

Au Sommaire :

- **Philippe de La Hire : un astronome novateur dans la gnomonique et les astrolabes**
- **Cadran à réflexion : modelisation de la tache lumineuse**

- **Histoire**

Les cadrans solaires de Julien Le Roy
Cadrans solaires de l'expédition d'Égypte

- **Réalisations**

La méridienne de l'église de Mézières-en-Brenne

- **Études**

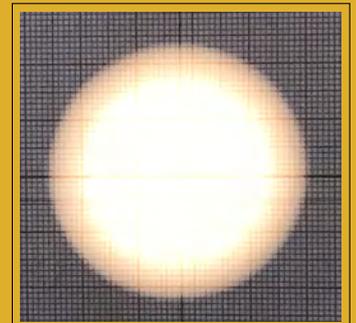
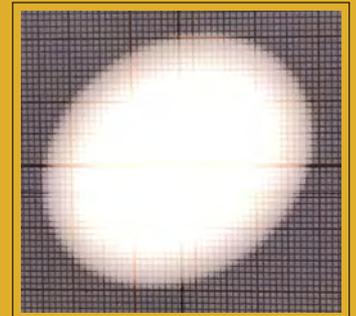
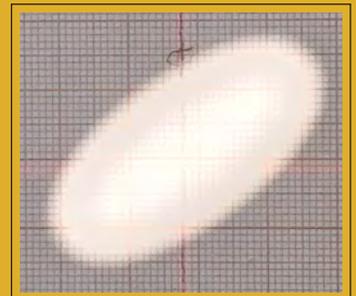
Le cadran solaire, un instrument de mesure du temps
Les genoux ensoleillés ou le Soleil sur le chapiteau de Daniel
Calcul de l'équation du temps
Calcul pour la durée du jour vrai
Cadrans solaires bourguignons : essai de datation

- **Espace débutants**

Expliquer les méridiennes et les cadrans solaires en 8 étapes

- **Informations**

Restauration de cadrans, nouveaux cadrans et dernières réalisations
Documents et logiciels
Questions/réponses gnomoniques
Sociétés étrangères



Software : typography

T_EX and $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}$ -T_EX are trademarks of the American Mathematical Society.

L^AT_EX is a program whose copyright belongs to Leslie Lamport.

Copyright © 2019 by C.C.S.
(Société Astronomique de France)
Première édition, Octobre 2019.

All inquiries should be addressed to :
Philippe SAUVAGEOT
Président de la Commission des Cadrons Solaires.
sauvageotph@wanadoo.fr
&
Dominique COLLIN
dominique.collin457@orange.fr

26 octobre 2019. Build n° 1.0.14 [299-785].



Commission des Cadres Solaires

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

La **Commission des Cadres Solaires** de la **Société Astronomique de France** effectue des recherches, des travaux théoriques et pratiques concernant les gnomons, cadran solaire, méridiennes, astrolabes, nocturlabes et autres dispositifs permettant de mesurer le temps à partir de la position du soleil, de la lune ou des étoiles. Elle publie, donne et reçoit des informations au niveau international, sur l'histoire des cadrans, leurs devises, leur construction et la littérature qui leur est consacrée. Elle participe à la sauvegarde du patrimoine gnomonique français. Elle comprend environ 300 membres du néophyte à l'expert.

La Commission des Cadres Solaires c'est :

- deux réunions annuelles en province et à Paris (ou banlieue).
- la publication de la revue *Cadran Info*, en mai et en octobre.
- la publication en octobre de chaque année des inventaires (France et étrangers) des cadrans solaires, astrolabes, nocturlabes.
- un accès aux études, livres numérisés, logiciels (liste des offres, liste des articles parus dans *Cadran Info*, sur demande).
- de l'information tout au long de l'année par de nombreux envois de courriels.

Pour nous rejoindre :

- Si vous êtes membre de la Société Astronomique de France, il suffit de demander l'inscription à la Commission des Cadres Solaires.
- Si vous n'êtes pas membre, inscrivez-vous à la SAF : 35 €/an pour la province et l'étranger, 50 €/an pour l'île de France.

Contact : secretariat@saf-astronomie.fr

En couverture : Dispositif d'analyse (miroir + niveau laser) et différentes formes de taches lumineuses produites par réflexion des rayons lumineux sur un miroir plan.

Couleurs en page de couverture : Tanné (code RVB {168,83,0}), et Ocre Jaune de Nice (code RVB {223,175,44}), puis couleur du package xcolor, option x11names : Tan3 pour le dos de couverture.

Summaries in French, English, German, Spanish, Italian

Traduction de M. Lambalieu (anglais), Y. Opizzo (allemand), D. Collin (espagnol),
R. Anselmi (italien)

Sommaire de Cadran Info n° 40

Rapport sur la méridienne de l'église de Mézières-en-Brenne : historique des recherches qui ont menés à la réhabilitation des cadrans de l'église.	⊇	Michel Brialix	13
Cadran solaire à réflexion : modélisation de la tache lumineuse : comment simuler la taille et la forme de la tache lumineuse réfléchie sur la table inclinée déclinante par le miroir d'un cadran à réflexion (étude inédite).		Dominique Collin	20
Le cadran solaire, un instrument de mesure du temps : présentation générale pédagogique des cadrans solaires et leur évolution.		Christian Druon	36
Les genoux ensoleillés ou le Soleil sur le chapiteau de Daniel : étude de l'éclairage d'une statue de l'église de Rozier-Côtes d'Aurec, présenté dans un livre concernant l'art roman en Forez-Velay.		Paul Gagnaire	51
Les cadrans solaires de l'église de Molines-en-Queyras (05) : étude gnomonique des 3 cadrans et recherche sur l'identité du cadranier.		Paul Gagnaire & Éric Mercier	59
Formules pour le calcul de l'équation du temps : méthodes de calculs et comparaisons.		Guy Grastica	69
Calcul de la durée du jour vrai : calcul par la méthode de la dérivée de l'équation du temps.		Guy Grastica	83
Espace débutant (2) : — Construction graphique de cadrans solaires (François Estivalet) — Présentation de maquettes pédagogiques du CLEA (Pierre Causeret)		Philippe Sauvageot	91
Les cadrans solaires de Julien Le Roy du musée des Arts et Métiers : description de deux cadrans imaginés par J. Le Roy et réalisés par Jacques Le Maire vers 1740.		Denis Savoie	106
Philippe de La Hire : un astronome novateur dans la gnomonique et les astrolabes : travaux de La Hire concernant : les cadrans solaires (avec démonstration pour la première fois de la théorie présentée par l'astronome) et les astrolabes dont un spécimen universel.		Denis Savoie	115
Cadrans solaires de l'expédition d'Égypte : véritable enquête : redécouverte de trois cadrans solaires réalisés au Caire pendant la Campagne d'Égypte dont l'un, très complexe, avec heures décimales.		Denis Schneider	126

Suite page suivante . . .

... Suite de la page précédente

Quelques cadrans bourguignons, essai de datation : essai de datation de cadrans à partir de leur configuration, écritures, chiffres...	Jean Scordia	137
---	--------------	-----

Informations diverses :

- Dernières réalisations ou découvertes de cadrans.
 - Restauration du cadran du tribunal de grande instance de Laon.
 - Cadrans de la Manche : études et descriptions des cadrans de ce département.
 - Cadran portatif de type : "plan, vertical de hauteur" d'Hevelius.
 - Cadran cubique.
 - Cadrans originaux de Claude Gahon (Vague, Ressac, Canicule et Cygne).
- Courriers/courriels gnomoniques.
 - Indicateur de Qibla : instrument dans son contexte et informations de l'objet présenté.
 - Du plan au cadran : Maurice Kieffer
 - Machine pour observer les astres au méridien.
 - Que penser de ce cadran ?
 - De Jean Fort.
- Études
 - La méridienne du château *Le Pré d'Auge*.
- Gnomonique du monde.



Contributeurs : G. Baillet, J. Bonnin, D. Beneult, J.-C. Berçu, J. Fort, Cl. Gahon, M. Kieffer, É. Mercier, Ph. Sauvageot. **145**

En version numérique :

- dans le « sommaire.pdf », hyperliens à partir des titres vers les fichiers en .pdf ;
- le symbole \supseteq indique que l'article est complété par une étude détaillée ou un logiciel ou d'autres documents dans le dossier « annexes ».



Contents of Cadran Info n° 40



The meridian on Mézières-en-Brenne church : Historical research to realize church sundials rehabilitation.	\supseteq Michel Brialix	13
Reflective sundial. Light spot modeling : How to simulate the size and the shape of a reflected light spot on a declining incline table for a reflective mirror sundial (unpublished study).	Dominique Collin	20
The sundial, a tool for time measurement : Educational general presentation of sundials and their evolution during the passing years.	Christian Druon	36
Lighted knees or sun on Daniel's capital : Study of a statue enlightening at Rozier-Côtes d'Aurec church, featured in a book regarding Forez-Velayroman art.	Paul Gagnaire	51

Continued on next page ...

... Continued from previous page

Sundials of Molines-en Queyras church (05) : Gnomonics study of the three sundials and research concerning their maker.	Paul Gagnaire & Éric Mercier	59
Formulae for time equation calculation : Comparison of different calculation methods.	Guy Grasic	69
Real day duration calculation : Calculation using time equation mathematical derivate.	Guy Grasic	83
Space for beginners (2) : — Sundials graphical making (François Estivalet) — CLEA Educational make up (Pierre Causeret)	Philippe Sauvageot	91
Julien Leroy's sundials (musée des Arts et Métiers Paris) : Two J. Le Roy's conceived sundials realized by Jacques le Maire around 1740 description.	Denis Savoie	106
Philippe de La Hire : innovative astronomer in gnomonics and astrolabes fields : La Hire works concerning sundials (with author's theory demonstration, for the first time) and astrolabes with an universal specimen.	Denis Savoie	115
Egyptian expedition sundials : Real investigation. rediscovery of three sundials built in Cairo during Egyptian military campaign. One, very complicated, displays decimal hours.	Denis Schneider	126
Some sundials of Burgundy dating trials : Sundials dating trial according to their configuration, writings, digits. . .	Jean Scordia	137
Miscellaneous information : <ul style="list-style-type: none"> • Last sundials making or discovery. <ul style="list-style-type: none"> — Laon Court sundial restoration — Gérard Baillet's sundial — Maurice Kieffer's sundial — Sundials of Manche department. Studies and descriptions — Hevelius's portable sundials — Cubic sundial — Analematic model — Claude Gahon's creative sundials • Gnomonic mails. <ul style="list-style-type: none"> — Qibla indicator — From project to sundial Maurice Kieffer — Device for meridian stars observing — What about this sundial? — From Jean Fort. • Studies <ul style="list-style-type: none"> — Le Pré d'Auge castel meridian. • World gnomonic. 		Contributeurs : G. Baillet, J. Bonnin, D. Beneult, J.-C. Berçu, J. Fort, Cl. Gahon, M. Kieffer, É. Mercier, Ph. Sauvageot. 145

[In numerical version :](#)

- In the « sommaire.pdf », hyperlinks starting from the titles towards the files in .pdf;
- \supseteq symbol means a complementary study to be found in annexes.



Verzeichnis von Cadran Info n° 40



Bericht über der Meridiane der Kirche von Mézières-en-Brenne : Geschichte der Forschungen, die zur Sanierung der Kirchenzifferblätter führte.	\supseteq	Michel Brialix	13
Reflektion Sonnenuhr : Modellierung des Lichtflecks : Wie die Größe und Form des Lichtflecks simulieren, der auf den geneigten & abweichenden schrägen Tisch durch den Spiegel einer Reflektion Sonnenuhr reflektiert wird (unveröffentlichte Forschung).		Dominique Collin	20
Die Sonnenuhr, ein Messinstrument zur Zeitmessung : Pädagogischer Überblick über Sonnenuhren und deren Entwicklungen.		Christian Druon	36
Sonnige Knie oder die Sonne auf Daniels Kapitell : Studie zur Beleuchtung einer Statue der Kirche von Rozier-Cêtes d'Aurec, präsentiert in einem Buch über romanische Kunst in Forez-Velay.		Paul Gagnaire	51
Die Sonnenuhren auf der Kirche von Molines-en-Queyras (05) : Gnomonische Studie der 3 Zifferblätter und Forschung über die Identität des Gnomonist.		Paul Gagnaire & Éric Mercier	59
Formeln un die Zeitgleichung zu berechnen : Berechnungs- und Vergleichsmethoden.		Guy Grasicca	69
Berechnung der Dauer des wahren Tages : Berechnung nach der Methode der Ableitung der Zeitgleichung.		Guy Grasicca	83
Anfängerraum (2) : — Grafische Konstruktion von Sonnenuhren (François Estivalet) — Präsentation vom pädagogischen Modelle von CLEA (Pierre Causeret)		Philippe Sauvageot	91
Die Sonnenuhren von Julien Le Roy im Museum von Arts et Métiers : Beschreibung von zwei Sonnenuhren von J. Le Roy entwickelt und von Jacques Le Maire gegen 1740 gebaut.		Denis Savoie	106
Philippe de La Hire : ein innovativer Astronom in der Gnomonik und Astrolabien : Forschungen von La Hire über : Sonnenuhren (mit erster Demonstration der von dem Astronom vorgestellten Theorie) und Astrolabien einschließlich eines universellen.		Denis Savoie	115
Sonnenuhren der Schifffahrt in Ägypten : Echte Untersuchung : Wiederentdeckung von drei Sonnenuhren, die während des ägyptischen Feldzugs in Kairo hergestellt wurden, von denen einer, sehr komplex, mit Dezimalstunden.		Denis Schneider	126
Einige Burgund Zifferblätter, Datierungstest : Test von Datierungsbestimmung ab der Konfiguration, Schrift, Zahlen...		Jean Scordia	137

Fortsetzung auf der nächsten Seite . . .

Verschiedene :

- Neueste Kreationen oder Entdeckungen von Zifferblättern :
 - Wiederherstellung des Zifferblatts des Obersten Gerichts in Laon
 - Sonnenuhr von Gérard Baillet
 - Sonnenuhr von Maurice Kieffer
 - Sonnenuhren von Manche : Studien und Beschreibungen dieses Département
 - Tragbare Sonnenuhr des Typs : "Flach, vertikal, Höhe" von Hevelius.
 - Kubus Sonnenuhr
 - Analematische Makette
 - Originale Sonnenuhren von Claude Gahon (Welle, Rückspülung, Hitzewelle et Schwann)
- Gnomonische Elbriefe :
 - Qibla Zeiger : Instrument im Kontext und Informationen des präsentierten Objekts
 - Vom Plan bis Sonnenuhr : Maurice Kieffer
 - Maschine, um die Sterne am Meridian zu beobachten
 - Was vom diesem Zifferblatt denken ?
 - Von Jean Fort.
- Studie :
 - Die Meridiane des Schlosses "Le Pré d'Auge"
- Welt Gnomonik.

**Mitwirkenden : G.
Baillet, J. Bonnin,
D. Beneult, J.-C.
Berçu, J. Fort, Cl. 145
Gahon, M. Kieffer,
É. Mercier, Ph.
Sauvageot.**

In digitaler Version :

- Im « sommaire.pdf », Hyperlinke ab den Titeln zur .pdf Dateien ;
- das Symbole \triangleright zeigt an, dass dieser Artikel ergänzt wird durch eine detaillierte Studie oder Software oder andere Dokumente im Ordner "annexes".

**Sumario de Cadran Info n° 40**

Informe sobre el meridiano de la iglesia de Mézières-en-Brenne : historia de la investigación que condujo a la rehabilitación de los relojes de sol de la iglesia.	⊇	Michel Brialix	13
Reloj de sol reflectante : modelando el punto de luz : cómo simular el tamaño y la forma del punto brillante se refleja en la mesa inclinada en declive junto al espejo de un reloj de sol reflectante (Estudio sin precedentes).		Dominique Collin	20
El reloj de sol, un instrumento de medición de tiempo : presentación pedagógica general de los relojes de sol y su evolución.		Christian Druon	36
Rodillas soleadas o el sol en marquesina de Daniel : estudio de la iluminación de un estado de la iglesia de Rozier-Côtes d'Aurec, presentado en un libro sobre el arte románico en Forez-Velay.		Paul Gagnaire	51
Los relojes de sol de la iglesia de Molines-en-Queyras (05) : estudio gnomónico de los 3 relojes de sol e investigación sobre la identidad del fabricante del dial.		Paul Gagnaire & Éric Mercier	59
Fórmulas para calcular la ecuación del tiempo : métodos de cálculo y comparaciones.		Guy Grasic	69
Cálculo de la duración del día verdadero : cálculo por el método de la derivada de la ecuación del tiempo.		Guy Grasic	83
Área de principiante (2) : — Construcción gráfica de relojes de sol (François Estivalet) — Presentación de modelos pedagógicos de CLEA (Pierre Causeuret)		Philippe Sauvageot	91
Los relojes de sol de Julien Le Roy del Museo de Artes y Oficios : descripción de dos relojes de sol imaginados por J. Le Roy y hechos por Jacques Le Maire alrededor de 1740.		Denis Savoie	106
Philippe de La Hire : un astrónomo innovador en gnomónica y astrolabios : el trabajo de La Hire e primera vez de la teoría presentada por el astrónomo) y astrolabios que incluyen un espécimen universal.n : relojes de sol (con demostración por		Denis Savoie	115
Los relojes de sol de la expedición egipcia : Investigación real : redescubrimiento de tres relojes de sol hechos en El Cairo durante la Campaña egipcia, uno de los cuales, muy complejo, con horas decimales.		Denis Schneider	126
Algunos diales de Borgoña, pruebas de citas : pruebas de datación de relojes de sol desde su configuración, escritos, figuras . . .		Jean Scordia	137

Continúa en la página siguiente . . .

... Continuación de la página anterior

Varias informaciones :

- Últimos logros o descubrimientos de diales :
 - Restauración del reloj de sol del tribunal de distrito de Laon
 - Reloj de sol de Gérard Baillet
 - Sundial Maurice Kieffer
 - Reloj de sol Reloj de sol del Canal : estudios y descripciones de la esfera de este departamento
 - Tipo de reloj de sol portátil : "plano, altura vertical" de Hevelius
 - Reloj de sol cúbico
 - Modelo de analemmática
 - Relojes de sol originales de Claude Gahon (Ola, surf, ola de calor y cisne) ▷
- Mensajeros gnomónicos :
 - Indicador Qibla : instrumento en contexto e información del objeto presentado.
 - Del plan al dial : Maurice Kieffer
 - Máquina para observar las estrellas en el meridiano
 - ¿Qué pensar de este dial?
 - De Jean Fort
- Estudios :
 - El meridiano del castillo "Le Pre d'Auge".
- Gnomónico del mundo.

Colaboradores : G. Baillet, J. Bonnin, D. Beneult, J.-C. Berçu, J. Fort, Cl. Gahon, M. Kieffer, É. Mercier, Ph. Sauvageot. **145**

En versión numérica :

- en el « sommaire.pdf », hipervínculos a partir de los títulos hacia los archivos en .pdf;
- el símbolo ▷ indica que el artículo es completado por un estudio detallado o un programa informático o de otros documentos en el archivo « anexa ».

**Sommario di Cadran Info n° 40**

Rapporto sulla meridiana della chiesa di Mézières-en-Brenne : Storico della ricerca che ha portato alla riabilitazione dei quadranti della chiesa.	▷	Michel Brialix	13
Orologio solare a riflessione : modellazione del punto luminoso : Come simulare le dimensioni e la forma del punto luminoso riflesso su piano inclinato declinante con lo specchio di un quadrante a riflessione. (Studio inedito).		Dominique Collin	20
L'orologio solare, uno strumento per misurare il tempo : Presentazione pedagogica generale degli orologi solari e loro evoluzione.		Christian Druon	36

Continua alla pagina successiva ...

