'est-à-dire une coudée égyptienne. La lecture de l'heure est moindre petit mouvement l'ombre se déplace grandement, ce qui est moins le cas avec le cadran « à plan incliné ». Le cadran de Saïs porte les noms des heures près des marques en forme de cupules, mais elles ne correspondent pas aux heures indiquées sur la figure 3 : à l'heure notée 8 correspond en réalité sur la règle la 1e heure (« *ouben* » : *celle qui se lève*), à 9 la 2e heure, et à 12 la 5e heure (« *neseryt* » : *la flamboyante*). La 6e heure égyptienne est marquée au pied du gnomon, elle se nomme « *aha* » (*celle qui se dresse*).

* Plus loin, dans l'annexe « Egypt sundials » de Mme V., version numérique, je relève une confusion dans la légende de la première photographie ou bien dans la photographie : l'image est celle du « *cadran de Louxor* », daté des environs du 3e siècle av. J.-C. (Musée de Berlin). L'illustration aurait dû être celle que voici à droite : le « *cadran de Mérenptah* », gravé au nom du fils et successeur de Ramsès II (13e s.).

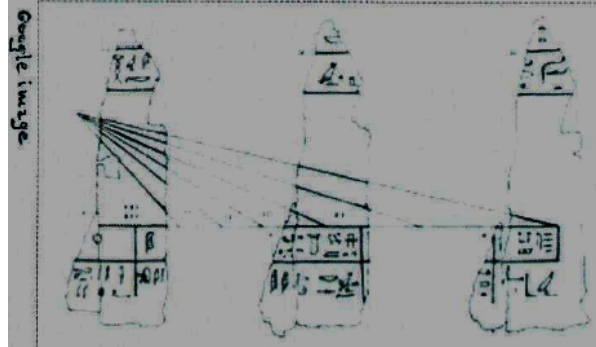
Ensuite, à la page 9, figure 8, apparaît un document historiquement et « gnomoniquement » intéressant. Il s'agit de fragments d'un papyrus découvert par l'archéologue britannique Pétrie, à la fin du 19e siècle, dans les ruines de Tanis, l'ancienne capitale de l'Egypte, à partir de l'époque de Ramsès II, dans l'Est du Delta. Ce site a révélé certains des chefs-d'œuvre de l'art pharaonique. Le grand sphinx en granit rose, visible dans un couloir du Louvre, provient de cette ville disparue, découverte il y a un siècle.

Pétrie y a aussi découvert un cadran conique miniature d'époque ptolémaïque (voir l'info-mail de la CCS, n° 47 du 25-03-2015). Le mauvais état du document « papier » rend hasardeuse l'identification de plusieurs signes.

Les signes sont peints sur quatre registres. Mais une partie des hiéroglyphes est compréhensible et correspondrait aux heures inscrites sur le plan horizontal du cadran règle de Saïs ou « horloge de Saïs ». Sur le bas du premier fragment, à droite, on lit « *wbn/ouben* » (nom de la 1^e heure) ; sur celui du milieu, quatre signes correspondant à « *mak.nb* » qui serait l'abréviation de « *makty neb* » (*la protectrice de sa*

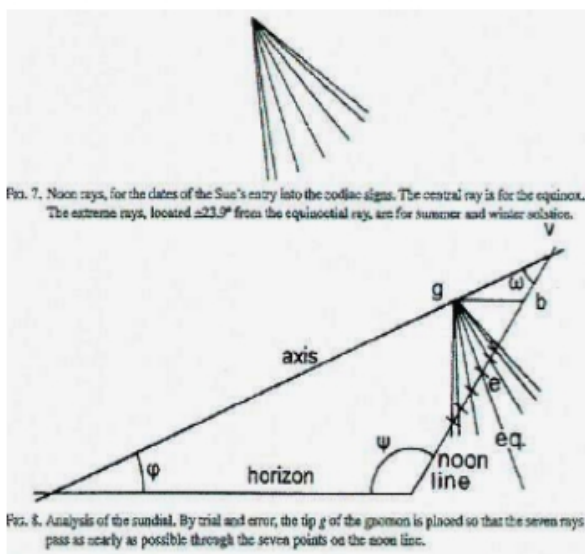
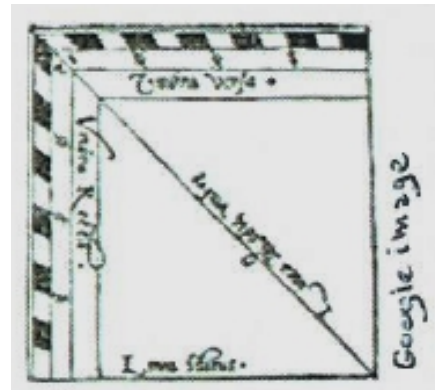


Majestée : la 3^e heure) ; et sur celui de gauche, la fin plausible de « *[nsr]y [t] + une mère* » (« *neseryt* », *la flamboyante* : la 5^e heure) ; suivie d'une barre de séparation : on déchiffre « *aha* » (*celle qui se dresse* : la 6^e heure) et « *mtr + deux bâtons* » (*précis-e*) ou bien « *mtr.t + //* » (*midi*). Ces heures sont écrites sous la supposée règle en L. Sur la règle et plus haut, l'inscription semble correspondre à une invocation ou à une dédicace : un signe



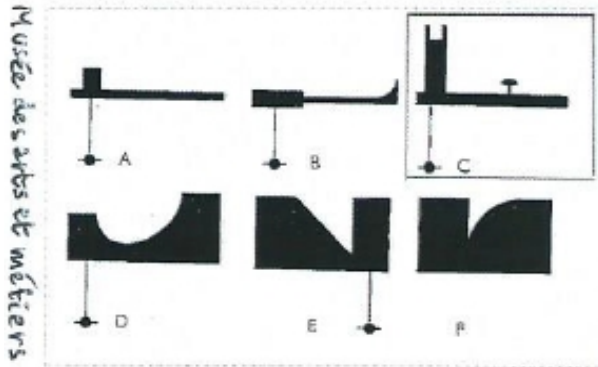
(*neb hout*) correspondrait au symbole de la déesse *Nephtys* ; le rectangle supérieur commence par « *djed* » (*dire*) et fini par quatre signes pouvant représenter un verbe au présent (*tu dures*) - la phrase n'est sans doute pas achevée-.

* Les lignes en éventail représenteraient non un cadran vertical mais peut-être une méthode géométrique pour placer les points horaires sur la règle. Cela ressemble un peu à l'ancien « carré des ombres » qui servait à mesurer une hauteur ou la distance entre deux repères horizontaux. Deux côtés du « carré » portent les chiffres 3, 6, 9 et 12 ; curieusement, sur la règle représentée à Abydos, sont inscrits les mêmes nombres ou proportions. L'unité de grandeur du « carré » est le point, par hasard la marque de l'heure du cadran en L est aussi le point.



Un info-mail de la CCS du début de mars 2015, « *Tanis sundial* » (pdf, figures 7 et 8) montre un éventail de lignes assez proche mais servant à retrouver la distance du bout du gnomon par rapport au tracé des heures d'un cadran conique ptolémaïque, trouvé à Tanis par Pétrie également (cadran miniature en ivoire) [étude de J. Evans et M. Marée : « *A Miniature Ivory Sundial* »].

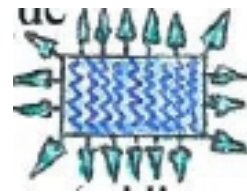
Le gnomon de la supposée règle est malheureusement en lacune sur le papyrus. Dans la deuxième partie du schéma de Mme V., le foyer des lignes des heures aurait dû se trouver sur le bord interne de la tête ; l'angle des lignes mesure entre 5 et 7 degrés ; assurément, l'heure 6 tombe mal.



Sur deux maquettes, à l'échelle 1, projection de l'ombre sur les « points » horaires (midi solaire, le 24.05.15).

D'après le dessin, la tête n'est pas assez haute, mais elle atteindrait le niveau du foyer des lignes sur un des signes « déterminatifs » (muets), le C, un des nombreux symboles de cadrans égyptiens [Dessins d'après S. Symons]. Il pourrait s'agir d'une rehausse en bois et cet élément aurait toujours disparu, décomposé.

L'interprétation de ces lignes est, de plus, compliquée parce que la perspective ancienne était différente de la nôtre : sur un plan on peut représenter à la fois une vue verticale et une horizontale. C'est la perspective « rabattue » (qu'on compare, dans une épure, à notre *style rabattu*). Par exemple, un bassin, vu d'en haut, est entouré d'arbres vus de profil. On ne peut assurer que l'éventail est une projection verticale.



Bassin entouré d'arbres

J.S Juin 2015

- Un cadran en rappelle un autre

Pierre Juillot, nous dit que « le cadran de Mr Vermeille vu lors de notre réunion à Grenoble et décrit dans ce Cadran Info m'a rappelé le cadran que j'ai vu à Augsbourg sur l'internat St-Spephan voici quelques années.

De plus, la devise latine est un chronogramme :

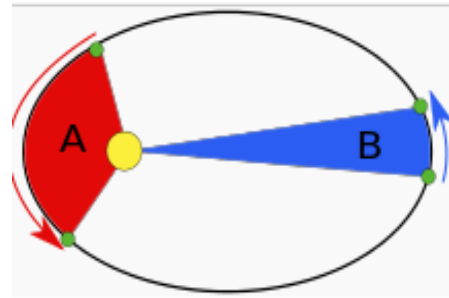
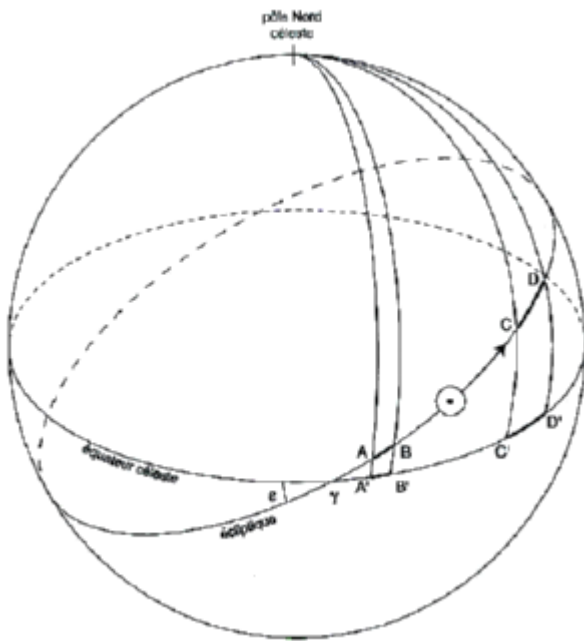
qVaestlones herli aC
Cras beneDICens
DEVs, ViVifiCans soL,
DesrtVens tV
soit : 1986 ».



- Méridiennes et loi de Kepler

Plusieurs grands astronomes mathématiciens des XVIe et XVIIe siècles exploitèrent les surfaces intérieures de grandes églises pour y tracer des méridiennes à fin de mesures astronomiques³.

Les valeurs de l'équation du temps sont la combinaison de deux phénomènes : la réduction à l'équateur⁴ et la deuxième loi de Kepler dites « loi des aires »⁵ (ci-dessous)



▲ La planète prendra le même temps à parcourir la trajectoire rouge qu'elle en prendra pour parcourir la trajectoire bleue, car les aires A et B sont égales (wikipedia).

◀ Pour un déplacement (AB) d'un 1° du Soleil sur l'écliptique, la projection A'B' est inférieure à 1° près du point vernal. Elle est supérieure à 1° près du solstice d'été (projection C'D' de CD)

Deux personnes extérieures à notre commission s'intéressent à ces questions.

° Correspondant A :

« Je suis astronome amateur et je me permets de vous écrire car je m'intéresse aux méridiennes à chambre obscure. Je suis à la recherche de documentation sur la théorie et les calculs mathématiques relatifs à ces méridiennes.

Auriez-vous connaissance de références bibliographiques (livres, internet) à me conseiller pour approfondir la question? Existe t-il sur ce sujet des ouvrages clairs avec explications et démonstrations, dans le même style que "Les cadrans solaires : tout comprendre pour les construire" que vous avez publié récemment ?

Parallèlement à l'aspect calculatoire, je m'intéresse également à la méridienne de San Petronio grâce à laquelle Cassini a pu vérifier la bissection de l'excentricité et la seconde loi de Kepler en étudiant les variations du diamètre solaire.

Je cherche à en savoir plus sur cette méthode employée par Cassini. Pouvez-vous me renseigner sur cette méthode ? Dans le cas contraire, connaissiez-vous des ouvrages ou des gnomonistes qui pourraient me renseigner.»