... Continua dalla pagina precedente

le ginocchia piene di sole o il sole sul capitello di Daniel : Studio dell'illuminazione di uno stato della chiesa di Rozier-Côtes d'Aurec, presentato in un libro sull'arte romanica in Forez-Velay.	Paul Gagnaire	51
Gli orologi solari della chiesa di Molines-en-Queyras (05) : Studio gnomonico di 3 quadranti e ricerca sull'identità dello gnomonista.	Paul Gagnaire & Éric Mercier	59
Formule per il calcolo dell'equazione del tempo : Metodi di calcolo e confronti.	Guy Grasca	69
calcolo della durata del giorno vero : Calcolo con il metodo derivato dall'equazione del tempo.	Guy Grasca	83
Spazio per i principianti (2) : — Costruzione grafica di orologi solari (François Estivalet) — Presentazione di modelli pedagogici del CLEA (Pierre Causeret)	Philippe Sauvageot	91
gli orologi solari di Julien Le Roy del Museo delle Arti e dei Mestieri : Descrizione di due quadranti immaginati da J. Le Roy e realizzati da Jacques Le Maire intorno al 1740.	Denis Savoie	106
Philippe de La Hire : un astronomo innovativo in gnomonica e astrolabi : Lavori di La Hire sugli orologi solari (con dimostrazione per la prima volta della teoria presentata dall'astronomo) ed astrolabi tra cui un esemplare universale.	Denis Savoie	115
Orologi solari della spedizione d'Egitto : Indagine vera e propria : riscoperta di tre quadranti fatti al Cairo durante la campagna d'Egitto, uno dei quali, molto complesso, ad ore decimali.	Denis Schneider	126
alcuni quadranti borgognoni, prova di datazione : Prova di datazione dei quadranti a partire dalla loro configurazione, scritte, cifre...	Jean Scordia	137

Continua alla pagina successiva ...

Informazioni varie :

- Ultimi risultati o scoperte di quadranti :
 - Restauro del quadrante del Tribunale della corte d'appello di Laon
 - Quadrante di Gérard Baillet
 - Quadrante di Maurice Kieffer
 - Quadranti della Manica : studi e descrizioni del quadrante di questo dipartimento
 - Tipo di quadrante portatile : "piano, verticale d'altezza" di Hevelius
 - Quadrante cubico
 - Modello di orologio solare analemmatico
 - Quadranti originali Claude Gahon (Onda, Risacca, Canicola e Cigno).
- Posta gnomonica :
 - Indicatore Qibla : strumento nel contesto e informazioni sull'oggetto presentato.
 - Dal piano al quadrante : Maurice Kieffer
 - Macchina per osservare le stelle sul meridiano
 - Cosa pensare di questo quadrante?
 - di Jean Fort.
- Studi :
 - Il meridiano del castello "Le Pre d'Auge".
- Gnomonica del mondo.

Collaboratori : G. Baillet, J. Bonnin, D. Beneult, J.-C. Berçu, J. Fort, Cl. Gahon, M. Kieffer, É. Mercier, Ph. Sauvageot.



145

Nella versione digitale :

- Nel "summary.pdf", collegamenti ipertestuali dai titoli ai file .pdf;
- Il simbolo \triangleright indica che l'articolo è completato da uno studio dettagliato o da un software o altri documenti nella cartella "allegati".



Rapport sur la méridienne de l'église de Mézières-en-Brenne

par Michel Brialix

Sur la base de son exposé à la réunion de la CCS du 10 novembre 2018, Michel Brialix rapporte ici l'historique des recherches qui ont menés à la réhabilitation des cadrans de l'église de Mézière-en-Brenne (Indre).

Nous avons entamé les recherches sur les bases d'une notice *les astronomes parisiens au XIV^e siècle et l'Astronomie Alphonsine* écrite par M. Emmanuel Poulle et remise au Maire de Mézières. Après avoir lu et relu cette notice, j'ai proposé à la commission une hypothèse sur la construction de cette méridienne par le chanoine Jean de Murs (appelé par Alix de Brabant en cette église de 1342 à 1344), Denis Savoie qui l'a reçue nous en a démontré rapidement l'incohérence chronologique. Les connaissances géodésiques au moyen âge étaient très insuffisantes on ne savait utiliser que les astrolabes pour évaluer la latitude et c'était tout. En fait Jean de Murs utilisait principalement les tables Alphonsines pour aider le pape Clément VI à mieux fixer la date de Pâques car avec la dérive non corrigée du calendrier Julien, ça devenait très gênant. À Mézières, il a surtout écrit son ouvrage *quadripartitum numerorum*.

De ce fait, Mme Chantal Kroliczak (passionnée d'histoire de la commune) et moi avons orienté nos recherches dans les archives locales sur une époque postérieure pour savoir à quoi pouvait bien servir ce support tordu fixé sur le pilier Sud de l'église de Mézières-en-Brenne (cf. photo 1).

Dans les archives de l'Indre, nous avons découvert une photographie faite en 1877 par J. Thibault (photo 2(a)) montrant un objet fort différent maintenu par 3 tiges de fer très droites supportant un disque cranté percé d'un trou, puis sur un dessin fait par Eugène Hubert en 1920 (photo 2(b) page suivante) on remarque le même support à 3 branches avec le disque étoilé. Sur ce dessin un petit crochet a été ajouté (?), avec dessous écrit : Cadran

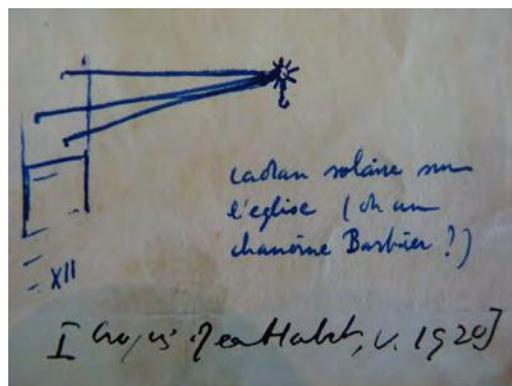


FIGURE 1 – Support fixé sur le pilier Sud de l'église de Mézière-en-Brenne.

solaire sur l'église dû au chanoine Barbier ? Sur la plage ou normalement se forme l'ombre du support 4 traits horizontaux avec en bas marqué le chiffre romain XII.



(a) Photographie de J. Thibault (1877)



(b) Dessin par E. Hubert (1920)

FIGURE 2 – Archives de l'Indre.

Nous sommes alors sur la piste d'une méridienne verticale de temps vrai local au soleil. Ce type de méridienne fut utilisée au XVIII^e siècle pour remettre à l'heure les montres et les horloges encore peu précises en cette époque.

Première question : entre la photo de 1877 et celle d'aujourd'hui, on a l'impression que ce support a été détruit à l'aide de gros moyens, puisqu'il ne lui reste que 2 tiges et l'anneau sans son ceillon ?

Deuxième question : pourquoi a-t-il été remplacé sur le même pilier, en l'état constaté, et dans une position différente ?

Jusqu'ici, nous n'avons trouvé aucune trace précise de travaux sur cette méridienne, aussi bien dans les archives de l'Indre que dans celles du Diocèse de Bourges (18000) (malheureusement détruites en grande partie suite à un incendie dans la nuit du 24 au 25 Juillet 1871).

Les seules traces de travaux connus sur l'église, suite à son classement dans la liste des monuments de France le 18 février 1848, nous les avons trouvées dans le livre de Jacqueline Tardivon *la Brenne entre ciel et eau*.

Des travaux ont été effectués en 1880 sur la toiture et les clochers suite à l'orage dévastateur de 1829, puis en 1921 et 1924 (reprises de maçonnerie). Dans ce livre, nous avons relevé des informations sur le Chanoine Pierre Barbier, il officiait en la collégiale entre 1742 et 1780, il

était surtout connu comme un habile graveur de cadrans solaires, malheureusement aucune anecdote sur la méridienne (Photo 3).

Cette méridienne avait-elle servi pour mettre à l'heure une horloge peu précise logée dans l'église, avant celle toute neuve offerte en 1875 par Jules Lebaudy ?

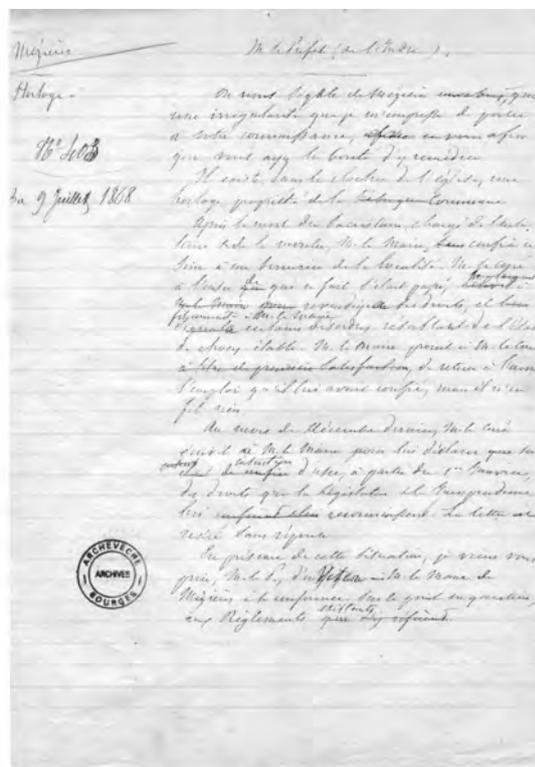
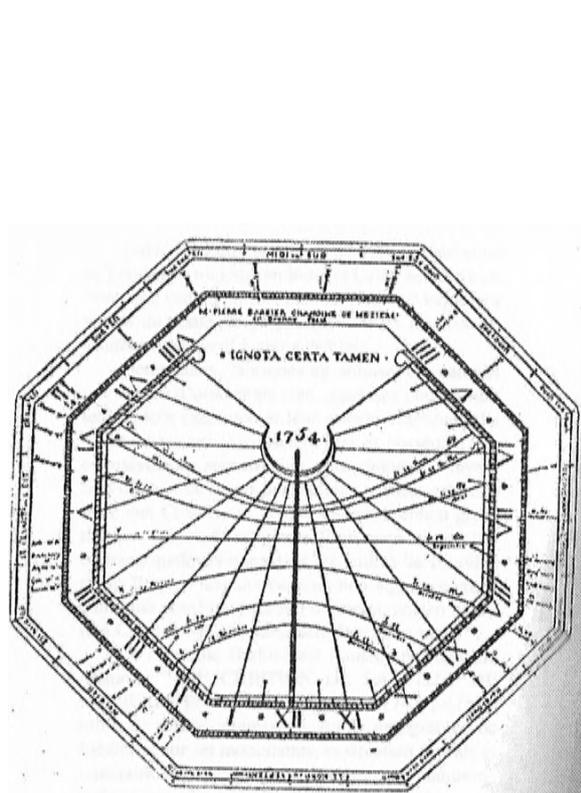


FIGURE 3 – Extrait du livre de J. Tardivon : *La Brenne entre ciel et eau* — Cadran des Arvins, p. 76. **FIGURE 4** – Lettre écrite au préfet par le curé de Brenne entre ciel et eau — Cadran des Arvins, p. l'église de Mézières (9 juillet 1868).

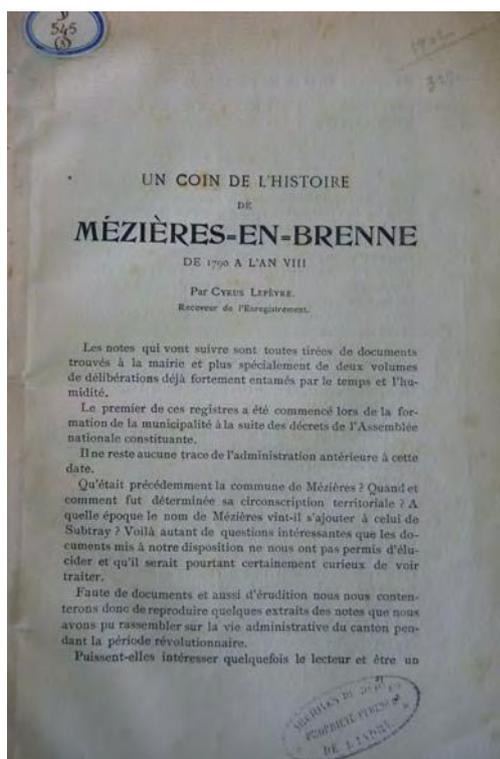
Nous sommes retournés rendre visite à l'archiviste du diocèse de Bourges, car il nous avait retrouvé une lettre écrite par le curé de l'église de Mézières au préfet, datée du 9 juillet 1868, stipulant qu'après le décès du sacristain (qui s'occupait de la bonne marche de l'horloge de la commune), cette horloge fut confiée à un serrurier et ça ne lui convenait pas du tout (photo 4). Dernier point, dans les archives de l'Indre nous avons retrouvé une note du conseil municipal du 2 juin 1793 prévoyant la somme 100 livres pour réparer le presbytère et l'horloge (photos 5 page suivante).

Cette fois, nous savons qu'une horloge était déjà installée dans l'église de 1793 à 1875, qu'elle était sans doute moins précise que la suivante et qu'elle nécessitait l'installation d'une méridienne pour que le sacristain puisse la régler à l'heure locale au soleil vrai (seule heure en vigueur à l'époque, le huit de l'équation était inutile). Est-ce suffisant pour affirmer que cette méridienne a bien été créée pour régler cette horloge ? Oui nous le pensons.

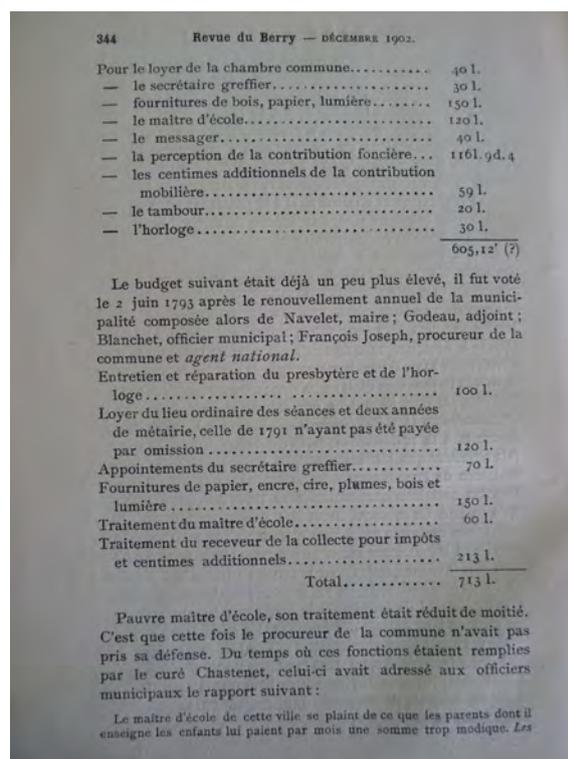
Est-ce que son constructeur est le Chanoine Barbier ? Malheureusement rien ne le prouve.

Domage que les archives de l'archevêché de Bourges ont été détruites dans cet incendie, car je pense que là nous aurions pu apporter plus de précisions.

À ce stade, nous avons estimé que de nouvelles recherches ne nous apporteraient rien de plus, en novembre 2017 nous avons clos le dossier.



(a)



(b)

FIGURE 5 – Archives de l'Indre.

Après la réunion d'octobre 2017 à Chaville (92), la Commission de Cadres Solaires a émis un avis favorable pour la réhabilitation de cette méridienne.

Un an est passé sans trouver un accord avec l'architecte des monuments de France.

La Mairie m'a demandé de faire une étude (fin 2018) et d'y ajouter le huit de l'équation du temps pour une représentation plus proche des méridiennes du même type.

Les coordonnées géodésiques du lieu utilisées sont :

- Latitude : 46° 49' 0" Nord ;
- Longitude : 1° 13' 0" Est ;
- Orientation du support : +11° Est.

Le logiciel Shadows a été utilisé pour le tracé de la courbe en huit. La société Métal-Brenne a installé le support et l'œilleton suivant un gabarit réalisé par mes soins. Le huit et une plaquette explicative ont été réalisés sur feuille de plexiglas imprimée laser et posée par mes soins avec l'aide des ouvriers de la municipalité un jour de grand soleil (photos 6 page suivante).

En même temps, nous avons aussi ajouté un style au petit cadran, à gauche, de la porte d'entrée latérale. Malheureusement ce cadran est faux, il a été gravé plein sud alors qu'il est déclinant (photo 7 page ci-contre).

Enfin, le Samedi 20 Juillet 2019, pour la fête des 680 ans d'existence de la collégiale sainte Marie Madeleine (dans le cadre des 500 ans de renaissance(s), sous l'égide de la Région Centre-Val de Loire), M. le Maire a inauguré cette méridienne de temps moyen au soleil vrai local avec sa plaque explicative (photo 8 page 18).



(a)

→ FONCTIONNEMENT DE LA MERIDIENNE

Cette méridienne a probablement été installée à la fin du XVIII^e siècle par le chanoine Barbier, grand connaisseur et constructeur de cadrans solaires. Placée au sud légèrement déclinante à l'est, elle ne fonctionne qu'à midi, sous réserve de la présence du soleil. À l'époque, cet instrument du temps permettait de régler, à l'heure locale de Mézières, les premières montres et pendules individuelles, encore peu précises.

Ce cadran solaire de précision possède une ligne droite verticale appelée « méridienne verticale du temps vrai au soleil local », accompagnée d'une courbe en huit dénommée « courbe de l'équation du temps » donnant le temps moyen annuel local, comme les horloges. La forme de la courbe est liée à l'orbite elliptique de la Terre autour du soleil qui entraîne des variations de - 16 minutes début novembre à + 14 minutes en février, par rapport au passage du soleil sur la méridienne.

Depuis le début du XX^e siècle, l'heure constatée n'est plus locale mais nationale. Basée sur l'heure GMT (Greenwich Mean Time) donnée par le méridien de Greenwich (Royaume-Uni), sont ajoutées à ce jour une heure de plus en hiver et deux heures en été.

Si vous voulez lire l'heure locale sur la courbe en huit ci-dessus, il faut vous positionner devant par temps ensoleillé pour voir la tache solaire en face du mois considéré. Vous pourrez alors régler votre montre à 12h55 (horaire d'hiver) ou 13h55 (horaire d'été). Mézières-en-Brenne, de par sa situation géographique présente une longitude légèrement à l'est, donnant 5 minutes d'avance par rapport à l'heure GMT. Le midi local solaire, quant à lui, est déterminé par le passage de la tache solaire sur la verticale tracée au milieu de la courbe.

L'expression « voir midi à sa porte » est vraisemblablement à l'origine de ce constat.

Rédaction :
Michel Billaix, Membre de la commission
des cadrans solaires de la société
astronomique de France - avril 2019

Graphisme :
Elienne Fradin



COMITÉ DE
MEZIERES-EN-BRENNE

← Sur le mur, situé à gauche de la porte :
un cadran solaire.

(b) Plaquette explicative

FIGURE 6 – Méridienne de l'église de Mézière-en-Brenne.

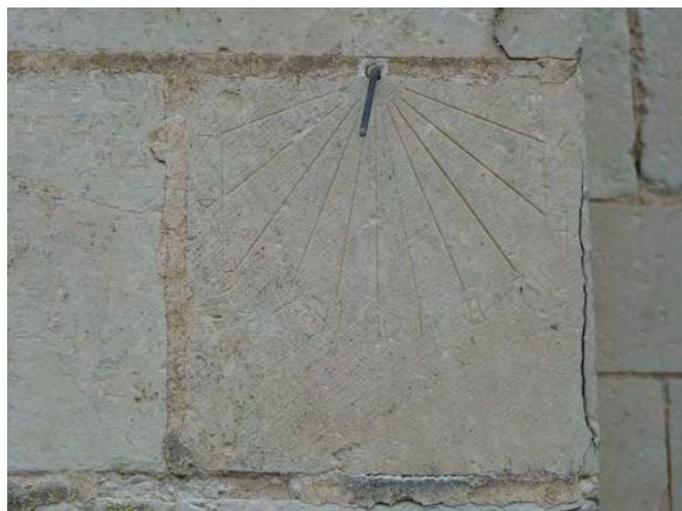


FIGURE 7 – 2^e cadran de l'église.



FIGURE 8 – Inauguration de la méridienne le 20 juillet 2019.

Relevée dans la Nouvelle République

Mézières-en-Brenne. La commune a fêté sa collégiale, ce week-end.
La chapelle des ducs d'Anjou est vieille de 680 ans.

La chapelle des ducs d'Anjou est considérée comme un petit joyau de l'architecture Renaissance. Elle représente, avec ses vitraux d'époque, l'une des richesses de la collégiale Sainte Marie-Madeleine.

Restauration de la Méridienne. Forte de ce patrimoine, la commune de Mézières a décidé de s'associer aux événements commémorant les 500 ans de la Renaissance en Centre-Val de Loire. Une occasion également de célébrer les 680 ans de l'église. Plusieurs manifestations ont été organisées le week-end dernier. Un événement exceptionnel, qui a débuté vendredi soir. L'édifice religieux accueillait, pour la première fois, un récital de piano Hors les murs, proposé par le Nohant Festival Chopin. Un magnifique concert, où trois virtuoses ont interprété des œuvres du célèbre pianiste. Samedi, des visites guidées ont permis au public de découvrir l'histoire de la collégiale, avec notamment l'accès à une salle au premier étage, offrant une vue rare sur la nef et le chœur de l'église.

Après la messe, en présence de Monseigneur Jérôme Beau, archevêque de Bourges, la Méridienne restaurée a été inaugurée, sur la façade sud de l'église. *Installée à la fin du XVIII^e siècle, par le chanoine Barbier, cet instrument permettait de calculer le midi local, à une époque où les montres n'existaient pas,* a expliqué, lors de la cérémonie, Michel

Daubord, adjoint au maire. Sur ce thème, l'exposition *À la bonne heure* était visible dans l'église, durant le week-end. Elle sera présentée à la bibliothèque, du 24 juillet au 3 août.

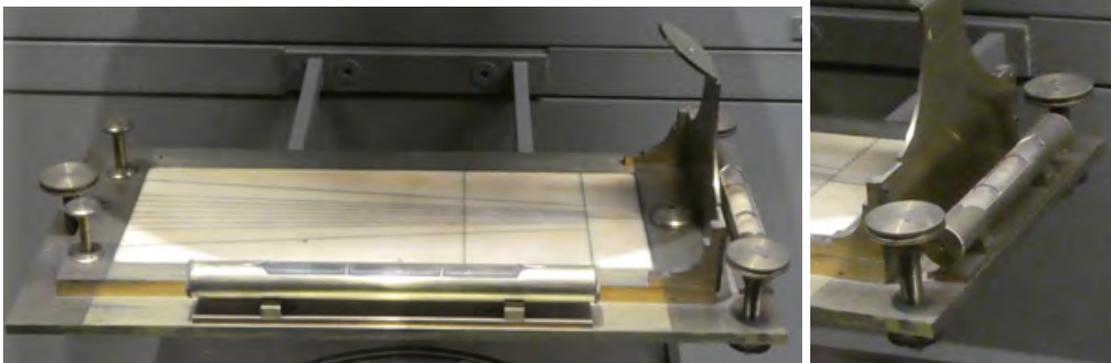
Informations communiquées par M. Lambalieu le 22 juillet 2019.

En annexe de la version numérique :

- Lettre de remerciement du 5 juillet 2019 de Monsieur Jean-Louis Camus maire de Mézières-en-Brenne : *Mairie de Mezieres-en-Brenne.pdf*.



Vu en vitrine au musée des Arts & Métier : une méridienne de précision



Cadran méridien de Robert Robin (1789), inv : 894.

Cadran solaire à réflexion : modélisation de la tache lumineuse

par Dominique Collin

L'article développé ici est une tentative de modélisation de la forme de la tache lumineuse sur le plan d'un cadran solaire incliné et déclinant (PID), image du soleil par un miroir circulaire de première surface, lui-même incliné et déclinant (MID).

Une première approche portant sur un faisceau de rayons lumineux parallèles permet de dessiner facilement le contour apparent de la tache lumineuse sur le plan du cadran. On en détermine les axes principaux lorsque celle-ci a une forme elliptique (ce qu'elle est la plupart du temps). C'est la forme géométrique minimale de la tache lumineuse car elle est issue d'un faisceau cylindrique de rayons lumineux s'appuyant sur la circonférence du miroir. Elle est déclarée d'approche naïve car sans considération sur l'étendue de la source lumineuse qu'est le Soleil

Une deuxième approche, plus sophistiquée, prenant en compte le diamètre apparent du Soleil sera proposée ultérieurement dans Cadran Info.

1 Source de lumière ponctuelle

L'idée principale repose ici sur le concept de flot de rayons lumineux parallèles. Elle a déjà été employée avec succès dans l'étude des cadrans solaires à réflexion à miroir courbe¹, et dont le profil le plus intéressant à donner au miroir était celui d'une courbe de Lamé. Le flot de rayons lumineux parallèles arrivant sur la surface courbe du miroir forme par réflexion une courbe caustique dont le point de rebroussement constitue le point de lecture du cadran solaire. On utilise ici la même condition initiale : *un flot de rayons lumineux supposés parallèles entre eux arrive sur un miroir plan, de première surface, circulaire, incliné et déclinant*². Cela entraîne

1. D. Collin, *Cadran solaire équatorial à réflexion : miroir en forme de courbe de Lamé*, Cadran Info n° 33, mai 2016, p. 54-67.

2. On admettra que notre miroir plan réalise le stigmatisme rigoureux pour tout point de l'espace et dans le domaine des longueurs d'onde visible. Un miroir de qualité professionnelle a été choisi à la fois pour la réalisation d'un cadran à réflexion et pour les différents tests sur la tache lumineuse. On consultera les caractéristiques techniques

l'usage immédiat des deux lois de la réflexion de Snell-Descartes, passant outre pour l'instant le fait que le Soleil n'est pas une source de lumière ponctuelle. Par conséquent il se forme sur le plan du cadran solaire non pas l'image du Soleil, mais celle du miroir tout entier. En effet, chaque élément de surface du miroir réfléchit en direction du plan du cadran un rayon lumineux issu du flot de rayons lumineux incident parallèles. Dans l'image appelée *tache lumineuse* sera contenu l'image du Soleil apparent délimité par l'image géométrique du contour du miroir. La forme circulaire donnée au miroir est une commodité très pratique que l'on s'octroie mais n'importe quelle forme plane conviendrait aussi. Étant entendu que derrière le flot de lumière parallèle réfléchi, il n'y a pas le Soleil comme on l'entend, mais une source ponctuelle, supposée être à l'infini.

Cette hypothèse ne tiendra pas très longtemps face à l'expérience, car si à une distance de l'ordre du mètre se forme nettement l'image de la circonférence du miroir sur le cadran, sur plusieurs mètres le contour du miroir s'estompe pour laisser place à l'image réelle du Soleil³, ce que l'hypothèse du flot de rayons lumineux parallèles ne modélise ni n'explique clairement pas.

Malgré cela, ce qui va nous intéresser en première partie c'est la modélisation dans le plan du cadran incliné déclinant de l'image du contour apparent du miroir circulaire plan inclinée et déclinant sous l'hypothèse d'un flot de rayons lumineux parallèles.

1.1 Points sur la circonférence du miroir

Soit O le centre du miroir incliné (I_m , distance zénithale de la normale au miroir) et déclinant (D_m , déclinaison gnomonique), circulaire de diamètre $d = 2r$. Il est également l'origine du repère topographique $\mathcal{R} = Oxyz$ de telle sorte que Ox soit dirigé vers le sud, Oy vers l'Est et Oz vers le zénith Z du lieu de latitude φ .

Soit M_θ un point courant sur le bord du miroir de pôle N (cf. fig. 1 page suivante). On repérera le point courant depuis une origine arbitraire M_0 . M_0 sera par exemple à l'intersection de l'arc de cercle orienté \widehat{ZN} avec la circonférence du miroir qui est un arc de grand cercle ayant pour normale le vecteur \overrightarrow{ON} (M_0 sera le point le plus bas de la ligne de plus grande pente du miroir). L'angle θ , compté depuis M_0 dans le sens trigonométrique et variant de 0° à 360° , mesure ainsi depuis le bas de la ligne de plus grande pente la position du point courant M_θ .

On se propose de déterminer la hauteur (h_θ) et l'azimut (Az_θ) du point courant M_θ en fonction de θ . Dans le repère \mathcal{R} considéré :

$$M_\theta \begin{cases} x = r \cos Az_\theta \cos h_\theta \\ y = -r \sin Az_\theta \cos h_\theta \\ z = r \sin h_\theta \end{cases} \quad (1)$$

Dans le triangle sphérique rectilatère ZNM_θ , la relation du cosinus donne immédiatement la hauteur de M_θ :

$$\sin h_\theta = -\cos \theta \sin I_m \quad (2)$$

La relation des cotangentes donne l'azimut :

$$\tan |Az_\theta - D_m| = \frac{\tan \theta}{\cos I_m} \quad (3)$$

des deux miroirs utilisés : références Edmund Optics : #83-487 & #83-489 [<https://www.edmundoptics.fr/f/first-surface-mirrors/12017/>, au 01/07/2019]. Bien entendu, il n'est pas forcément nécessaire d'avoir un tel type de miroir pour réaliser un cadran solaire à réflexion, un bon miroir suffit simplement.

3. Existence d'une zone centrale de luminosité constante suivi d'une zone d'éclairement beaucoup moins intense, variable et qui n'est plus délimité par l'image géométrique du contour du miroir.

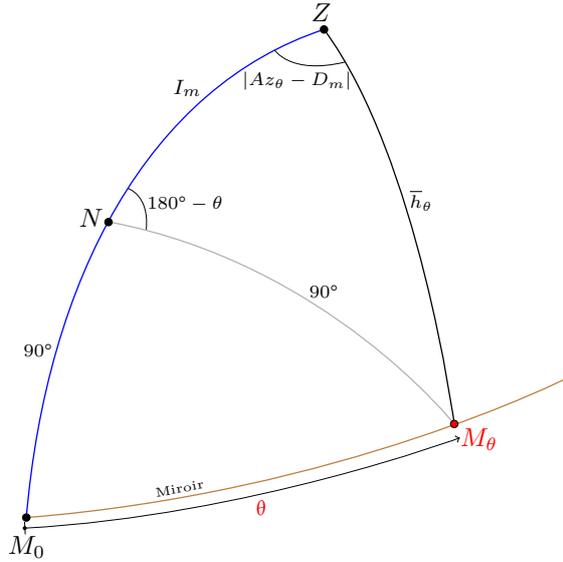


FIGURE 1 – Position d’un point courant M_θ sur la circonférence du miroir.

C’est-à-dire : $Az_\theta = D_m + \arctan\left(\frac{\tan \theta}{\cos I_m}\right)$. On ajoutera $+180^\circ$ lorsque $90^\circ < \theta < 270^\circ$.

Les coordonnées sphériques d’un point courant sur le bord du miroir circulaire sont ainsi parfaitement définies par la donnée de l’angle θ . Pour $\theta = +90^\circ$, M_{90} est l’intersection entre le cercle horizon et la circonférence du miroir. Lorsque $\theta = 180^\circ$, M_{180} est au plus haut de la ligne de plus grande pente du miroir.

1.2 Position du plan incident par rapport à la LPGP du miroir

Le plan de référence du plan d’incidence $\Pi_i = (\text{SNR})$ est le plan normal au miroir (plan ZN) (cf. fig. 2 page suivante). La demi-droite $[OM_0]$ est la trace du plan normal au miroir c’est-à-dire sa ligne de plus grande pente (LPGP). Soient respectivement M_i le point d’intersection, situé du côté du Soleil incident, entre Π_i et le bord du miroir, et M_r le point d’intersection sur le bord du miroir du côté du Soleil réfléchi. Le diamètre $[M_iOM_r]$ est la trace du plan incident sur le miroir. On note $\theta_i = \widehat{M_0M_i}$ et $\theta_r = \widehat{M_0M_r}$ pour le point diamétralement opposé. Par conséquent $|\theta_i| = 180^\circ - |\theta_r|$ est la position angulaire de Π_i par rapport au plan normal au miroir, compté dans le sens trigonométrique.

Pour déterminer θ_i (ou θ_r) on se place dans le triangle sphérique ZNS⁴. Dans ce dernier on connaît les trois côtés : $\widehat{h_i} = \widehat{ZS}$, $i = \widehat{NS}$, $I_m = \widehat{ZN}$, et un angle : $\widehat{NZS} = |Az_i - D_m|$. On recherche les angles : $\widehat{M_0NS} = \theta_i$, et $\widehat{ZNS} = |180^\circ - \theta_i| = |\theta_r|$. On a immédiatement :

$$\cos |\theta_r| = \frac{\sin h_i - \cos i \cos I_m}{\sin i \sin I_m} \quad (4)$$

(ou encore $\sin |\theta_r| = \frac{\cos h_i \sin |Az_i - D_m|}{\sin i}$). On prendra garde au fait que θ_r et θ_i ne sont pas orientés dans le même sens.

4. On pourrait également prendre le triangle de position du soleil réfléchi, à savoir ZNR. . .

1.3 Flot de rayons parallèles réfléchi par le miroir

Soit $M_\theta(x_M; y_M; z_M)$ un point mobile sur le bord du miroir incliné et déclinant dans le repère \mathcal{R} . Considérons un vecteur directeur $\vec{u}(u_1; u_2; u_3)$ équipollent au flot des rayons lumineux issu du soleil virtuel S_v , symétrique du soleil incident S par rapport au plan du miroir. Les coordonnées du vecteur \vec{u} sont connues dès lors que l'on a calculé les coordonnées locales h_r et Az_r du soleil réfléchi R . Par conséquent, les coordonnées $(u_1; u_2; u_3)$ de R sont fonction du couple $(Az_r; h_r)$ et les points S_v et R sur la sphère céleste sont diamétralement opposés et $\vec{u} = \overrightarrow{OR} = -\overrightarrow{OS_v}$, avec $\|\vec{u}\| = 1$.

Considérons maintenant la droite (\mathcal{D}_θ) contenant le point M_θ et de vecteur directeur \vec{u} . Une équation paramétrique de (\mathcal{D}_θ) est alors dans le repère \mathcal{R} :

$$(\mathcal{D}_\theta) : \begin{cases} x(t) = x_M + u_1 t \\ y(t) = y_M + u_2 t \\ z(t) = z_M + u_3 t \end{cases} \quad t \in \mathbb{R} \quad (7)$$

(ce qui n'exprime pas autre chose que la translation dans la direction du vecteur \vec{u} du point M_θ du bord du miroir soumis au flot des rayons lumineux réfléchis).

1.4 Points sur le bord géométrique de l'image "tache lumineuse"

Déterminons dans \mathcal{R} les coordonnées du point C_θ , intersection de la droite (\mathcal{D}_θ) avec le plan du cadran incliné (I, distance zénithale de la normale au cadran) et déclinant (D, déclinaison gnomonique du cadran). Autrement dit le projeté de M_θ sur le plan du cadran dans la direction \vec{u} du flot des rayons lumineux parallèles réfléchis par le miroir.

Soit $\vec{N}_G(-x_G; -y_G; -z_G)$ un vecteur normal en $G(x_G; y_G; z_G)$ au plan incliné et déclinant (PID)⁶. G est le point tangent du PID sur la sphère céleste de rayon R , où R est la distance GO. L'équation du PID dans le repère \mathcal{R} est alors : $x_G x + y_G y + z_G z - R^2 = 0$.

On cherche l'intersection de la droite (\mathcal{D}_θ) avec le PID : il existe un paramètre $t_\theta \in \mathbb{R}$ tel que le système suivant ait une solution :

$$\begin{cases} x_G x + y_G y + z_G z - R^2 = 0 \\ x(t) = x_M + u_1 t \\ y(t) = y_M + u_2 t \\ z(t) = z_M + u_3 t \end{cases} \quad (8)$$

La résolution de ce système donne :

$$t_\theta = \frac{R^2 - x_G x_M - y_G y_M - z_G z_M}{x_G u_1 + y_G u_2 + z_G u_3} \quad (9)$$

Un point C_θ sur le bord de la tache lumineuse a alors pour coordonnées dans \mathcal{R} :

$$C_\theta \begin{cases} x_C = x_M + u_1 t_\theta \\ y_C = y_M + u_2 t_\theta \\ z_C = z_M + u_3 t_\theta \end{cases} \quad (10)$$

6. Le point G a pour coordonnées dans le repère \mathcal{R} : $(-R \cos D \sin I; R \sin D \sin I; -R \cos I)$.

Avec θ variant de 0° à 360° dans le sens trigonométrique, on parcourt l'image géométrique du bord de la tache lumineuse. Celle-ci est une ellipse (dans les cas limites, un cercle) car issue de l'intersection avec le plan incliné déclinant du cylindrique⁷ s'appuyant sur le bord du miroir (fig. 3).

Changement de coordonnées. Comme on a l'habitude de travailler dans le plan du cadran, il est nécessaire d'exprimer les coordonnées du point $C_\theta(x; y; z)$ dans le repère relatif au plan incliné et déclinant $\mathcal{R}_C = GXYZ$ afin d'obtenir $C_\theta(X; Y; Z = 0)$ ⁸. On effectuera le changement

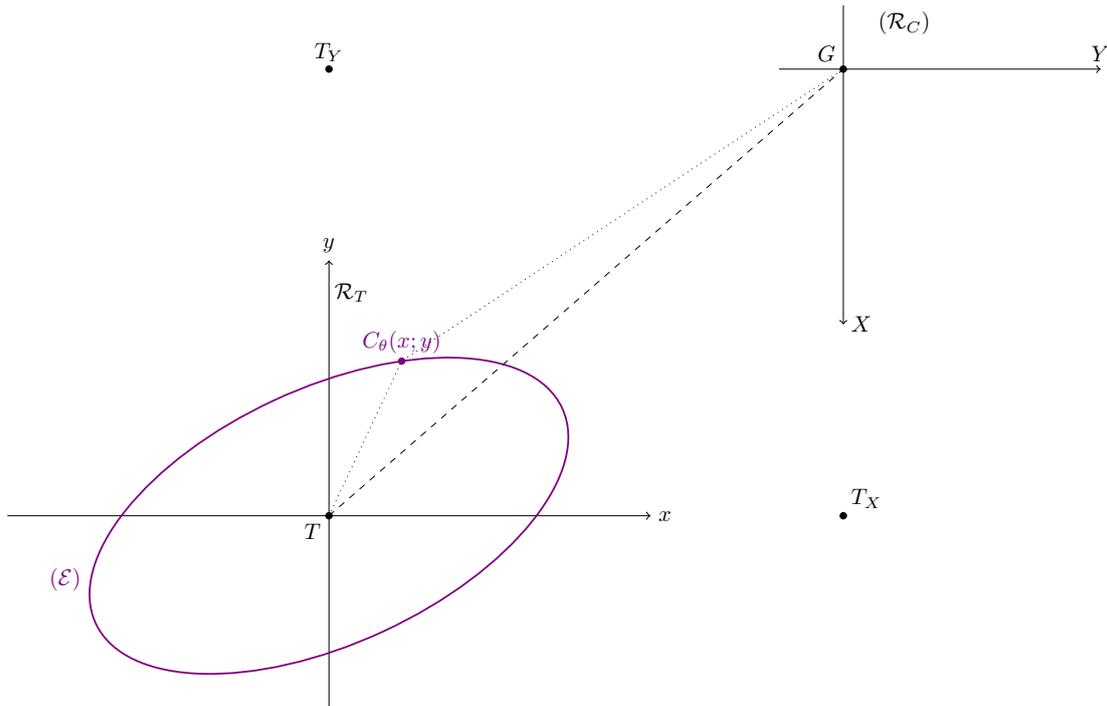


FIGURE 3 – Tache lumineuse dans l’hypothèse d’un flot de rayons lumineux parallèles réfléchis par le miroir. C_θ est le point image, dans le plan du cadran, d’un point M_θ pris sur bord du miroir.

de coordonnée suivant :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\mathcal{R}_C} = Q(-D; I) \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\mathcal{R}} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ R \end{bmatrix}_{\mathcal{R}} \quad (11)$$

avec :

$$Q(-D; I) = \begin{bmatrix} \cos D \cos I & -\sin D \cos I & -\sin I \\ \sin D & \cos D & 0 \\ \cos D \sin I & -\sin D \sin I & \cos I \end{bmatrix}$$

7. L’axe de ce cylindre « lumineux » est la droite (OT)...

8. Avec $GXY =$ plan du cadran. Un observateur placé au centre O du miroir et regardant le cadran verra l’axe GX vers le bas et selon la ligne de plus grande pente de ce cadran, et l’axe GY horizontal, orienté à sa droite. Cf. figure 3; sur celle-ci on a conservé la définition du repère \mathcal{R}_C , mais on a dessiné, de façon conventionnelle et par pur souci de commodité de dessin, des axes $(Tx; Ty)$ qui ne sont pas ceux décrits dans le changement de repère \mathcal{R}_T mais cela n’a pas d’incidence dans la compréhension des opérations effectuées.