³ La méridienne de Perinaldo, par R. Anselmi Cadran Info n° 19, page 4

⁴ Le soleil ne décrit pas l'équateur céleste mais l'écliptique, l'angle entre ces deux grands cercles étant de 23°26' actuellement, il en résulte que l'accroissement en un jour du Soleil sur l'équateur est la projection de l'accroissement du Soleil sur l'écliptique. Réf : *La gnomonique* de D. Savoie p. 44

⁵ Le rayon vecteur reliant une planète au Soleil, balaie des aires égales en des temps égaux. Ainsi, la Terre se déplace plus rapidement sur son orbite au périhélie qu'à l'aphélie.

° Réponse de D. Savoie :

En ce qui concerne les méridiennes à chambre obscure, il existe une seule étude (sur celle de Samarkand) dont voici les références :

- Heilbron, J. (2003), *Astronomie et églises*, éd. Belin-Pour la Science, Paris.
- Paltrinieri, G. (2001), *La Meridiana della Basilica di San Petronio in Bologna*, éd. Centro Editoriale S. Stefano, Bologne.

J'attire votre attention sur un article paru dans la revue *Cadran Info* n° spécial de 2012, sur les dimensions de la tache de lumière issue d'un œilleton, élément essentiel dans une méridienne.

° Correspondant A :

Merci pour l'article ainsi que pour les références bibliographiques. Dans le livre d'Heilbron que vous possédez sûrement, on explique comment démontrer la bissection de l'excentricité (et donc la 2e loi de Kepler) à partir de la mesure des variations de diamètres solaires. C'est ce que Cassini a fait au XVIIe siècle à la méridienne de San Petronio, à Bologne.

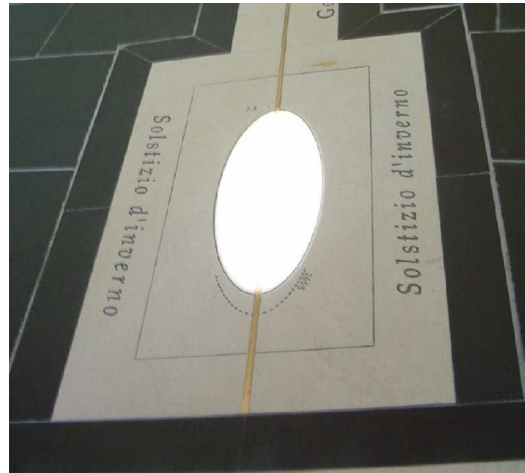


Photo article de R. Anselmi (Cadran Info n° 19)

Plus loin dans le livre (p.307-308), il est fait mention d'une méthode (utilisée par Cassini lui-même ?) qui permettait de faire les mesures de diamètres n'importe quel jour de l'année, et pas seulement aux absides, ou à défaut aux solstices. Selon Heilbron, cette méthode

nécessitait la connaissance de l'anomalie vraie du Soleil (relation C.4 p.308). Savez-vous comment au 17e siècle Cassini pouvait déterminer cette anomalie vraie ?

° Réponse de D. Savoie :

L'anomalie vraie (notée V) s'obtient très facilement à partir de l'anomalie moyenne M puisque $V = M + c$ où c est l'équation du centre. N'importe quelle table astronomique, y compris l'Almageste de Ptolémée dès le IIe siècle ap JC, permet de calculer M et c pour une date quelconque. A partir des Tables Rodolphines de Kepler de 1627, on a en plus la possibilité de résoudre l'équation de Kepler ($E = M + e \sin E$) d'où l'on extrait V , ce que Kepler explique très bien.

Donc pour Cassini tout cela est un jeu d'enfant et je vous invite par exemple à consulter les "Tables Astronomiques" de son fils Jacques parues en 1740 où il donne des exemples d'utilisation des tables et de détermination des anomalies moyennes et vraies.

° Correspondant B :

« je viens vers vous au sujet des mesures de diamètres solaires effectuées par Cassini à la Basilique de San Petronio, à Bologne. Je suis en effet à la recherche d'informations pour comprendre la méthode utilisée par Cassini pour vérifier la seconde loi de Kepler.

° Réponse de D. Savoie :

L'ouvrage qui décrit le mieux le principe de la bissection de l'excentricité (comme de la méridienne d'ailleurs) est celui de Heilbron, J. (2003), *Astronomie et églises*, éd. Belin-Pour la Science, Paris.

Sur la méridienne proprement dit, voir Paltrinieri, G. (2001), *La Meridiana della Basilica di San Petronio in Bologna*, éd. Centro Editoriale S. Stefano, Bologne.

Le mieux est encore de consulter le compte-rendu de 80 années d'observations faites à cette méridienne : E. Manfredio E. (1736), *De Gnomone meridiano bononiensi ad divi Petronii*, Bologne, chap. Observationes Meridianae Solis.

- Cadran de hauteur horizontal

Suite à sa découverte d'un cadran de hauteur devant le musée des sciences de Genève, Josph Theubet demande à Denis Savoie sont approche scientifique.

Réponse de D. Savoie : Le cadran solaire de Genève, tracé par René Béguin, est original car les cadrans de hauteurs horizontaux n'existent quasiment pas⁶ (fig. 1). C'est tout simplement dû au fait qu'ils sont généralement transportables et orientés à la main vers le Soleil (donc verticalement).

Comme tous les cadrans appartenant à ce type, le cadran de Genève présente les mêmes inconvénients (difficulté de lecture entre 11 h et 13 h) accentué par sa graduation en UT + 1 h qui pose d'une part un problème sur la zone de lecture entre 11h, 12 h et 13 h (les courbes sont très serrées), et qui demande de savoir si on est avant ou après midi, ce qu'*a priori* on ne sait pas (incertitude qui n'est pas évidente à lever). Enfin le fait que le cadran soit horizontal limite la lecture de l'heure en hiver.



Figure 1

Le principe du cadran est classique : un abaque permet de déduire l'heure à partir de la hauteur du Soleil, moyennant un ajustement manuel du disque horizontal autour du gnomon en fonction de la date. Il suffit de faire coïncider la direction de l'ombre avec la date du jour pour lire l'heure.