De cette manière, le tracé du contour théorique de la « tache lumineuse » s’effectuera depuis le centre G, origine du repère du cadran. Ce n’est pas encore satisfaisant pour effectuer un tracé « aisé » du contour de la tache lumineuse.

2^e changement de coordonnées. Afin de la tracer plus facilement depuis le centre T supposé de celle-ci, on effectuera un nouveau changement de coordonnées à partir de la relation vectorielle : $\overrightarrow{TC_\theta} = \overrightarrow{GC_\theta} - \overrightarrow{GT}$. Les coordonnées de T et C_θ étant connues dans le plan du cadran (\mathcal{R}_C) grâce au changement de repère précédent (11). Le nouveau repère $\mathcal{R}_T = TXYZ$, est obtenu par la translation en T du repère \mathcal{R}_C , conservant la direction et le sens de ses axes (fig. 4) ; TX : vertical vers le bas, TY : horizontal vers la droite, et TZ : perpendiculaire au plan du cadran.

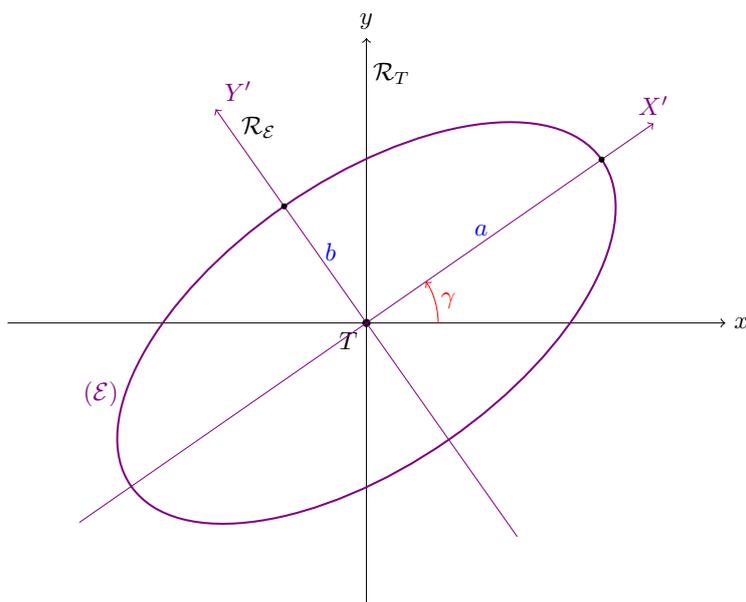


FIGURE 4 – Modélisation de la tache lumineuse qui est en fait ici l’image du contour du miroir dans le plan du cadran par réflexion d’un flot de rayons lumineux parallèles. (Voir note 8 page 25). a , b et γ sont les caractéristiques de l’ellipse (\mathcal{E}).

1.5 Caractéristiques de la tache lumineuse elliptique.

Il s’agit maintenant de déterminer les demi-grand axe a et demi-petit axe b de l’ellipse (\mathcal{E}) ainsi que l’inclinaison γ par rapport à l’horizontale TX du grand axe de l’ellipse laquelle est supposé être la tache lumineuse.

Effectuons un 3^e changement de coordonnées passant du repère \mathcal{R}_T au repère $\mathcal{R}_\mathcal{E}$ dans lequel on retrouve les axes principaux de l’ellipse a et b (fig. 4).

Dans le repère \mathcal{R}_T , l’ellipse a pour équation cartésienne :

$$AX^2 + CY^2 + BXY - 1 = 0 \tag{12}$$

Dans le repère $\mathcal{R}_\mathcal{E}$, l’équation réduite de l’ellipse a pour expression :

$$\frac{X'^2}{a^2} + \frac{Y'^2}{b^2} = 1 \tag{13}$$

Pour trouver les coefficients A, B et C de l’équation (12), il suffit de se donner trois paires de coordonnées $(X_i ; Y_i)_{i=1,\dots,3}$ provenant de trois points quelconques pris sur l’ellipse (\mathcal{E}) comme

le montre la figure 5, et de résoudre le système de trois équations à trois inconnues. Système d'équations qui se met plus commodément sous la forme matricielle suivante :

$$L X = p, \quad \text{avec : } L = \begin{bmatrix} X_1^2 & Y_1^2 & X_1 Y_1 \\ X_2^2 & Y_2^2 & X_2 Y_2 \\ X_3^2 & Y_3^2 & X_3 Y_3 \end{bmatrix}, \quad p = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{et } X = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \quad (14)$$

L'inversion de L est toujours possible et ne pose pas de réel problème de calcul.

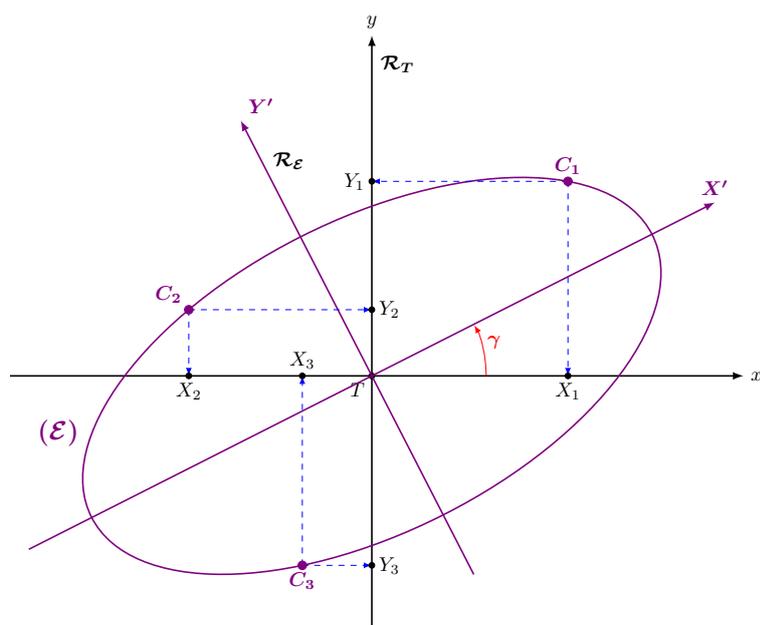


FIGURE 5 – Saisie arbitraire dans \mathcal{R}_T de trois points sur (\mathcal{E}) . Les points C_1 , C_2 et C_3 sont directement issus du calcul donné par le 2^e changement de coordonnées et donc à choisir en fonction de t_θ .

Une fois A, B et C déterminés on peut calculer les paramètres a , b et γ de (\mathcal{E}) . On établit facilement leur expression à partir du changement de repère passant des axes dans le repère \mathcal{R}_T aux axes dans le repère \mathcal{R}_E . En effet, depuis les équations (12) et (13) on obtient :

$$\begin{cases} A = \frac{\cos^2 \gamma}{a^2} + \frac{\sin^2 \gamma}{b^2} \\ B = \sin 2\gamma \left[\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2} \right] \\ C = \frac{\sin^2 \gamma}{a^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{b^2} \end{cases} \quad (15)$$

Ce qui donne après extraction :

$$\begin{cases} \tan 2\gamma = \frac{B}{A - C} \\ a = \frac{2}{A + C - \sqrt{B^2 + (A - C)^2}} \\ b = \frac{2}{A + C + \sqrt{B^2 + (A - C)^2}} \end{cases} \quad (16)$$

On est désormais en mesure d'effectuer le tracé du contour de l'image de n'importe quel miroir circulaire plan par réflexion d'un flot de rayons lumineux parallèles correspondant à n'importe quel angle horaire et sous n'importe quelle déclinaison du Soleil, et sur n'importe quel plan incliné déclinant.

1.6 Discussion

Le lieu des points C_θ est une ellipse de centre T, image du centre du miroir par la réflexion dans la direction \vec{u} du rayon lumineux incident. C'est rigoureusement l'image du bord du miroir, mais de façon abusive, elle est assimilée comme étant l'image du bord de la tache lumineuse dans le plan du cadran.

Ce qui reste certain c'est que l'image du contour du miroir est à l'*intérieur* de l'image « réelle » du Soleil incident par le miroir (voir le paragraphe 2.2 page 31). La stratégie simplificatrice employée ici ne tient pas bien longtemps devant l'expérience comme on peut s'y attendre. En raison de son diamètre apparent, le Soleil n'est pas une source de lumière ponctuelle, ni n'envoie de rayons lumineux parallèles ! La répartition de l'intensité lumineuse constituant la tache lumineuse va déborder au-delà de l'image géométrique du bord du miroir.

Par le modèle développé dans cette première partie, on ne détermine ni l'image réelle du contour du miroir, ni celle de la tache lumineuse, mais seulement une première approximation ! Reste donc à reconnaître si cette première approximation satisfait suffisamment les besoins de la gnomonique.

2 Expériences sur la forme de la tache lumineuse

On propose ci-dessous un compte-rendu de l'expérimentation portant sur la forme de la tache lumineuse par réflexion sur un miroir circulaire plan de première surface. On s'attachera à comparer la tache lumineuse "réelle" obtenue et redessinée en la supposant elliptique, avec la tache lumineuse modélisée sous l'hypothèse d'une source lumineuse ponctuelle émettant un flot de rayons lumineux parallèles.

2.1 Protocole expérimental

Pour réaliser des mesures de la forme de tache lumineuse voici un protocole détaillé.

1. Posséder un plan incliné déclinant et connaître ses caractéristiques gnomoniques. On a choisi un plan vertical déclinant : le mur latéral droit d'un balcon quasi plein Sud d'un appartement à Nice. Le Mur droit de ce balcon est perpendiculaire à la façade de l'immeuble et également à peu d'erreur près à la porte fenêtre du balcon. Celle-ci laisse passer bien à l'intérieur du salon les rayons lumineux en autonome et en hiver, si bien qu'une méridienne horizontale a été tracée. Des mesures donnent l'angle entre cette méridienne horizontale et la façade de la porte fenêtre de la terrasse. On a en moyenne un angle de $+9^\circ 50'$. La déclinaison du mur latéral droit est alors de $-80^\circ 10'$ environ. Les caractéristiques gnomoniques du mur "expérimental" sont donc :
 - déclinaison : $D \pm \Delta D = -(80^\circ 10' \pm 10')$.
 - distance zénithale : $I \pm \Delta I = (90^\circ \pm < 1^\circ)$.
2. Il a été installé un miroir de première surface de diamètre $38.1 \pm 0,1$ mm à environ 1130 mm de distance de ce mur⁹. Un autre miroir d'essais, de diamètre $50.8 \pm 0,1$ mm a également été mis à contribution.

On a disposé sur le mur une feuille de "papier millimétrée", format A4. Elle est placée de telle sorte qu'elle contienne le point G, projeté orthogonal du centre O du miroir sur le mur.

9. La distance du miroir au mur n'intervient pas dans la dimension de l'image modélisée de l'ellipse "tache lumineuse". La distance au mur n'a pas d'importance puisqu'on ne trace pas de cadran !

La centrage à la fois de la feuille (verticalité) et des points O et G et donc la ligne (OG) (perpendicularité au mur) ont été assurés par un niveau laser 360°.

3. On oriente le miroir afin que l'image produite soit centrée sur G. Le centrage de la tache lumineuse sur G n'est pas aisée du tout ni même le centrage du miroir sur la ligne virtuelle OG si l'on ne dispose pas de niveau Laser. Dans la plupart des cas conservés, le centrage de la tache lumineuse sur la mire laser est médiocrement obtenu ; le dispositif "rotule" ne permet pas de rotation fine du miroir (et sur aucun de ses axes de rotation d'ailleurs).
4. Lors de chaque positionnement supposé réussi, on prend une photographie de la tache lumineuse. Les photographies effectuées par l'appareil photo d'un Smartphone contiennent un horodatage précis qu'il suffit de récupérer (données EXIF). Des éphémérides donnent la déclinaison du Soleil au moment de l'observation.

On effectue autant de centrage de tache lumineuse que l'on veut avec prise de photo associée. La position de la tache lumineuse restera la même, centrée en G, mais la déclinaison gnomonique et la distance zénithale du miroir ne feront que varier au fur et à mesure des prises d'essais. . . ce qui constitue de véritables observations astronomiques.

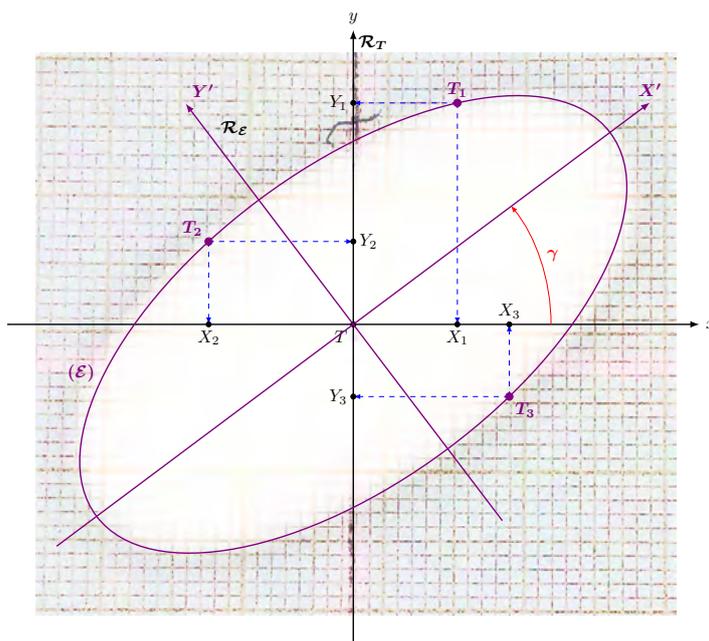
5. L'opération suivante consiste à traiter chaque photo afin de :
 - Extraire l'heure, les minutes, les secondes et par suite calculer l'angle horaire vrai du Soleil à l'instant de la photographie.
 - Déterminer le contour extérieur apparent de l'image de la tache lumineuse à l'aide du logiciel Geogebra¹⁰. On procède de la façon suivante. On importe l'image dans une nouvelle fenêtre de Geogebra. Par défaut deux points A (coin 1) et B (coin 2) sont placés sur les bords inférieurs gauche et droit de l'image importée. Pour le coin 1 faire $A = (0,0)$, puis pour le coin 2 faire $B = (\text{pixel},0)$ où pixel est le nombre de pixels horizontaux de votre image importée¹¹. On utilise ensuite la fonctionnalité : *Conique passant par 5 points*. On place donc avec l'aide de la souris 5 points soigneusement pris sur le bord de la tache lumineuse ; le logiciel trace ensuite l'ellipse correspondante. Avec tous les inconvénients dûs à la frontière lumière/ombre, il est préférable de traiter auparavant l'image afin de tenter de rendre moins difficile la détermination de cette frontière si particulière pour la gnomonique.
 - Lire, à l'aide du quadrillage millimétré en fond de la photographie (*cf. fig. 6 page suivante*), les coordonnées de trois points pris sur la circonférence de la tache lumineuse (bien sûr, cela peut être 3 des 5 points déjà installés et qui ont servi à tracer l'ellipse). On renouvelle en nombre suffisant les prises d'un triplet de points car il s'avère que la détermination de l'ellipse à partir de 3 points n'a pas la stabilité numérique escompté : il faut trouver la bonne combinaison des triplets de points qui passent au plus juste de l'ellipse pour pouvoir la redessiner à l'identique. On rencontre quelques surprises en raison du manque de précision dans le relevé des coordonnées de points qui s'effectuent au mieux au millimètre près.

6. On utilisera ensuite trois algorithmes de calcul.

10. Pour un exemple d'utilisation de Geogebra avec des images du Soleil, voyez : « Le Soleil du cycle 3 au Lycée, les fiches pédagogique du CLEA », *Hors-série nouvelle formule des Cahiers Clairaut n° 14*, sept. 2018, Comité Liaison Enseignant et Astronomes (CLEA), chapitre 1, Observer le Soleil, *Exploiter des images du Soleil avec Geogebra*, p.43-49.

11. L'information sur les pixels de l'image est récupérable via Gimp, ou Photos sous Windows ou encore mieux directement sur le Smartphone qui a pris la photo. . .

FIGURE 6 – Principe de traitement d'une photographie d'une tache lumineuse. L'ellipse est dessinée sous Geogebra. Elle est sensée épouser la forme du contour de la tache lumineuse réelle. Les points T_1 , T_2 et T_3 dont les coordonnées se lisent sur le fond millimétré sont destinés à être utilisés pour (re)dessiner l'ellipse (cf. 3^e algorithme). On voit bien que l'ellipse n'épouse pas parfaitement le bord lumineux de la tache, puis que celle-ci n'est pas exactement centrée sur la ligne Laser qui est encore visible après traitement luminosité-contraste de l'image.



‡ **Le premier algorithme** pour déterminer la déclinaison gnomonique et la distance zénithale de la normale au miroir¹². Traitement "d'inversion" à appliquer pour chaque prise de vue d'une tache lumineuse.

La sensibilité du problème inverse n'a pas encore été traité dans sa généralité. Il semble que cela ne soit pas un obstacle sur les calculs à suivre. On connaît déjà les anomalies qui entachent le calcul de D_m et I_m . Par exemple : défaut de perpendicularité de l'axe OG, défaut de centrage de l'image... Une étude rigoureuse est à faire sur l'impact que peut avoir un mauvais centrage de la tache lumineuse sur la détermination des caractéristiques gnomoniques D_m et I_m du miroir.

‡ **Le deuxième algorithme** pour déterminer les dimensions des axes principaux de l'ellipse modélisant l'image du bord du miroir obtenue dans l'hypothèse d'un flot de rayons lumineux parallèles. On dessinera ce contour théorique à partir de l'équation de l'ellipse.

‡ **Le troisième algorithme** utilise les coordonnées relevées sur fond millimétré, de trois points pris sur le contour apparent de la tache lumineuse afin d'obtenir les dimensions des axes principaux de l'ellipse (voir fig. 6). On reconstitue de cette façon le dessin de la tache lumineuse apparente dont la forme est supposé être proche d'une ellipse, celle que l'on a tracé auparavant sous Geogebra¹³.

7. Un dessin récapitulatif est proposé en superposant les deux dessins obtenus :

- tache lumineuse théorique ;
- tache lumineuse expérimentale (en dessin "approché").

12. Voir D. Collin, *Problème inverse dans un cadran solaire à réflexion*, Revue de la CCS, Cadran Info n° 38, octobre 2018, § 2.3, p. 25 et l'exemple de la table n° 2, p. 27.

13. Nous savons bien que la tache lumineuse n'est pas elliptique, tout comme la tache lumineuse formé par un œilleton. Quand bien même l'image de la tache n'est pas aussi étendue que celle fournie par l'œilleton d'une grande méridienne, la différence s'apprécie bien que diluée dans l'étalement ombre/lumière ou lumière du mur/lumière de la tache. Si l'image du Soleil formée par le miroir obéit à la même règle que celle qui régit l'image par un œilleton, alors on a tout lieu de conjecturer que la forme doit être celle d'une courbe toroïde.

2.2 Exemples photo-numériques

On donne directement sous forme de graphique les résultats obtenus en ayant sélectionné les photos pour lesquelles l'image de la tache est la mieux centrée et finalement la plus difficile à obtenir.