Rappelons que l'on calcule la hauteur h du Soleil à un instant donné en fonction de la latitude ϕ et de la déclinaison δ du Soleil par :

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H$$

H étant l'angle horaire du Soleil. Celui-ci peut être exprimé en temps solaire vrai ou en temps moyen et ses dérivés, par exemple pour le cadran de Genève en UT + 1 h. Dans ce cas, on a :

⁶ Voir la présentation de ce cadran par J. Theubet dans le présent *CadranInfo*. La théorie donnée ici est établie à partir des photos données par J. Theubet.

$$H = H_v - E - \lambda \text{ ong} - 15^\circ$$

où H_v est l'angle horaire du Soleil vrai ($H = 15^\circ = 13 \text{ h.} \dots$), E est l'équation du temps, λ ong la longitude du lieu et 15° l'avance « heure d'hiver » sur le Temps Universel. Si l'on veut tracer le cadran uniquement en temps solaire vrai, il suffit de faire $H = H_v$.

La partie « Après midi vrai » du cadran est un secteur de 180° dont chaque extrémité latérale correspond au solstice d'hiver, donc à une longitude du Soleil de 270° .

Perpendiculairement se trouve le solstice d'été (longitude λ du Soleil de 90°). On peut diviser ce secteur en deux semestres (voir fig. 2) : une partie gauche qui correspond à une déclinaison croissante du Soleil (de $-23^\circ,4333$ à $+23^\circ,4333$, soit une longitude qui va de 270° à 90°) et une partie droite qui correspond à une déclinaison décroissante du Soleil (de $+23^\circ,4333$ à

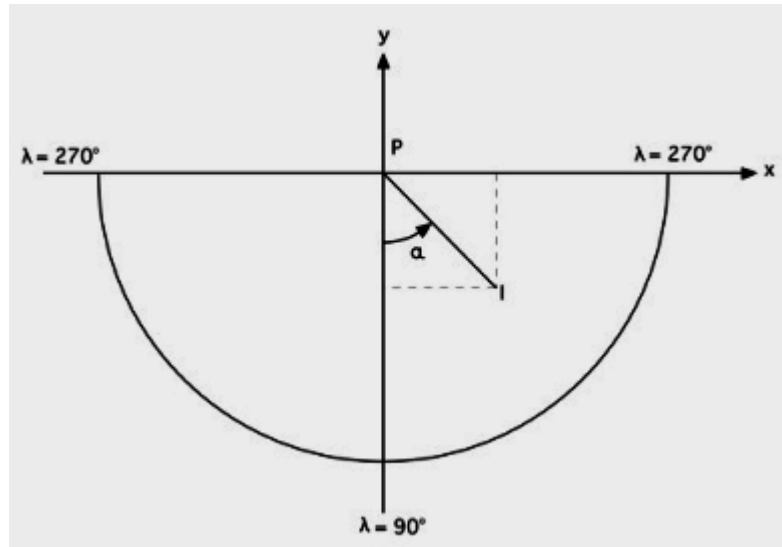


Figure 2

– $23^\circ,4333$, soit une longitude qui va de 90° à 270°).

Si l'on appelle x et y les coordonnées de l'extrémité PI de l'ombre du gnomon de hauteur a , mesurées dans un repère centré sur le pied P du gnomon, tel que l'axe des y coïncide avec l'axe du solstice d'été positivement vers le haut et l'axe des x avec l'axe du solstice d'hiver vers la droite, on a :

$$x = [a/\text{tg } h] \sin \alpha$$

$$y = - [a/\text{tg } h] \cos \alpha$$

avec

$$\alpha = (\lambda - 90^\circ)/2$$

Le terme $[a/\text{tg } h]$ est la longueur de l'ombre du gnomon à un instant donné. La longitude du Soleil est ici la seule variable dans les formules de calcul (pour un H donné) puisque l'on a :

$$\sin \delta = \sin 23^\circ,4333 \sin \lambda$$

L'équation du temps en degrés pour la période actuelle (2015-2016) peut se calculer par :

$$E = -2^\circ,36344 (\sin 2 \lambda / \cos \delta) + 1^\circ,91392 \sin (\lambda + 76^\circ,79667) - 0^\circ,011987 \sin 2(\lambda + 76^\circ,79667)$$

En adoptant comme variable cette longitude solaire, il faut faire attention aux problèmes de signe de l'angle α , compté arbitrairement ici depuis l'axe des y dans le sens horaire. Il faut faire $x = - [a/\text{tg } h] \sin \alpha$ et $y = + [a/\text{tg } h] \cos \alpha$ pour le secteur $\lambda = 270^\circ$ à $\lambda = 360^\circ$ (δ varie de $-23^\circ,4333$ à 0°).

Pour tracer les courbes d'heure, il suffit de faire varier la longitude du Soleil pour une heure donnée, en vérifiant que $h > 0^\circ$.

Pour les heures de la partie « Avant midi vrai », on adopte les mêmes conventions que précédemment.

Exemple 1 : prenons une latitude de $46^\circ 13'$ et une longitude de $6^\circ 9'$ Est (-0 h 24 m 36 s), coordonnées géographiques du parc de Genève où se trouve le cadran horizontal de R. Béguin dont le gnomon mesure 6 cm. Traçons quelques points de la courbe horaire 14 h Temps Universel + 1 h :

$\lambda = 60^\circ$	$E = -0^\circ,85804$	$H_v = +30^\circ$	$H = 22^\circ,008$	$h = 58^\circ,316$
$\alpha = -15^\circ$	$x = -0,959$ cm	$y = -3,577$ cm		
$\lambda = 230^\circ$	$E = -3^\circ,96486$	$H_v = +30^\circ$	$H = 25^\circ,115$	$h = 22^\circ,131$
$\alpha = 70^\circ$	$x = 13,864$ cm	$y = -5,046$ cm		

Sur la photo du cadran, on voit que l'auteur a relié par une seule courbe XI h (partie « avant midi vrai ») et II h (partie « après midi vrai »). Ce qui veut dire qu'en théorie, les deux angles horaires sont absolument égaux en valeur absolue et par conséquent que la hauteur du Soleil au solstice d'hiver est la même à 11 h et à 14 h (en UT + 1 h). Dans le premier cas, avec les paramètres précédents, on obtient un angle horaire de $-23^\circ,418$ et dans le second cas un angle horaire de $+21^\circ,582$. Les courbes ne sont donc pas jointives (idem pour la courbe XII h reliée à la courbe I h) puisqu'il s'en faut d'un peu de plus de 0,5 mm.

Les courbes peuvent être jointives, mais il faut déplacer le cadran en longitude vers l'Est et l'implanter à $7^\circ 4' 10''$ Est environ pour obtenir un accord quasiment parfait (non loin de la ville suisse de Martigny). Cette particularité d'avoir des courbes jointives est donc uniquement un effet de la longitude, en lien avec l'heure légale d'hiver indiquée par ce cadran⁷.

Par contre sur un cadran horizontal de hauteur indiquant le temps solaire vrai, les courbes sont naturellement jointives comme on peut le voir par exemple sur la figure 3. Mais il n'est pas forcément utile dans ce cas de tracer un cadran par semestre puisque les heures du matin sont parfaitement symétriques de celles de l'après-midi, comme sur un cadran cylindrique type « montre de berger » par exemple.

Bien évidemment, le tracé des courbes doit être limité d'une part aux limites de l'épure et d'autre part il faut vérifier que la hauteur du Soleil est positive pour un angle horaire donné et qu'elle n'est pas trop faible. La courbe 5 h du matin (et son équivalent 19 h) est par exemple très difficile à matérialiser en raison de la longueur de l'ombre du gnomon.

La figure 4 représente un cadran tracé pour la latitude de Genève en temps solaire vrai ; les dimensions sont un carré de 80 cm de côté.

Page suivante, les figures 3 et 4.

⁷ Il existe également sur ce cadran de Genève une anomalie concernant les courbes 11 h et 12 h dans la partie « décembre à janvier » et dans la partie « novembre à décembre » ; l'équation du temps n'étant pas symétrique à ces deux périodes, les courbes devraient être dissymétriques, plus proches d'un côté et plus écarté de l'autre.