Chaque graphique contient toutes les informations utiles issues de l'application des trois algorithmes de calcul décrits précédemment. La distance du miroir au mur est juste donnée pour information, elle n'intervient pas en réalité. Les hauteur et azimuth sont déterminés par les formules de trigonométrie sphérique à partir de la latitude, de l'angle horaire vrai et de la déclinaison du Soleil. Les hauteurs ne sont pas corrigés de la réfraction. Les déclinaisons du Soleil sont extraites du logiciel eCdt de l'IMCCE¹⁴. L'équation du temps est extraite des *Éphémérides astronomiques 2019* publiées par la SAF.

La déclinaison gnomonique et la distance zénithale du miroir sont déterminées par la méthode d'inversion dont le formulaire est celui décrit dans *Cadran Info* n° 38 (2018), pages 19–32.

Les coordonnées des points pris sur le contour apparent de la tache lumineuse sont lues directement sur le fond millimétré. La précision en abscisses et en ordonnées est de l'ordre de $\pm 0,5$ mm pour les images les plus contrastées et pour lesquelles la localisation apparente du contour est sans ambiguïté (sinon c'est de l'ordre de ± 1 mm).

On a porté en trait plein (rouge) la reconstitution approchée de la tache lumineuse photographiée; elle est légendé "tache observée". En traits pointillés (bleu) la tache théorique, laquelle est ici, en raison du modèle utilisé, l'image du bord du miroir; elle est légendé "tache théorique". On a superposé les centres T des deux coniques (et ce n'est pas toujours exact comme on sait).

Critiques. Le centrage photographique des taches lumineuses est médiocre et la dérive en abscisse est de l'ordre de $\Delta x = \pm 2$ mm, en ordonnée de $\Delta y = \pm 4$ mm. Le passage de la tache lumineuse par l'axe vertical est mieux déterminé que le passage par l'axe horizontal. La simultanéité de la collimation en abscisse et en ordonnée de la tache lumineuse sur le repère "G(0 ; 0)" est très difficile à gérer et est fortement dégradé en raison de la mobilité sur les deux axes difficiles à fixer par le support en "rotule"¹⁵. Clairement, un réglage fin en déplacement est impossible à faire avec le système rotule. Sans compter que l'image est en mouvement permanent et d'autant plus rapidement que le miroir est éloigné du mur. . . De tout évidence, un autre dispositif de suivi et de centrage de la tache est à déterminer. Si on ajoute à cela que le dispositif "rotule" excentre le miroir de la perpendiculaire au mur, bien de peine est à envisager, et l'expérience montre que malgré la somme de toutes les anomalies subies au cours de chaque prise de vue de tache lumineuse, on parvient à déterminer de façon honorable les axes principaux de la tache théorique. La comparaison avec ceux de la tache redessinée en la supposant elliptique est suffisamment satisfaisante au vu des contraintes exercées.

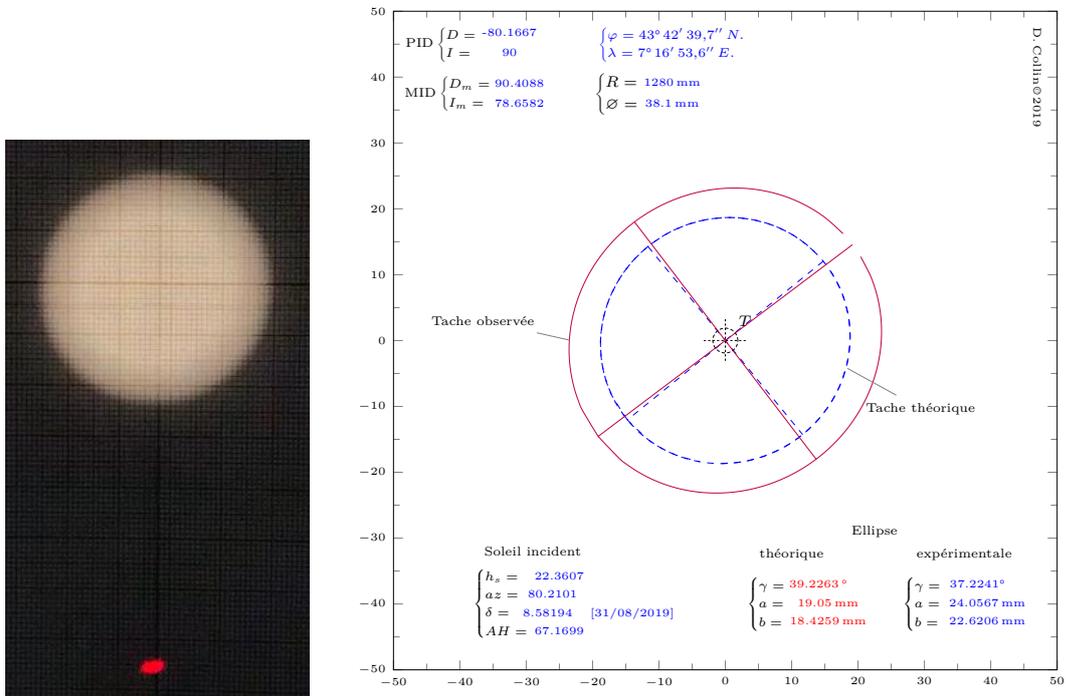
Le lecteur pourrait rejeter l'ensemble des résultats puisque l'étude des erreurs expérimentales n'a pas été conduite. Mais je l'invite malgré tout à examiner les graphiques suivants et à reproduire cette expérience de collimation d'une tache lumineuse avec ce point très particulier du cadran à réflexion qu'est la projection orthogonale du centre du miroir sur le cadran.

14. IMCCE = Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides.

15. Le miroir fixé sur une monture équatoriale pourrait être plus approprié qu'un support "rotule" comme le Fotomate H-26QR employé ici. Dans les faits, ce dispositif n'est pas approprié du tout. Mais on obtient quand même quelques résultats intéressants. Cette étude sera donc à prolonger en utilisant un bien meilleur dispositif de positionnement (et de fixation) du miroir. Un dispositif micrométrique sur chaque axe de rotation du miroir (monture azimutale ou équatoriale) serait certainement parfait pour obtenir un centrage beaucoup moins grossier.

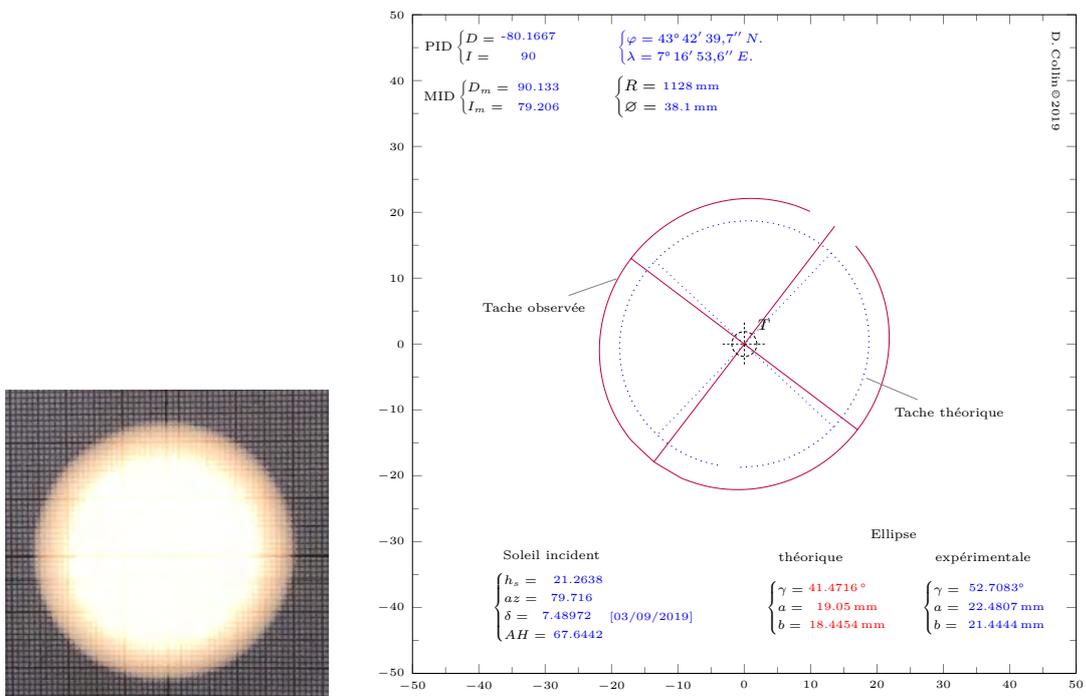
2.2.1 Août 2019

Photographie du 31/08/2019 à 16 h 00 min 06 s UT.

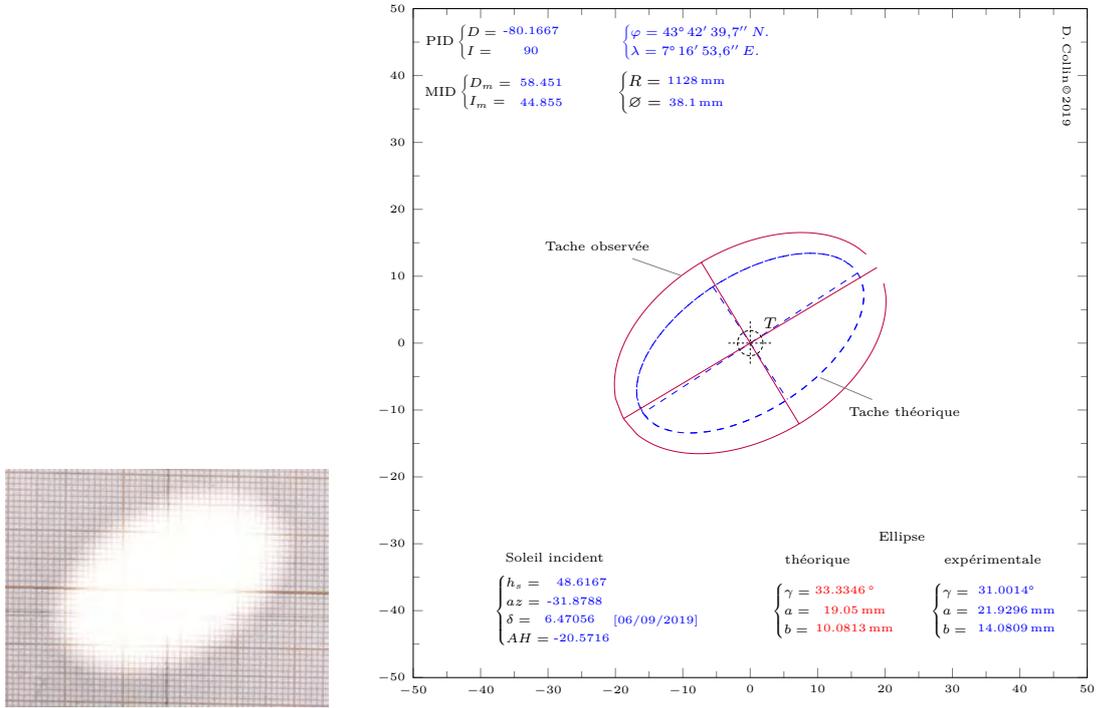


2.2.2 Septembre 2019

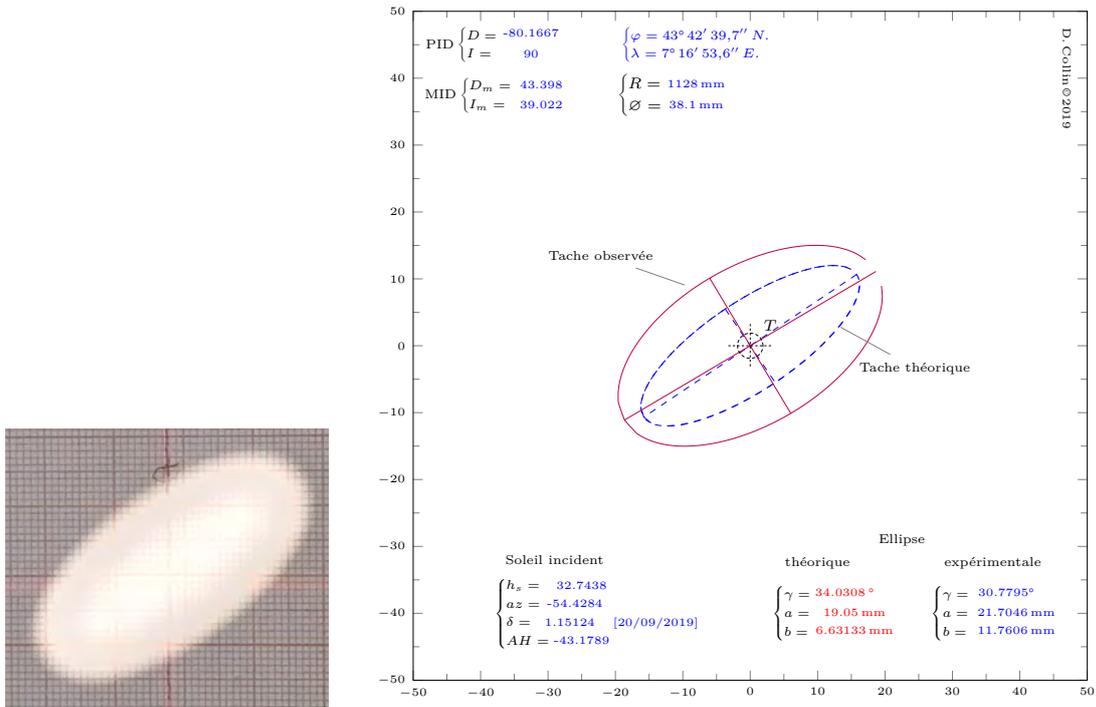
Photographie du 03/09/2019 à 16 h 02 min 00 s UT.



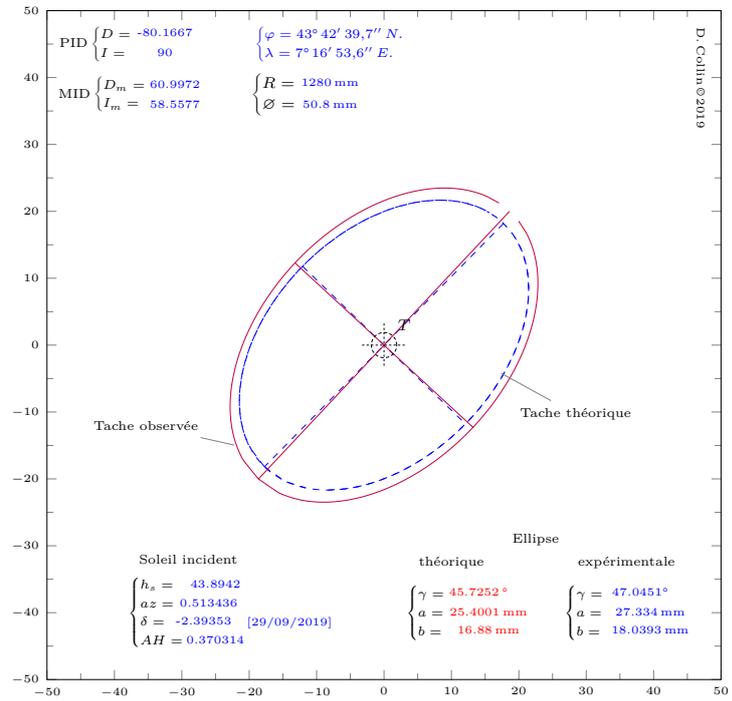
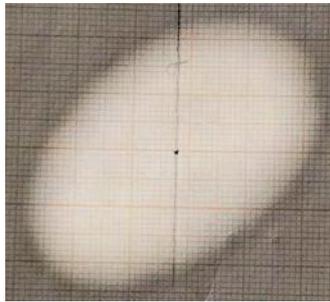
Photographie du 06/09/2019 à 10 h 10 min 08 s UT.



Photographie du 20/09/2019 à 08 h 44 min 38 s UT.

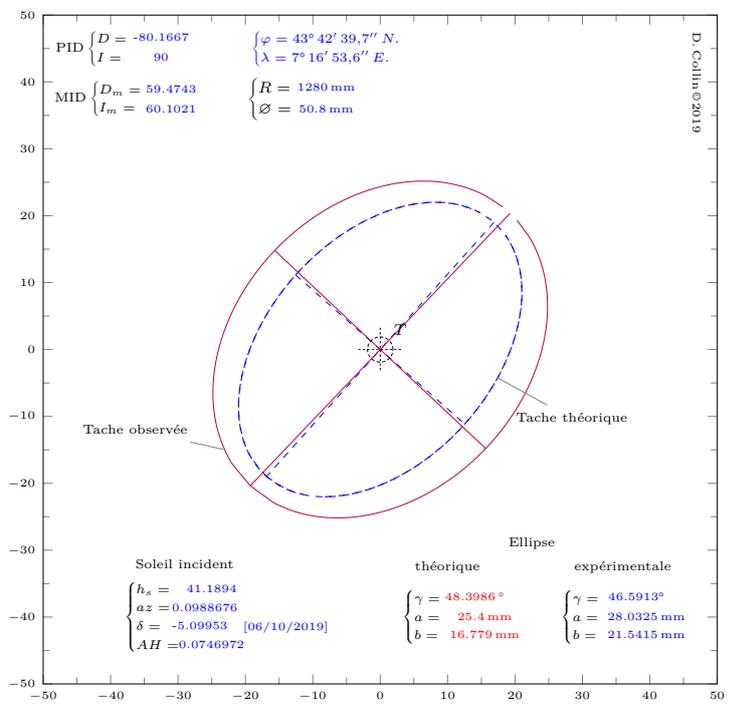
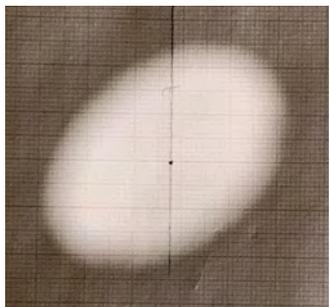


Photographie au voisinage du midi solaire le **29/09/2019** à **11 h 22 min 46 s UT**.



2.2.3 Octobre 2019

Photographie du **06/10/2019** à **11 h 19 min 22 s UT**.



3 Conclusion

On confirme que la modélisation (ou prédiction) de la tache lumineuse ne colle pas du tout à la tache "réelle", bien que celle-ci ait été redessinée sous forme elliptique.

Le modèle est donc insuffisant mais pas totalement à rejeter. Car on parvient à dessiner toute tache lumineuse sur n'importe quel cadran incliné déclinant à partir d'un miroir lui-même incliné déclinant. On n'a pas pour l'instant le contour dimensionnellement correct de la tache lumineuse apparente, mais on modélise très bien l'aspect que va pouvoir prendre la tache en terme de taille (très elliptique, très circulaire ou non). On parvient parfaitement à déterminer l'axe principal¹⁶ de la tache lumineuse (ou ce qui revient au même son "orientation" par rapport à l'horizontale). Ce qui est déjà suffisamment intéressant pour pouvoir par exemple placer des repères sur le cadran en prévision d'un rajustement du miroir s'il a bougé, ou simplement pouvoir le remplacer et l'ajuster.

Une autre approche est nécessaire pour tenir compte du diamètre apparent du Soleil afin probablement de mieux coller à la réalité ou du moins en toute modestie, dessiner une tache modélisée dont la différence est peu sensible à l'expérience toujours profonde et féconde qu'est de former une image du Soleil par réflexion sur un miroir plan.



16. Des résultats précédents il apparaît que la trace du plan incident sur la surface du miroir a pour image, dans le plan du cadran, l'axe principal de l'image du miroir ou tache lumineuse elliptique en première approximation. Le plan incident joue un rôle important.

Le cadran solaire, un instrument de mesure du temps

par Christian Druon

Article général de gnomonique présentant l'évolution des cadrans solaires, des différents types d'heures et de leur compréhension.

1 Une mesure d'angle qui donne un temps

De tout temps le bon déroulement de la vie sociale et religieuse nécessitait de décompter les années, les mois et les jours. Mais il fallait aussi diviser la journée afin d'avoir des repères sur le moment des prières ou sur la durée restante du jour pour effectuer un travail avant le coucher du Soleil par exemple. Durant des siècles les cadrans solaires ont servi de référence pour la mesure du temps. On construit toujours des cadrans solaires en France et dans le monde mais ils n'ont bien sûr plus la même fonction qu'autrefois. Certains sont très bien décorés, d'autres utilisent une technique spécifique et ils sont souvent accompagnés d'une devise qui évoque le plus souvent le temps qui passe. L'art de concevoir, de calculer et de tracer les cadrans solaires est la gnomonique.