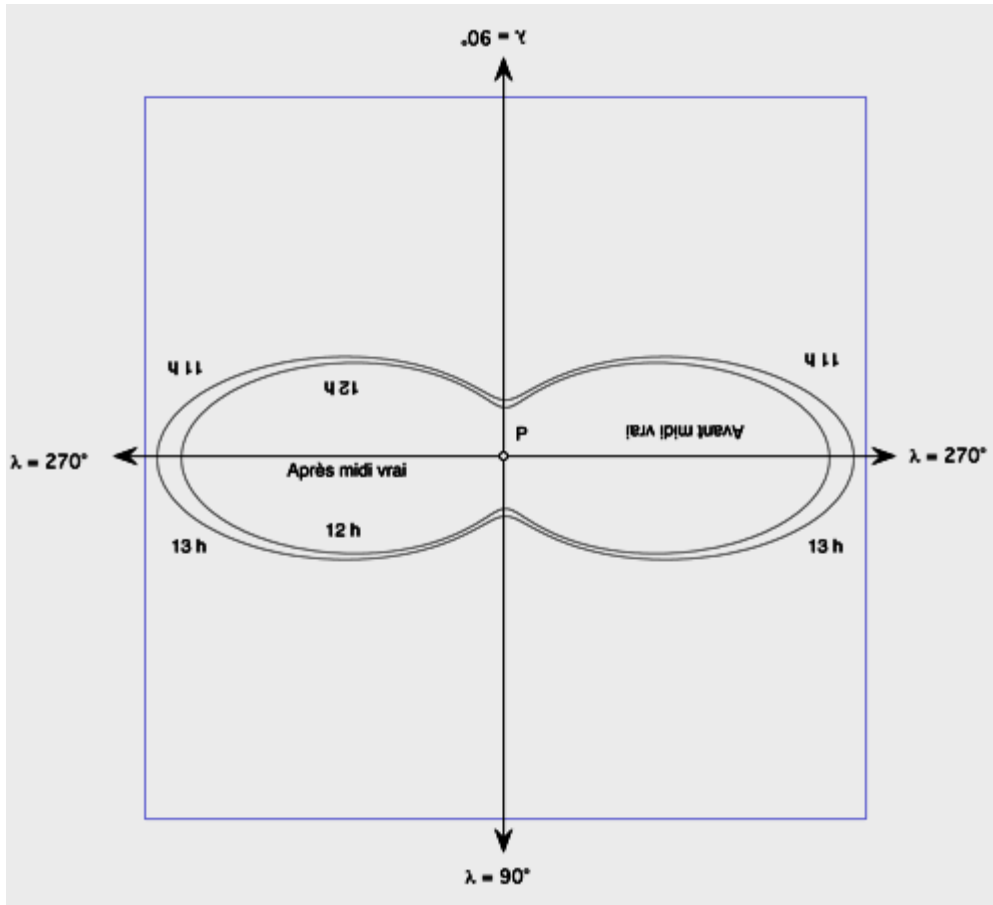


Figure 3

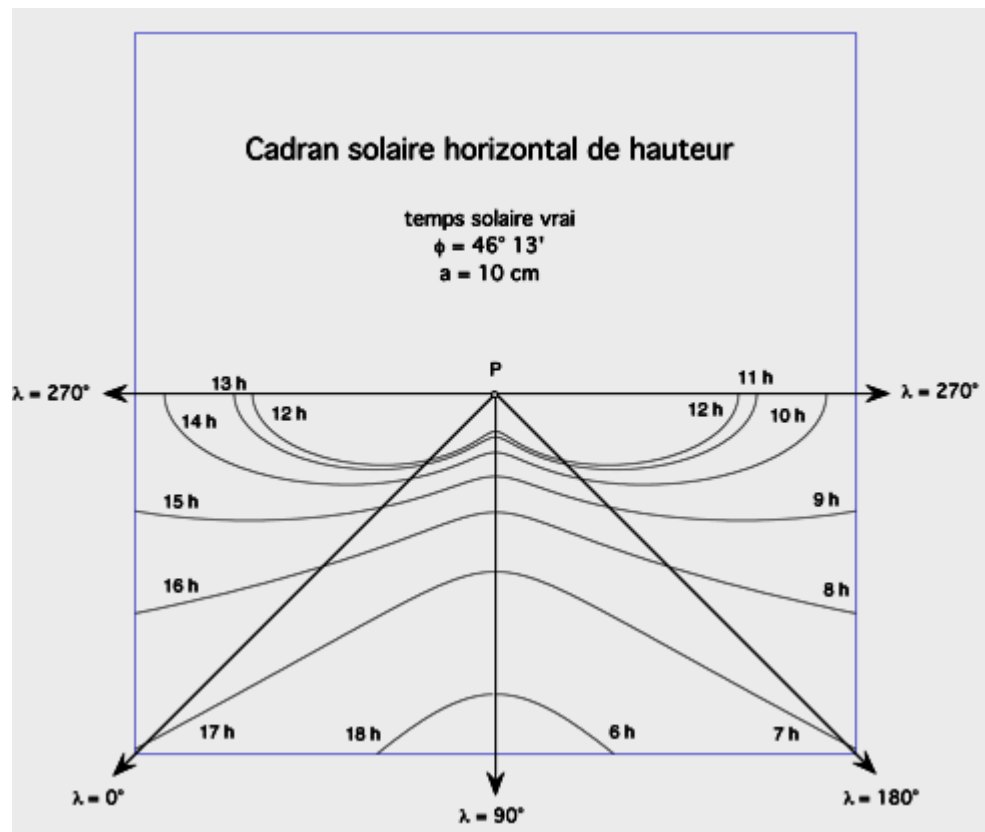


Figure 4



° Littérature gnomonique

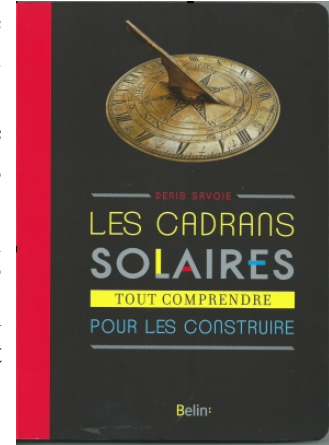
Les cadrans solaires tout comprendre pour les construire par Denis SAVOIE

Il s'agit d'une nouvelle version de l'ouvrage de l'auteur édité chez Belin en 2003. Elle a été entièrement refondue et remise à jour.

Nouvelle maquette, nouvelles photographies (beaucoup de Serge Grégori), les tables d'équation du temps et de déclinaisons calculées pour l'intervalle 2015-2025...

« Quelles heures peut indiquer un cadran vertical plein nord? Comment repérer son anniversaire sur un cadran horizontal? Comment fonctionne une boussole solaire? À quoi ressemble un cadran solaire sous les tropiques? Autant de questions qui trouvent ici une réponse simple, pédagogique et illustrée ».

Edition BELIN, mai 2015 ; 19,50€



Formule e metodi per lo studio degli orologi solari piani par Gianni Ferrari

La clarté des textes, des formules et des très nombreux schémas font qu'il est inutile de maîtriser l'italien pour apprécier et utiliser cet ouvrage.

En effet il décrit et définit par la géométrie, la trigonométrie plane ou sphérique tous les tracés possibles sur ce type de cadran. On trouve des cadrans simples, inclinant-déclinants, également à réflexion, bifilaires...

Des chapitres entiers sont consacrés à des sujets peu traités : la réfraction des rayons solaires à travers une vitre, la réfraction atmosphérique, les problèmes d'obstacles venant perturber l'éclairage d'un cadran et d'autres sujets particulièrement intéressants et concrets pour le gnomoniste/cadranier.

Ce livre de 460 pages est un outil indispensable aussi bien à l'amateur qu'à l'expert.



° les lecteurs français peuvent acheter l'ouvrage via les bibliothèques sur Internet, exemple :
<http://www.ibs.it/libri/ferrari+gianni/libri+di+gianni+ferrari.html>

prix : 25 € + 9.5 € (frais de port).

° à l'adresse :

http://www.amazon.fr/Formule-Metodi-Studio-Orologi-Solari/dp/8891179361/ref=sr_1_1?s=english-books&ie=UTF8&qid=1432574498&sr=1-1&keywords=gianni+ferrari+orologi

le coût est plus élevé: 44 €

° il existe également une version ebook (PDF)

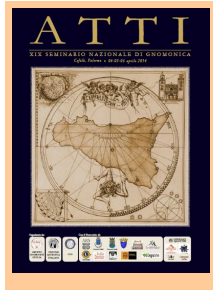
<http://www.ibs.it/ebook/Ferrari-Gianni/formule-e-metodi-per-lo-/9788891183521.html>

prix : 10 €



° Gnomonique du monde

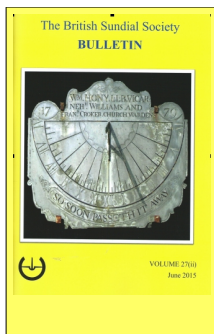
– Sommaires des dernières revues ou bulletins :



XIXe séminaire national de gnomonique de l'ATTI sur CD (Gnomonica Italiana)

Gnomonica geodetica: l'uso delle meridiane per studiare la Terra 14 ; Lediti» Wilzeck e i quadranti ad ore italiche a Pavia 18 ; L'obelisco di Augusto alla luce di due manoscritti di padre Angelo Secchi e dei testi di Giuseppe Vasi e Cornelio Meyer 25 ; Cartesius mirror (sezione a riflessione) 34 ; Orologio solare analemmatico. Quadrante e stilo comunque orientati 42 ; The Chichester sun compass - La bussola solare di Francis Chichester 55 ; Gii orologi solari antichi del "Paolo Orsi" di Siracusa 63 ; Aurelio Pantanali Nel segno del

tempo, dalle meridiane di AieUo agli orologi di Fesariis 155 ; Antonina Speziale A scuola di tempo: il potere educativo delle meridiane 159 ; Michele Tiobia II quadrante solare di Salvatore Franco...nel Palazzo Vescovile di Catania 166 ; Sebastiano Trovato L'acqua-Forte nella Gnomonica 170 ; Maria Luisa Tuscano II Sentiero del Sole: dalle hici meridiane del Duomo di Cefalùagli orologi solari del Parco delle Madonie 180 ; Ennia Visentin II restauro dei quadranti solari dipinti 191 ; Giuseppe Zuccala Un originale orologio-calendario solare bifilare 196.