1.1 Les premiers cadrans

1.1.1 Le gnomon

Le gnomon est probablement le plus ancien instrument astronomique. Il est constitué d'un bâton planté verticalement dans le sol. La longueur et la direction de l'ombre portée sur le sol donnent des informations astronomiques (*cf.* [fig. 1 page ci-contre](#)). On attribue à Anaximandre (VI^e s. av. J.-C.) l'invention du gnomon mais on sait que ce sont les Babyloniens qui firent connaître aux Grecs cet instrument qui devait être connu aussi en Inde, en Chine. . .

Le mot gnomon vient du grec *γνώμων*, qui veut dire *indicateur*. Dans l'Antiquité il fut utilisé pour mesurer la latitude des lieux par les géographes.

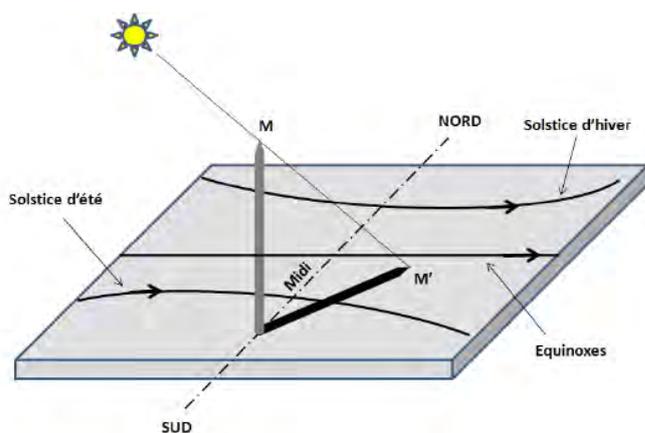


FIGURE 1 – Le gnomon et son ombre portée au sol.

1.1.2 Les scaphés

Les polos babyloniens qui avaient la forme d'une demi-sphère représentaient en creux la voûte céleste. Ils pouvaient comporter une tige ou un trou dont l'ombre ou la tache lumineuse permettait une lecture sur les graduations (fig. 2).



FIGURE 2 – Scaphé à œillette, Carthage, musée du Louvre, I-II^e s. ap. J.-C.

1.1.3 Les obélisques

En l'an 10 avant notre ère, l'empereur romain Auguste avait fait dresser un obélisque de 22 m de haut au milieu du champ de Mars (*cf.* fig. 3 page suivante). Ce gigantesque gnomon se trouve maintenant place Montecitorio à Rome. L'ombre se projette sur un dallage de pierre où étaient incrustées des règles de bronze.

1.1.4 Les cadrans canoniaux

Les cadrans canoniaux apparaissent sur les édifices religieux au cours du Moyen Âge à partir du VII^e siècle. Ils ont une forme semi-circulaire et leur style perpendiculaire au mur projette une ombre permettant de repérer les heures des prières (fig. 4 page suivante).

La règle monastique de Saint-Benoît de Nursie (480-547) organisait les offices en 8 heures canoniques séparées par des intervalles de sommeil, de lecture et de travail (fig. 5 page 39). Ainsi



FIGURE 3 – L’obélisque, place Montecitorio à Rome (source : site Michel.Lalos, photo E. Tricot 2013).



(a)



(b)

FIGURE 4 – Cadran canonial, *L’ange au cadran*, cathédrale Notre-Dame, Amiens.

le jour commence à minuit avec Matines, puis Laudes, Prime, Tierce, Sexte, Nones, Vêpres et Complies vers 19 h. Cependant suivant les congrégations religieuses, le nombre de graduations est variable.

1.2 Tout est une affaire de style et de lignes horaires

1.2.1 Les styles

Les gnomons n’ont pas eu un bel avenir en tant qu’horloge et les cadrans canoniaux indiquaient une heure très imprécise. Des cadrans solaires plus précis ont été élaborés en utilisant un style de type gnomon mais perpendiculaire à la table du cadran. Ensuite un essor important fut obtenu grâce au style polaire (*cf. fig. 6 page suivante*).

Un cadran solaire se compose d’une table qui porte les lignes horaires et d’un style dont l’ombre portée sur la table indique l’heure solaire locale vraie (*cf. fig. 7 page ci-contre*).

Le style de type gnomon a l’avantage d’être facile à réaliser mais la lecture de l’heure se fait à l’extrémité de l’ombre sur la table ce qui est un inconvénient.

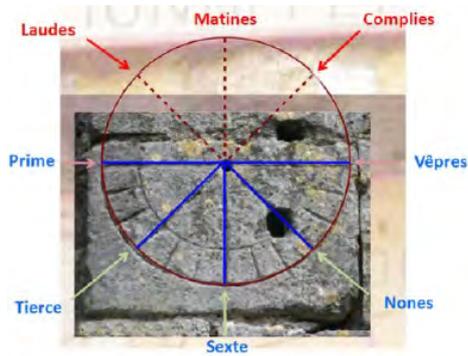


FIGURE 5 – Cadran canonial, église de Péreuil, Charente (source : site Michel.Lalos, photo M. Cowham 2010).

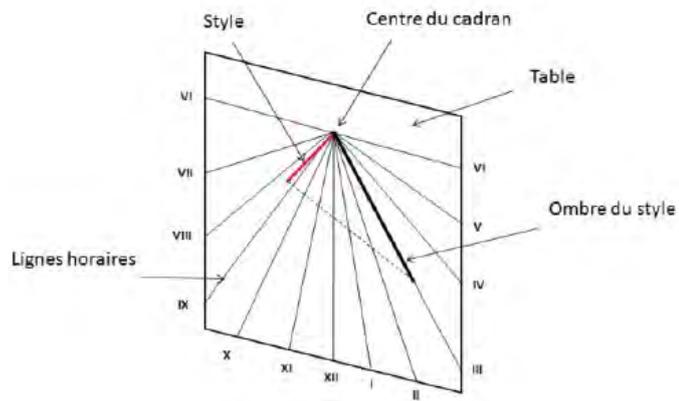
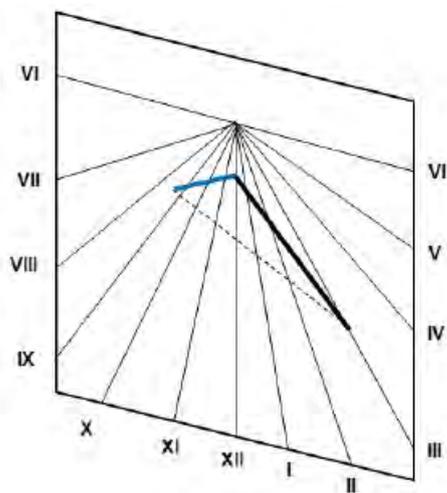
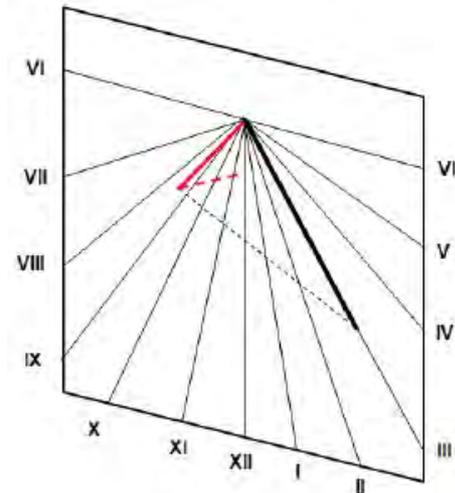


FIGURE 6 – Allure générale d'un cadran solaire sur un mur vertical orienté plein sud.



(a) Style de type gnomon



(b) Style polaire

FIGURE 7 – Les styles.

La civilisation arabe a provoqué un pas décisif en inventant le style polaire. L'indicateur d'ombre est parallèle à l'axe de rotation de la Terre et pointe donc vers le pôle céleste nord. La lecture de l'heure est grandement facilitée car la totalité de l'ombre suit les lignes horaires. Ainsi, la longueur de l'ombre change avec les saisons mais la direction de l'ombre est la même pour une même heure toute l'année. L'inconvénient d'un tel style est la difficulté à le réaliser car il demande une pose qui respecte précisément les angles entre ce style et la table.

1.2.2 Les lignes horaires

La configuration des lignes horaires tracées sur la table du cadran solaire dépend de la latitude du lieu (φ) et de l'angle que fait la normale du mur sur lequel est installé le cadran avec la direction du sud (cas d'un cadran solaire vertical). Cet angle (D) est appelé angle de déclinaison du mur.

L'angle z entre une ligne horaire et la ligne horaire verticale de midi est donné par la formule :

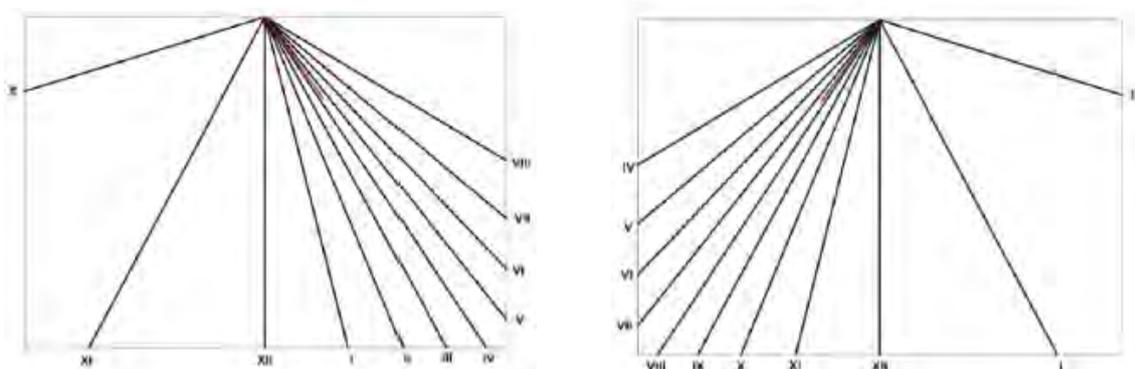
$$\tan z = \frac{\cos \varphi \tan H}{\cos D + \sin D \sin \varphi \tan H}$$

Dans cette expression H est l'angle horaire du Soleil. Comme la Terre fait un tour en 24 h, H varie de 15° par heure et $H = 0^\circ$ correspond à 12 heures solaires.

Suivant l'orientation du mur donc de la valeur de D , on distingue plusieurs types de cadrans solaires :

- le cadran méridional pour un mur orienté plein sud,
- le cadran oriental pour un mur orienté plein est (fig. 8(b)),
- le cadran occidental pour un mur orienté plein ouest (fig. 8(a)),
- le cadran septentrional pour un mur plein nord.

Le cadran méridional présente un aspect symétrique des lignes horaires et permet la lecture de l'heure le matin et l'après midi sauf quand l'azimut du Soleil est inférieur à -90° ou supérieur à $+90^\circ$ (mois d'été).



(a) Mur déclinant de 60° vers l'ouest. Cadran de l'après-midi

(b) Mur déclinant de 60° vers l'est. Cadran du matin

FIGURE 8 – Allure des lignes horaires dans le cas de murs orientés différemment.

1.3 La lecture de l'heure

Le cadran solaire indique l'heure solaire vraie du lieu : HS . Ainsi, il est XII heures solaires lorsque le Soleil culmine à la verticale du cadran. Cette heure diffère de l'heure donnée par notre montre qui est l'heure légale HL du lieu. L'heure légale HL , pour un lieu donné à un jour donné, est obtenue en ajoutant trois corrections à l'heure solaire HS lue sur le cadran :

$$HL = HS + CE + CL + CH$$

- CE : correction donnée par l'équation du temps (équation dans le sens de *correction*) ;
- CL : correction liée à la longitude du lieu ;
- CH : correction liée au fuseau horaire du lieu.

1.3.1 Correction donnée par l'équation du temps

L'équation du temps est due au double mouvement de rotation de la Terre (fig. 9) :

- sa révolution autour du Soleil suivant une trajectoire elliptique (lois de Képler),
- et sa rotation autour de son axe incliné sur le plan de l'orbite ($23^{\circ} 26' 13''$).

La correction à appliquer varie continuellement au cours de l'année. Si la Terre se déplaçait sur une orbite circulaire et si son axe n'était pas incliné, cette correction serait nulle.

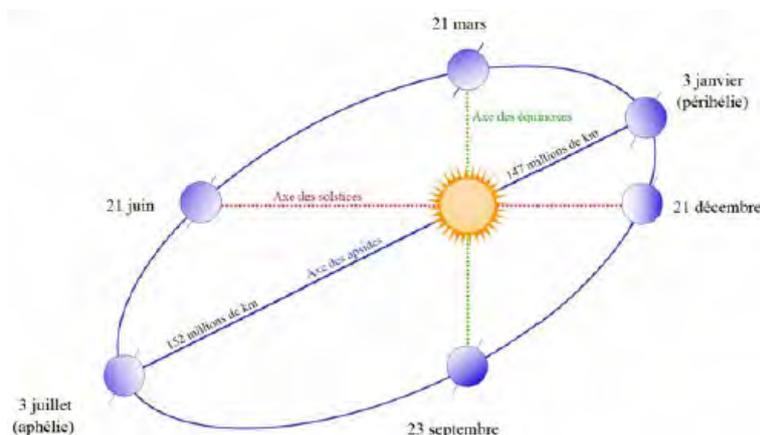


FIGURE 9 – Révolution de la Terre autour du Soleil (source : Wikipédia).

Ces effets ont pour conséquence que le passage du Soleil à un méridien donné ne se produit pas à la même heure de notre montre selon la date. On appelle *Soleil vrai* le Soleil qui donne l'heure solaire vraie sur le cadran. Notre montre utilise un Soleil moyen, Soleil qui se déplacerait de façon uniforme sur l'équateur céleste. L'écart entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen est donné par l'équation du temps. Cette dernière prend en compte les deux effets cités plus haut et les variations de cette équation au cours d'une année peuvent être tracées en vue d'une exploitation aisée.

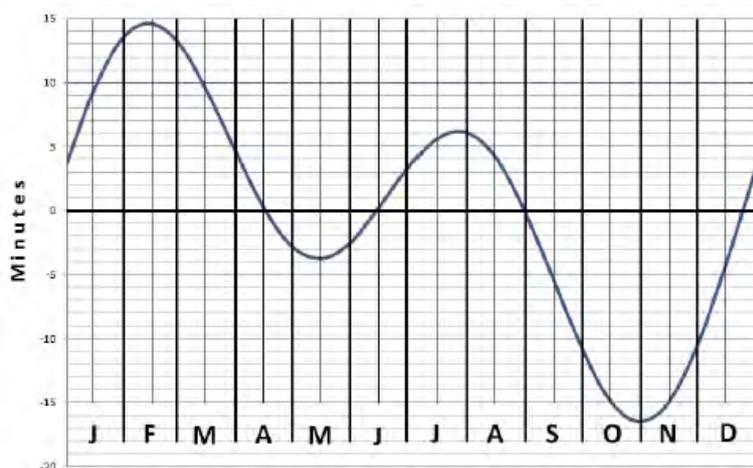


FIGURE 10 – Variation de l'équation du temps sur une année.

L'équation du temps s'annule quatre fois par an, le 15 avril, le 13 juin, le 1^{er} septembre et le 25 décembre. Elle atteint une valeur positive d'environ 14 minutes début février et une valeur négative d'environ 16 minutes début novembre (fig. 10).

Il est possible de montrer visuellement la variation de l'équation du temps en effectuant des photographies du Soleil une fois par mois, à la même heure en temps universel, en utilisant

un appareil photographique fixe. La juxtaposition de ces photos donne une figure appelée *analemme* (fig. 11).

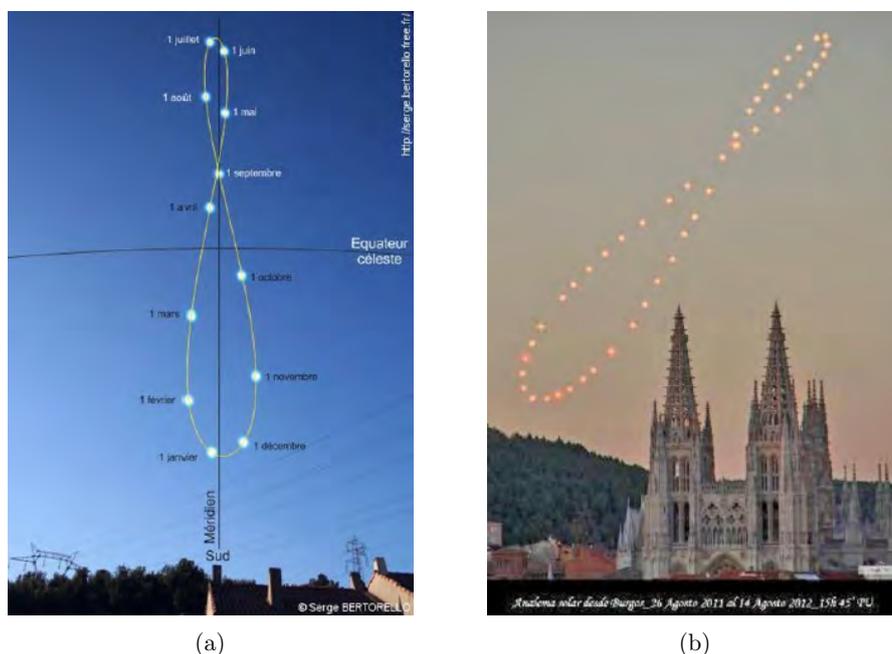


FIGURE 11 – Analemmes enregistrés à des lieux et des heures différents (à gauche : photo de Serge Bertorello ; à droite : site de Michel.Lalos, photo de A. Alzati, Burgos, 2011-2012).

1.3.2 Correction donnée par la longitude du lieu

L'heure de notre montre utilise comme référence le méridien de Greenwich et le temps universel TU est le temps civil de Greenwich. Il faut donc appliquer une correction liée à la longitude du lieu où est situé le cadran. Avec cette correction on obtient le temps universel TU. La longitude est une grandeur en degrés allant de 0° à 180° vers l'est et de 0° à -180° vers l'ouest. Il faut convertir cette quantité en temps. Comme la Terre fait un tour en 24 h il suffit de diviser la longitude donnée en degrés par 15 pour obtenir des heures ou le plus souvent, multiplier la longitude donnée en minutes d'angle par 4 pour obtenir des minutes de temps.

Par exemple la longitude de Lille au niveau du Beffroi est de $3^\circ 4' 11''$. La conversion en temps vaut donc 12 min 17 s que l'on arrondit à 12 min car les cadrans solaires de taille moyenne ne permettent pas d'apprécier les secondes.

1.3.3 Correction selon la saison

Finalement pour obtenir l'heure de la montre ou Temps légal, il faut appliquer une dernière correction selon la saison. La correction pour l'heure d'hiver est $CH = +1$ h et celle pour l'heure d'été est $CH = +2$ h.

Exemple Il est midi sur un cadran de Lille le 21 septembre. On doit lire sur la montre :

$$HL = HS + CE + CL + CH$$

$$HL = 12 \text{ h} - 7 \text{ min} - 12 \text{ min} + 2 \text{ h} = 13 \text{ h } 41 \text{ min}$$

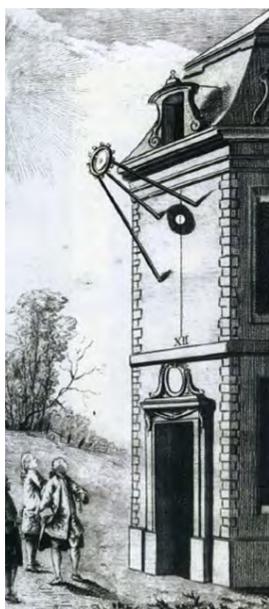
2 Les multiples façons d'exploiter l'ombre du style

Les cadrans solaires peuvent avoir des présentations très variées. Le plus souvent, de forme plane, ils sont placés verticalement sur un mur ou horizontalement sur un socle. D'autres sont gravés sur une surface hémisphérique, cylindrique ou même sur le mur d'un barrage hydroélectrique. Pour certains dessinés simplement sur le sol, l'heure est indiquée par l'ombre d'une personne. Il y a aussi des cadrans équatoriaux, armillaires, de hauteur, à réflexion qui fonctionnent sur des murs toujours à l'ombre grâce à l'utilisation de miroirs. Enfin il existe toute une gamme de cadrans de petites dimensions qui les rendent portables et certains d'entre eux sont des pièces de grande valeur exposées dans des musées.

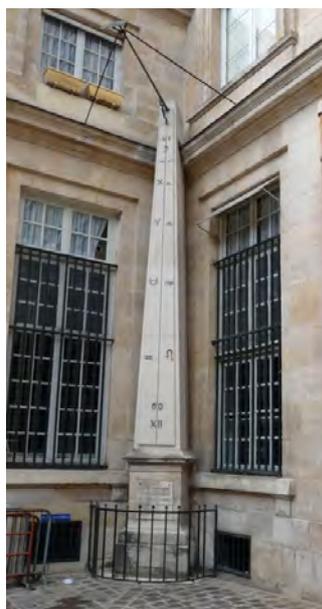
On comprend bien qu' il n'est pas possible d'effectuer ici une présentation exhaustive de tous ces instruments. On se limitera donc essentiellement aux cadrans plats installés sur un mur et à quelques autres dont par exemple celui déposé fin 2018 sur le sol de la planète Mars de notre système solaire dans le cadre d'une mission scientifique.

2.1 Les méridiennes

Une méridienne est un cadran solaire de grande taille focalisé sur l'heure de midi. Ces instruments furent très populaires au XVIII^e et XIX^e siècle car ils permettaient de mettre à l'heure les montres mécaniques qui se déréglaient quotidiennement. La grande taille de l'instrument garantit une lecture précise (fig. 12).



(a) Illustration datant de 1760 montrant des propriétaires de montres à gousset en train de les régler devant une méridienne (Frontispice de « La Gnomonique » de Bedos de Celle)



(b) Méridienne dans la cour de l'Hôtel de la Monnaie Paris VI^e

FIGURE 12 – Les méridiennes

2.2 Cadrans à style polaire donnant les heures classiques

Le cadran donne en général les heures solaires locales vraies. Il peut comporter aussi des arcs diurnes pour des déclinaisons particulières δ du Soleil. Au cours de la journée l'extrémité de l'ombre suit un arc diurne. Sous nos latitudes, ces arcs sont des parties d'hyperboles sauf pour l'équinoxe où l'arc devient un segment de droite. Pour une valeur de δ donnée, ils se calculent en tenant compte de la latitude du lieu et de la déclinaison du mur.



FIGURE 13 – Cadran solaire sur la mairie de Bouvines, Nord.



FIGURE 14 – Cadran solaire à Bergheim, Haut-Rhin.

Ainsi sur le cadran de Bouvines ont été représentés les arcs correspondant aux solstice d'hiver et d'été, aux équinoxes et à la date de la bataille de Bouvines. Des blasons décorent le cadran et une devise complète la présentation (fig. 13).

Le cadran de Bergheim est riche en informations car en plus des lignes horaires et des arcs diurnes il indique la durée du jour et de la nuit suivant les saisons. Il est ancien et a bénéficié d'une restauration correcte (fig. 14).

2.3 Cadrans donnant les heures anciennes

2.3.1 Les heures babyloniennes et les heures italiennes

Chez les Anciens (Chaldéens, Perses, ...) les heures étaient comptées à partir du lever du Soleil. C'étaient les heures *babyloniennes*.

Les Hébreux, les Chinois, les Romains, les Italiens du Moyen-Âge comptaient les heures à partir du coucher du Soleil la veille. Ces heures étaient encore en usage du temps de Goethe et il s'en plaint dans son Voyage en Italie de 1789. C'étaient les heures *italiennes*.

Les lignes *babyloniennes* et *italiennes* partent de zéro sur la ligne d'horizon. À la demi-somme des heures *babyloniennes* et des heures *italiennes* correspond l'heure classique.

Les heures *italiennes* permettent de connaître, en les retranchant de 24, le temps qui s'écoulera jusqu'au coucher du Soleil.

Les heures anciennes étaient utiles notamment aux travailleurs des champs de l'époque car elles leur permettaient de savoir combien de temps il leur restait pour travailler avant le coucher du Soleil.

Le cadran du château de Chamerolles présente à la fois les heures *babyloniennes* et les heures italiennes (fig. 15). Toutefois le cadranier a choisi de marquer à côté des lignes horaires italiennes les heures restant avant le coucher du Soleil.

Un bel exemple de tracé des heures italiennes sur un mur tourné vers l'ouest est donné par l'un des cadrans dans la cour des Invalides à Paris (fig. 16).

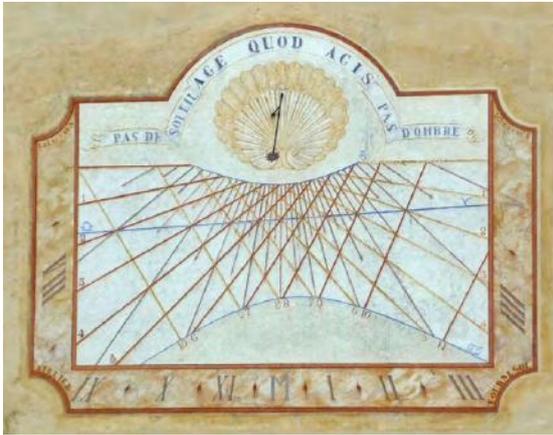


FIGURE 15 – Cadran du château de Chamerolles, Loiret, donnant les heures babyloniennes et italiennes.

FIGURE 16 – Un des cadrans de la cour des Invalides, Paris 7^e, donnant les heures italiennes.

2.3.2 Les heures temporaires

Les peuples anciens du bassin méditerranéen utilisaient des heures *temporaires*, parfois appelées aussi artificielles, planétaires, antiques ou bibliques. Comme les heures du jour étaient les seules utilisables, ils divisaient en 12 h l'intervalle de temps compris entre le lever et le coucher du Soleil. La ligne 6 h temporaire se confond avec la ligne de midi classique. La durée d'une heure temporaire varie au cours de l'année. Elle passe de 40 min au solstice d'hiver pour atteindre 80 min au solstice d'été.



FIGURE 17 – Un cadran du Lycée Louis le Grand, Paris V^e, donnant les heures temporaires.

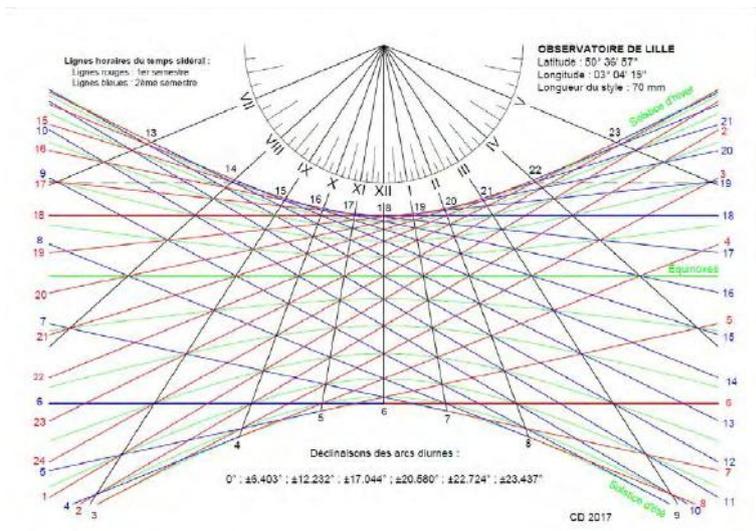


FIGURE 20 – Tracé précis d'un cadran donnant les heures sidérales pour l'observatoire de Lille.

2.6 Cadran luni-solaires

Il existe quelques cadrans permettant de déterminer l'heure solaire la nuit. Ils sont d'allure classique mais c'est la lumière de la Lune qui est à l'origine de l'ombre du style.



FIGURE 21 – Cadran luni-solaire du château de Béru, Yonne.

La façade du château de Béru présente un cadran et à sa droite une table de correspondance (fig. 21). Tout d'abord, on lit sur le cadran l'heure lunaire puis connaissant la lunaison du jour on utilise ces deux valeurs pour lire l'heure solaire sur la table. La lunaison donne la ligne à utiliser et l'heure lunaire la colonne.

Le résultat est peu précis et ce type de cadran reste plutôt une curiosité. Pour qu'un tel cadran fonctionne, il faut :

- que la Lune soit présente,
- que le ciel soit dégagé,
- que les lampadaires de la commune soient éteints...

2.7 Cadrans analemmatiques

Un cadran solaire *analemmatique* est un cadran horizontal sur le sol (fig. 22(a)). Il est particulier car il ne comporte pas de lignes horaires mais des points horaires placés sur une ellipse appelée ellipse des heures. Il fonctionne du lever au coucher du Soleil. Le style est un gnomon vertical dont l'ombre qui coupe l'ellipse indique l'heure solaire. Si le gnomon était fixé dans le sol, il faudrait autant d'ellipses sur le cadran qu'il y a de jours dans un semestre. Au XVII^e siècle, le français Vaulezard eut l'idée de construire une seule ellipse et de rendre le gnomon mobile. Suivant la direction nord-sud une échelle de dates est dessinée sur le sol. Une personne fait office de gnomon en se plaçant à la bonne date sur ce repère. Son ombre indique alors l'heure solaire locale (fig. 22(b)).

Ce cadran se prête par exemple particulièrement bien à une réalisation dans une cour d'école où un élève peut faire office de style.



(a) Biarritz (Pyrénées atlantiques)



(b) La Plaine sur mer (Loire Atlantique) avec lecture de l'heure

FIGURE 22 – Cadrans analemmatiques.

2.8 Un cadran solaire sur Mars

Si aujourd'hui on construit encore des cadrans solaire en France et dans le monde, on en a réalisé un particulier que l'on a posé sur le sol martien. En effet, le 5 mai 2018 une sonde a été envoyée depuis la base de Vandenberg en Californie vers la planète Mars où elle a atterri le 26 novembre 2018. Il s'agit de la mission *Insight* qui a pour programme l'étude des phénomènes sismiques pouvant se produire sur cette planète. Le sismomètre embarqué, de conception française, a besoin d'une référence géographique pour fournir des informations exploitables. Il fallait donc localiser le pôle nord de Mars avant la mise en service de l'instrument. Cette détermination à l'aide d'une boussole n'était pas envisageable car le champ magnétique de Mars est extrêmement faible. La solution retenue est celle d'un gnomon de 3 cm de hauteur dont la position angulaire de l'ombre a permis, à l'aide d'un logiciel spécifique, de localiser le pôle nord (fig. 23 page ci-contre).

À ce jour le système de détection fonctionne correctement. Même si l'étape de l'orientation du sismomètre à l'aide d'un gnomon semble anecdotique dans cette importante mission spatiale, l'utilisation d'un instrument qui remonte aux Babyloniens pour orienter un programme de haute technologie est quand même quelque chose d'extraordinaire.

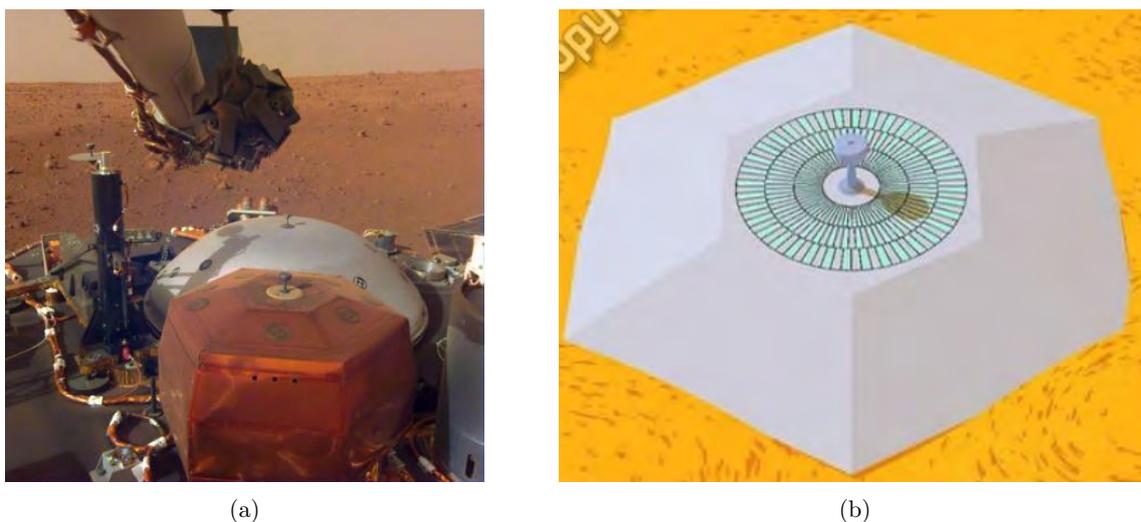


FIGURE 23 – Le sismomètre déposé sur le sol martien et un dessin du gnomon entouré de repères angulaires (source : site mars.nasa.gov).

Conclusion

À toutes les époques et dans tous les pays, l'homme a fait preuve d'imagination dans la création de cadrans solaires. La description de quelques uns de ces instruments montre la diversité des solutions retenues ainsi que les présentations utilisées pour indiquer des repères horaires au cours de la journée. Ces objets constituent aujourd'hui un patrimoine culturel dont s'occupe la Commission des cadrans solaires (CCS) de la Société Astronomique de France (SAF). Créée en 1972, elle compte 300 amateurs, du néophyte à l'expert. Elle réalise l'inventaire de ces instruments en France ainsi qu'à l'étranger et à ce jour plus de 35 000 cadrans ont été recensés en France. Elle effectue aussi des recherches, des travaux théoriques et pratiques concernant les cadrans solaires, mais aussi les astrolabes, les nocturlabes, autrement dit, les différents instruments permettant de mesurer le temps à partir de la position du Soleil, de la Lune ou des étoiles.

La gnomonique qui est la science des cadrans solaires est donc toujours la source d'études et de réalisations variées.

Références

- [1] Jean Fulcrand, Pierre Bourge : *Midi au Soleil . . . comment réaliser un cadran solaire ?*, Observatoire de Saint-Aubin-de-Courteraie, 61 400 Mortagne, 1978 (nouvelle édition en 1982).
- [2] Andrée Gotteland, Georges Camus : *Cadrans solaires de Paris*, CNRS éditions, Paris, 1993 (nouvelle édition en 1997).
- [3] Denis Savoie : *Les cadrans solaires*, Belin-Pour la Science, 2003.
- [4] Denis Savoie : *La gnomonique*, Les Belles Lettres, 2007.

- [5] Denis Savoie et al. : *Determining true north on Mars by using a sundial on Insight*, Space Sci. Rev., 22 p, 2019.
- [6] Site de M. Lalos : michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/
- [7] Site de la CCS : commission-cadrans-solaires.fr/



Vu en vitrine au musée des Arts & Métier : un astrolabe



Astrolabe de Rennerus Arsenius (1569), inv : 3907.

Les genoux ensoleillés ou le Soleil sur le chapiteau de Daniel

par Paul Gagnaire

« ... et mille ans sont comme un jour »
Saint Pierre : 2^e Épître III, 8.

Les illuminations solaires fascinent. Des livres ont été écrits, des articles publiés. Le sujet inépuisable montre l'envie que le phénomène soit le fruit de savants calculs du bâtisseur. L'étude de P. Gagnaire sur les « genoux ensoleillés de Daniel », semble nous inviter à minimiser l'enthousiasme. Il laisse cependant le lecteur/spectateur libre de son choix sur l'origine : calculs astronomiques, symbolisme ou tout simplement l'orientation habituelle des édifices religieux et ... l'effet du hasard.

Ce petit village de Rozier-Côtes d'Aurec, modeste voisin de Saint-Bonnet le Château, a pourtant le privilège de compter au nombre des cinq localités choisies par la prestigieuse collection Zodiaque pour illustrer l'art roman en Forez-Velay¹, tandis que vingt-cinq autres doivent se contenter de brèves notices. Les auteurs justifient cette sélection par ces mots, page 231 : *Il faut vouloir aller à Rozier, tant ce village semble perdu et comme situé au bout du monde. Il y gagne en calme, en simplicité, en vérité. L'église est un modèle d'harmonie. Ses proportions satisfont le regard et l'on s'y sent à l'aise pour prier.*

Parmi les images qu'il a consacrées à l'église de Rozier, le photographe Olivier Blazy présente cette séquence où le personnage est probablement le prophète Daniel dans la fosse aux lions. On imagine que le phénomène a intrigué l'artiste tout comme il nous intrigue.

Voici les trois photos (*cf.* figures 1 page suivante). La lumière bleue projetée par un vitrail monte, de l'une à l'autre, ce qui signifie que le Soleil descend.

En outre, deux constatations s'imposent :

- a) Du temps s'est écoulé entre la première image et la troisième puisque la lumière semble avoir glissé du bras droit au bras gauche de Daniel. Le Soleil a donc progressé d'est en ouest.
- b) Il semble que ce soit la zone haute du vitrail qui est projetée, puisqu'on ne voit pas de lumière au-dessus de la ceinture du personnage.

1. Olivier Beigbeder et Raymond Oursel : *Forez Velay roman*, Ed. Zodiaque (La nuit des temps N° 15) MCMLXXXI / 2^e édition.



FIGURE 1 – Photos d'Olivier Blazy :

<https://flickr.com/photos/1406702740@N06/albums/72157666623234630>.

Olivier Blazy a pris le soin d'horodater ses photos et de préciser qu'il n'a pas utilisé de flash pour les composer. La source lumineuse est dite *unknown*. Nous pouvons alors déterminer l'azimut du Soleil, lors des prises de vue, en confrontant les valeurs du photographe et le plan ci-après.

TABLE 1
Horodatage des prises de vues.

N° photo	Date	Heure légale	Heure solaire
P.1130929	25/08/2015	18 h 57 min 58 s	17 h 11 min 58 s
P.1130931	25/08/2015	18 h 58 min 10 s	17 h 12 min 10 s
P.1130935	25/08/2015	18 h 59 min 26 s	17 h 13 min 26 s

Le plan présenté par Zodiaque (fig. 2 page ci-contre) et sur lequel nous avons tracé les azimuts (ou éventails azimutaux) du Soleil lorsque, passant par ces azimuts, il fait face au chapiteau et pourrait donc projeter un vitrail sur lui, montre que trois fenêtres sont à étudier :

- La fenêtre « A » de la nef, azimut 207° SW : à éliminer car la hauteur du Soleil, la plus faible, est de 17° , lors du solstice d'hiver. L'image du vitrail tombera très en dessous des genoux du personnage. De plus, lorsque le Soleil transite par cet azimut 207° , on est en début d'après-midi (midi = 180°), donc cet horaire est incompatible avec celui des photos.
- La fenêtre « B » de la nef, azimut 234° SW. Cette fenêtre capte donc le Soleil à son coucher, lors du solstice d'hiver ($Az = 235^\circ$). Sa hauteur, très faible, de l'ordre de 1° ou 2° au-dessus de l'horizon, serait bien compatible avec l'ultime projection du vitrail dont le sommet se situe à la même hauteur que le chapiteau (fig. 3 page 54). Et il ne serait pas étrange que les bâtisseurs aient voulu marquer par ce jeu de lumière, la période de Noël. Cependant l'idée doit être abandonnée, car la fenêtre « B » ne peut pas recevoir le Soleil couchant, ces jours-là ; des constructions lui font obstacle, comme on le voit sur l'image (fig. 4 page 54) qui représente le côté Sud de l'église. Toutefois, il faudrait vérifier si ces constructions sont contemporaines de la fondation de l'église ou postérieures. Mais tout ce que l'on sait tend à infirmer cette dernière hypothèse.