VOLUME 27 (ii) - Juin 2015 (sur papier) de la BRITISH SUNDIAL SOCIETY

1. Editorial ; 2. The Chetwode Quadrant: A Medieval Unequal-Hour Instrument - *John Davis* ; 6 New Dials (1): A Horizontal Stereographic Projection Dial for South Africa - *Malcolm Barnfield* ; 7. 24-Hour Sundial in the Shadow of the Moon - *Martins Gills* 7. Total Eclipse 2015 - *Douglas Bateman* ; 8. In the Footsteps of Thomas Ross: Part 11. The *Dyallis* of William Aytoun - *Dennis Cowan* 15. Re-Imagining the Pewterers' Glass Sundial - *Geoffrey Lane* 17. English Pottery Sundial Picture - *Malcolm Barnfield* 18. Who Made these Ivory Diptych Dials? - *Mike Cowham* 20. Mike Groom—Obituary - *Ben Jones*

21. Setting the Bead on an Horary Quadrant Without a Date Scale - *Frank H. King* 21. The Eclipse as Seen in Fife - *Dennis Cowan* 22. Anton Schmitz - Bildhauermeister; Or, how' a young German soldier eventually joined the British Sundial Society - *Douglas Bateman and Ursula Schmitz* 28. A Proposed Heliochronometer - *Alan Mitchell* 30. New Dials (2): Armillary Dial in Eire - *Mark Lennox-Boyd* 31. Sundial Discoveries in India and Sri Lanka - *Martin Jenkins* 35. New Book – *Bonnin* 36. Restoration of the Hole Park Sundial - *Brad Dillon* 37. The Hole Park Dial, Unrestored - *John Davis* 38. Newly Reported Dials, 2014 - *John Foad* 41. BSS Annual Conference: Nottingham, 10-12 April 2015 - *Geoff Parsons, John Lester, Irene Brightmer and Frank Coe* 45. Minutes of the 26th BSS Annual General Meeting 46. Trustees' Annual Report 48. BSS Accounts for the Period 7 February to 31 December 2014



La BUSCA de PAPER N° 80 printemps 2015 (sur papier et CD) de la Societat Catalana de Gnomonica SCG

Editorial 3 ; Novetatsalweb 3 ; Francese Joan Domènec Aragó, per Josep Ma Casals 4 ; Estudi d'alineacions amb el sol a Felanltx, per Sebastià Roig 10 ; Els rellotges de sol de la Catedral de Cirona, per P. Novella, C. González i C.A.T. Mendoza 14 ; Inaugurado del Cercle d'Hiparc 17 ; El "making-of" del rellotge de sol del Tapís de la Creado, per R. Raluy 18 ; Inaugurado de l'exposició permanent de la Col·lecció Francesc Clara 20 ; Publicacions rebudes 21 ; Taller de bricolatge (2), Rellotges projectius (I), per F. Clara

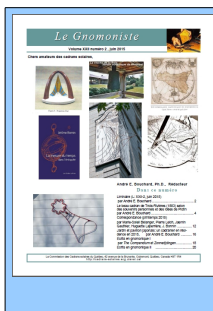
22 ; Rellotge de sol a la UAGRAM-Bolivia, per Adela Morello 24 ; La col·lecció de rellotges personais del MADB (iil), per Eduard Farré 26 ; Convocatoria Premi Vicent Aragonés 30 ; HamortFerdeVries.30 ; Correu de socis i amics 30 ; El 2014 en imatges 31.



La BUSCA de PAPER N° 81 été 2015 (sur papier et CD) de la **Societat Catalana de Gnomonica SCG**

Editorial 3 ; Correu de socis i amics 3 ; Catedral de Santa Maria d'Urgell, estudi arquitectònic en base astronòmica i gnomònica, per Joan i Antonio Vázquez 4 ; Els rellotges del Museu d'Història de Girona, per C. González 10 ; Taller de Bricolatge (3), Rellotges projectius (ii), per F. Clarà 13 ; Pedro Ruiz Gallo i el seu rellotge de l'exposició de Lima, per E. Farré 15 ; Col·laboracions: una guia 17 ; Exemple de treball de fi de cicle dels alumnes de rellotgeria de l'Institut Mare de Déu de la Mercè 18 ; Els rellotges de sol del

Monestir de Santa Maria de Poblet, per P.J. Novella 20 ; Publicacions rebudes 21 ; Un romà polèmic en rellotges. III o IV ?, per E. Farré 22 ; La col·lecció de rellotges personals del MADB (iv), per E. Farré 24 ; El rellotge de l'església de Sant Andreu de la Selva de Camp, per P.J. Novella 27 ; Racó literari: "L'horari", de Josep Pla 28 ; Comentari a l'article "Estudi d'alineacions amb el sol a Felanitx", per R. Soler i Gayà 30.



LE GNOMONISTE volume XXII-2 Juin 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-2, juin 2015) par André E. Bouchard 2 ; Le beau cadran de Trois-Rivières (1883) selon des souvenirs personnels et des idées de Plotin par André E. Bouchard 4 ; Correspondance (printemps 2015) par Marie-Soleil Bélanger, Pierre Leich, Jasmin Gauthier, Huguette Laperrière, J. Bonnin 12 ; Jardin et pavillon japonais: un cadranier en résidence en 2015, par André E. Bouchard 16 ; Écrits en

gnomonique par *The Compendium et Zonnetijdingen* 18 ; Écrits en gnomonique II 20.



OROLOGI SOLARI N° 7 AVRIL 2015 CGI - Coordinamento Gnomonico Italiano à télécharger sur le site : WWW.OROLOGISOLARI.EU

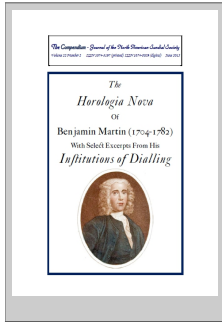
Il Pros Pan Klima discende dal Merket? Un percorso millenario per un orologio - status symbol presso gli antichi romani Albéri Auber Paolo . L'orologio verticale a disco: metamorfosi di un quadrante d'altezza Anselmi Riccardo . Un 'inedito' testo del secolo X riporta un'antica regola per costruire orologi solari portatili Arnaldi Mario . Restauro della meridiana di S. Vito al Tagliamento Caccia Luigi . Orologi equatoriali a riflessione Casalegno Gian. Orologio Rectum-Versum Coco Nicola. L' HELIOMETRO

FISIOCRITICO ovvero la meridiana sanese (parte 1) Goretti Massimo . Amplitudine del Sole o di un astro e lunghezza del giorno Gunella Alessandro . Dati tre punti ombra determinare il centro di un quadrante solare su qualsiasi superficie piana Urfalino Carmelo - Urfalino Angelo.



Zonnetijdingen 2015-2 (sur papier) **de la Zonnewijzerkring Vlaanderen VZW**

N° 74 : Voorwoord 3 ; De zonnewijzer van Chamberland 4 ; Zonnewijzers op rotonds : oprocep 5 ; Kathedralen en middaglijnen (deep7) 6 ; Markering van declinatielijnen op een scaphezonnewijzer 9 ; De zonnewijzer van Muno 12 ; Artikels opzoeken in Zonnetijdingen 14 ; Tweevoudigh onderwijs van de Hemelsche en Aerdsche gloden (deel 4) 15 ; Kringleven 16.



The COMPENDIUM vol 22-2 juin 2015 (sur CD) de la NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY

Foreword – p.ii ; Horologia Nova; or, The New Art of Dialling in Theory and Practice, London. 1770. – p.iii. ; “Description of two New Instruments for facilitating the practice of Dialling”, from “Dialling”, Encyclopaedia Britannica, volume 7, 6th edition, Edinburgh, 1823. – p.18. ; “Of the best Methods of drawing a Meridian Line by Concentric Circles, by the Hyperbola. The Theory of a New Equal Altitude Instrument for that Purpose”, Chap. XXVIII of the Institutions of Clock-Work in A New and

Comprehensive System of Mathematical Institutions, Agreeable to the Present State of the Newtonian Mathesis, Vol. II, pp.519-523+plate, London. 1764. [Excerpt] – p.24. ; “The Theory and Construction of an Elliptical, Circular, and Diametral Dial, which by Means of a common Horizontal Dial, will find the true Meridian”, Chaps. XXIX - XXX of the Institutions of Clock-Work in A New and Comprehensive System of Mathematical Institutions, Agreeable to the Present State of the Newtonian Mathesis, Vol. II, pp.524-535 + plate, London. 1764. – p.25. ; “Martin, Benjamin (1704-1782)”, Dictionary of National Biography, ed. Sidney Lee, vol. 36, New York, 1893. – p.33. ; Martin’s writing on gnomonics. – p.35. ; “Mathematical, Philosophical, and Optical Instruments invented or improved, by B. Martin”, A New and Comprehensive System of Mathematical Institutions, Agreeable to the Present State of the Newtonian Mathesis, Vol. II, London. 1764.



The COMPENDIUM vol 22-3 septembre 2015 (sur CD) de la NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY


Sundials for Starters – Seeing Double Robert L. Kellogg 1 ; Albert Cushing Crehore (1868-1959) Fred Sawyer 8 ; Digital Bonus 10 ; A Land Without Time Mark Montgomery 11 ; Sighting... In Legacy Park J. Lennart Berggren 12 ; Some Forgotten Formulas Gianni Ferrari 13 ; A “Living” Floor Sundial Siegfried Rasper 20 ; A Caustic Sundial Bert Willard 23 ; Uses Of Reflecting Dials Claude Hartman 25 ; Equatorial Reflecting Sundials Gianpiero ; Casalegno 32 ; A Polish Sundial In Romania Dan Uza 36 ; The Tove’s Nest 38 ; Indoctrinating the Grandkids cover.



Bulletin 2015.2 (sur papier) De Zonnewijzerkring

Hommage à Fer de Vries ; Het programma voor de bijeenkomst van de kring op 26 September in Museum Boerhaave ; Een verslag van de excursie naar het Openluchtmuseum in Arnhem. Kunnen de bloemetjes verteilen hoe laat het is? ; Een zonnewijzer in keramiek uitgevoerd, gezien in Italie door John Souverijn. ; Puzzelt u mee met Han Hoogenraad? ; Een zonnewijzer op het strand van Terschelling of is het wat anders? Een leuke kunstuiting in ieder geval. ; De Zimmertoren in Lier verder uitgeplozen op de zondagsletter en het berekenen van de paasdatum door Lidy Bolsman. ; Een

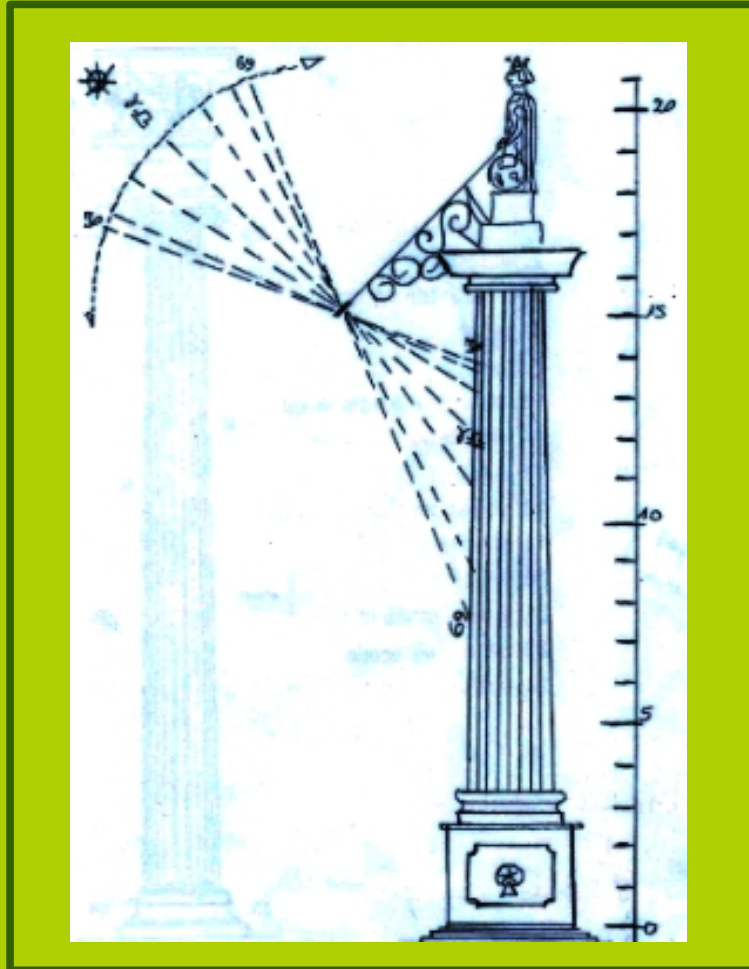
bouwpakket voor een equatoriale zonnewijzer doorgelicht door Han Hoogenraad. ; Zonnewijzers en tijdmeters uit het verleden in een historische beschouwing van Henk Nieuwenhuis.

 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 28 août 2015
 Merci à Dominique Collin pour sa relecture attentive.



Etude de P. Gagnaire

Colonne d'Uranie de Lyon