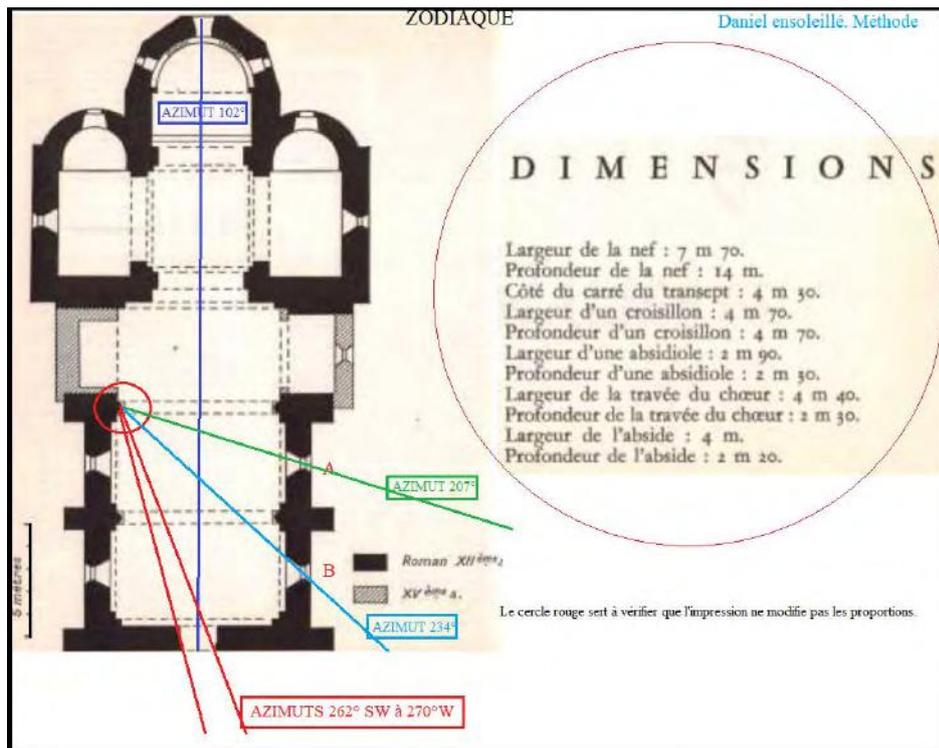


FIGURE 2

c) Reste alors seulement la fenêtre axiale Ouest, au-dessus de la porte d'entrée. Sur plan, elle accueille le Soleil à son passage entre les azimuts 262° SW et 270° W. Cet éventail d'azimuts est très peu ouvert parce que les rayons du Soleil atteignent la face du chapiteau presque tangentiellement. Voici ses coordonnées lors de ces passages (cf. table 2).

TABLE 2
Coordonnées du Soleil lors des passages.

Dates	Déclinaison Soleil	Azimut	Hauteur	Heure solaire
25 août	+11°	262° SW	23° 21'	16 h 32 min
19 avril				*****
25 août	+11°	270° W	15° 54'	17 h 16 min
19 avril				*****

La concordance entre l'heure d'Olivier Blazy, le 25 août, (convertie en heure solaire)², et celle de la seconde ligne du tableau (azimut 270° W) est quasiment parfaite. Sur l'image 5 page 55 on voit que la hauteur du vitrail de la fenêtre Ouest est supérieure à celle des genoux. Il est donc normal qu'il faille une certaine hauteur au Soleil pour les illuminer par la projection

2. Le 25 août, le retard du temps solaire vrai sur le temps légal, vaut, à Rozier :

- Retard de 2 heures (régime de l'heure d'été).
- Retard de 2 minutes et 2 secondes (équation du temps de signe positif).
- Avance de 16 minutes et 28 secondes (longitude Est de Rozier). Donc : retard résiduel : 1 h 46 min 26 s (arrondir à 1h 46m)



FIGURE 3 – Chapiteaux et vitraux : même hauteur.

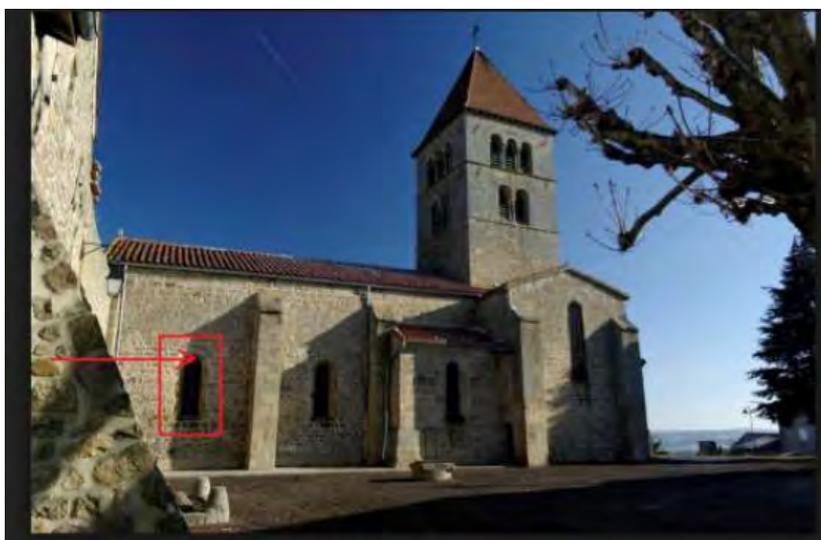


FIGURE 4 – Lorsque le soleil est assez bas sur l'horizon (solstice d'hiver) il ne peut plus passer par la fenêtre encadrée en rouge, car il est masqué par les maisons à gauche de l'image, qui semblent très près de l'église.

de la zone sommitale du vitrail³.

Les graphiques 6 & 7 page 56 illustrent comment se présente la fourchette des azimuts du Soleil, puis celle de ses hauteurs, (entre 16° et 18°) et, ensuite, comment se combinent les deux fourchettes, azimuts et hauteurs qui, toutes les deux, bornent le phénomène de l'ensoleillement des genoux de Daniel.

- Si sa hauteur est supérieure à 3°, mais moindre que 16°, il illumine tout le chapiteau.
- À 16°, le sommet du vitrail se projette sur le sommet du chapiteau.
- Entre 16° et 18°, la projection du sommet du vitrail descend vers le bas du chapiteau ; elle arrive à la ceinture de Daniel, puis à ses genoux.
- Quand elle dépasse les ang18, la projection du haut du vitrail passe en-dessous du bas du chapiteau (ligne JGK). Elle va se poser sur la colonne engagée, coiffée par le chapiteau, puis sur le sol et, enfin, le Soleil n'entrera plus.

3. Ce vitrail représente une procession sortant de l'église, avec à sa tête un évêque (ou le prieur de Rozier) dont la chasuble est brodée aux armes des seigneurs de Bouthéon (de Saint-Marcellin). Voir figures 10 & 11 page 58.

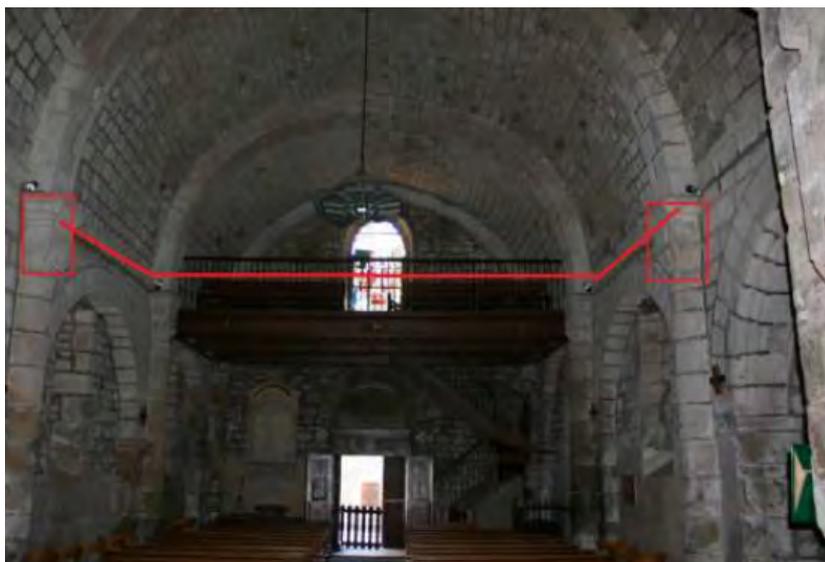


FIGURE 5 – Nef et fenêtre axiale Ouest : le sommet du vitrail est plus haut que les genoux ; le Soleil doit avoir une hauteur de 16°/18° environ pour les illuminer.

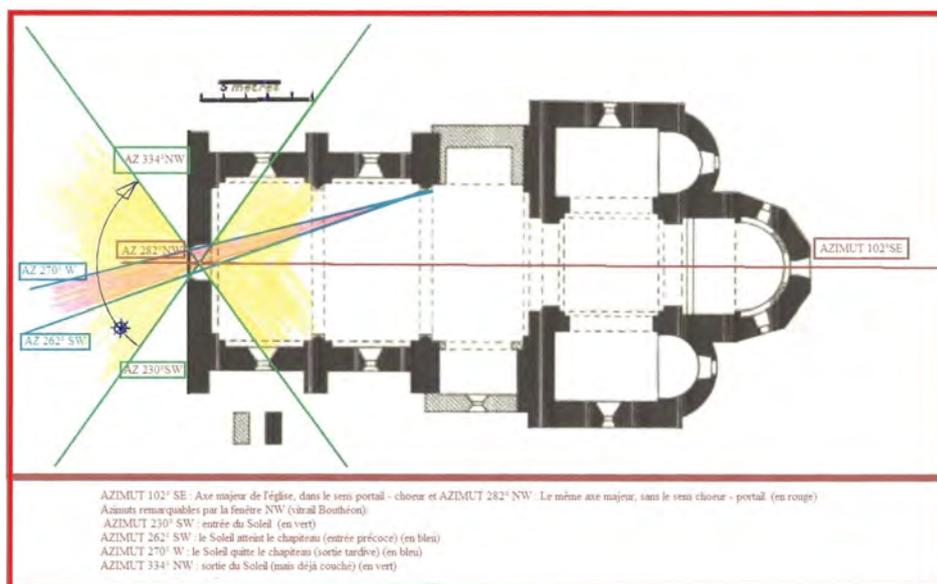


FIGURE 6 – Fourchette des azimuts du Soleil à ses entrée-sortie sur le chapiteau de Daniel.

La petite fenêtre rouge du graphique 8 page 57 illustre le rôle de bornage joué par les azimuts et les hauteurs. Elle est dupliquée, selon un autre processus, par le graphique 9 page 57, qui procure, évidemment, les mêmes informations, mais l'abscisse y est le temps et non plus l'espace.

On peut estimer que les dates-pivots du 25 août et du 19 avril grégoriens sont médianes, chacune, d'une période de 2 ou 3 jours en amont et en aval. À vérifier sur place, car la ligne des genoux est horizontale et le rayon de Soleil est oblique. Il faudra, nécessairement, admettre une certaine tolérance.

La question de l'intention des bâtisseurs reste du ressort des liturgistes, des historiens ; le phénomène marque l'Ouest, les dates du 25 août et du 19 avril (à remonter en calendrier julien des années 1000/1200). Que signifiaient, pour les fidèles du Moyen-Âge, à Rozier, ces dates redevenues le 18 août et le 12 avril juliens ? Si l'azimut de l'axe majeur (102° SE) ne nous évoque rien, ne serait-ce pas parce qu'il n'a pas été choisi en tant que démarche fondatrice, mais ne serait que la conséquence, non voulue mais subie, du choix du 270° W ? Notre habitude

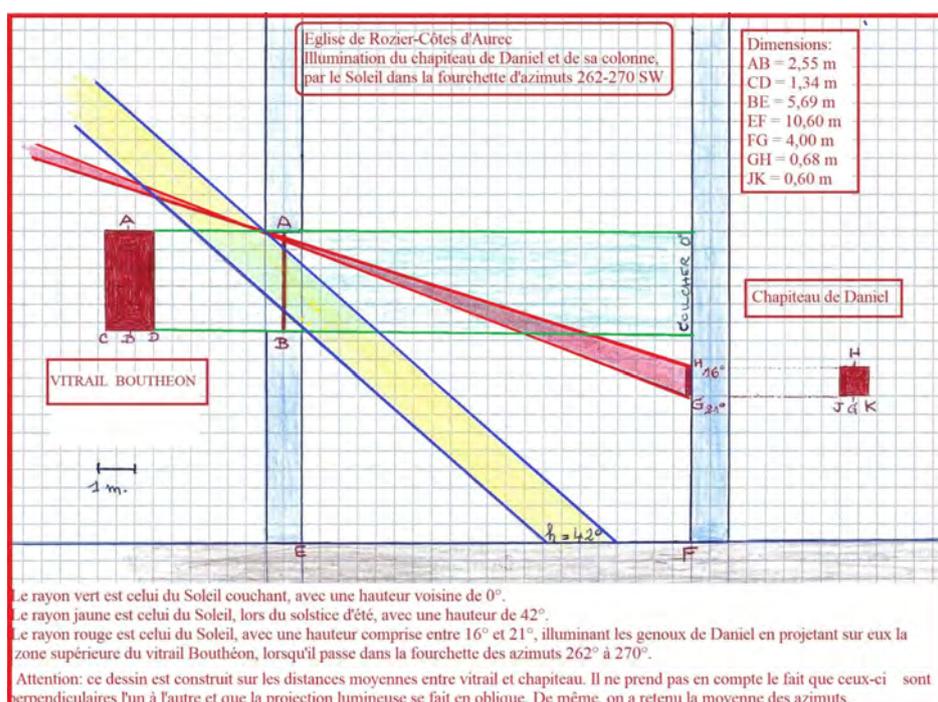


FIGURE 7 — Fourchette des hauteurs du Soleil.

de considérer d'abord l'axe majeur comme la source de tous les autres, ne serait-elle pas, parfois, une routine de facilité, alors que d'autres finalités ont été préférées et qu'il nous faut les découvrir ? N'est-il pas téméraire d'aller jusque là ? De même, il faudrait vérifier sur place, ce qui se passe la veille et le lendemain des jours ainsi sélectionnés ; le vitrail n'est pas que son sommet et toute sa hauteur, qui mesure dix fois la zone des genoux, peut illuminer le chapiteau puis la colonne engagée qui le porte. Six mois par an, le Soleil passe par cet azimut 270° W. Combien de fois a-t-il une hauteur adéquate, de 1° à $16^\circ/18^\circ$, environ, pour produire de tels phénomènes, ou d'autres qui seraient aussi curieux et, peut-être, lourds de symboles à espérer⁴.

Nous devons encore aller souvent à Rozier !

4. Dans l'azimut 270° W, la hauteur du Soleil comprise entre 1° et 18° couvre la période du 21 mars au 21 avril, puis 21 août au 21 septembre, environ. Dans le 262° SW, elle va du 10 mars au 10 avril et du 1^{er} septembre au 1^{er} octobre, à quelques jours près. (Voir graphique ci-dessus). Mais des obstacles naturels ou artificiels peuvent restreindre ces périodes

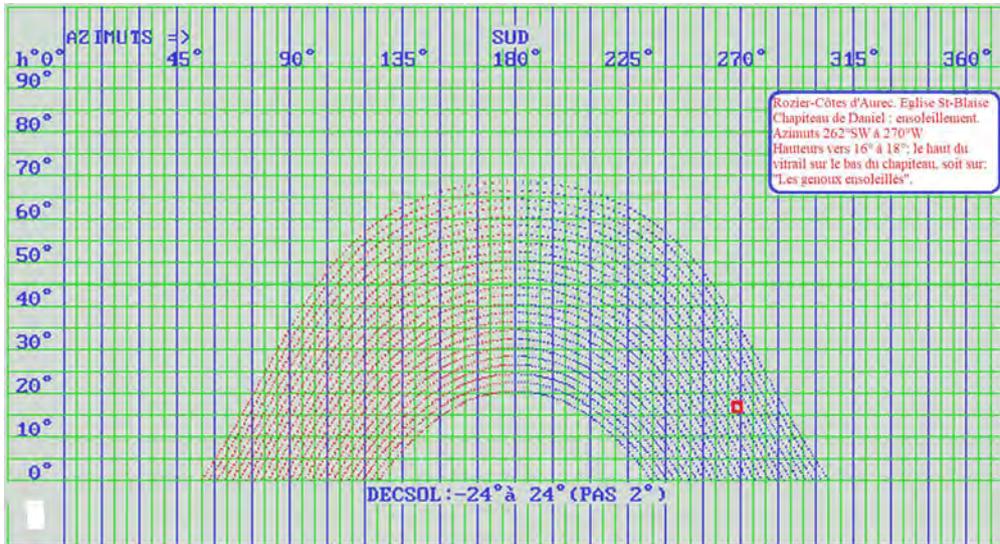


FIGURE 8

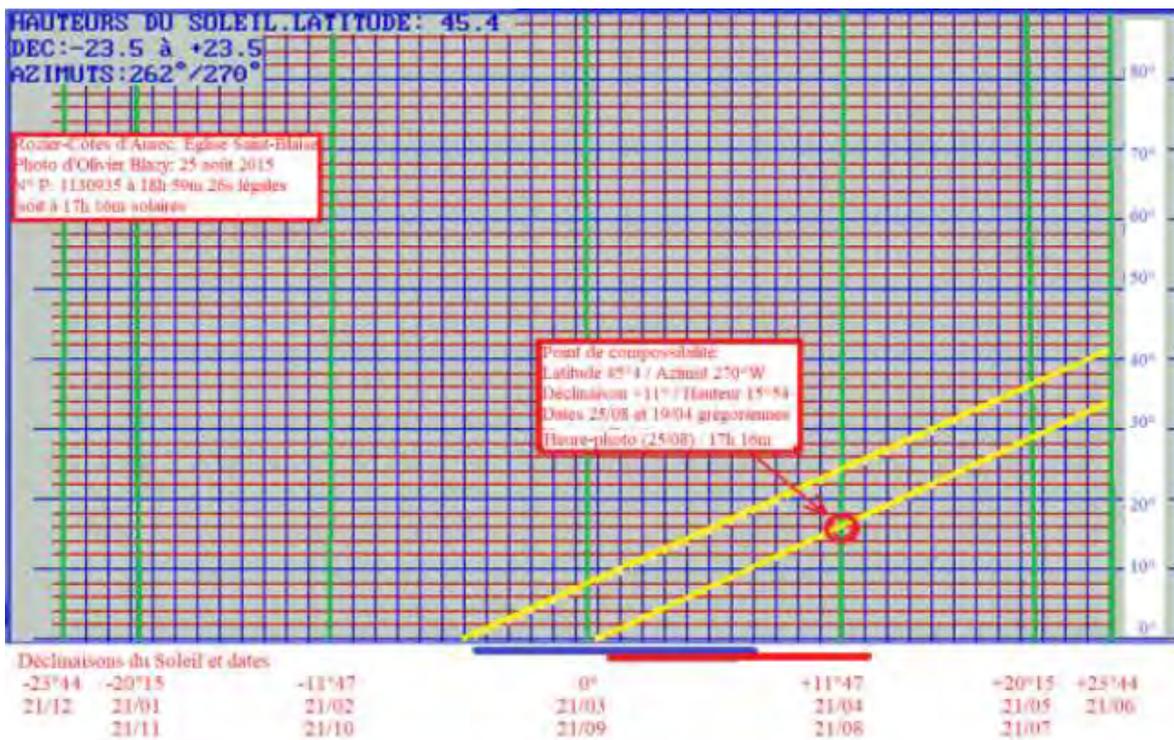


FIGURE 9 – Composition du graphique : Verticales bleues = déclinaisons du Soleil par pas de 1°. Verticales vertes = les sept déclinaisons remarquables (30° de longitude écliptique). Horizontales rouges = hauteurs du Soleil par pas de 2°. Horizontales bleues = hauteurs par pas de 10°. Pointés et droites jaunes = hauteurs du Soleil aux dates correspondant aux déclinaisons. Remarque : la variation des hauteurs est une quasi-droite parce que le quadrillage des déclinaisons varie légèrement, mais les dates correspondantes ne progressent pas régulièrement. Pour une déclinaison donnée, il faut rechercher la date dans des éphémérides.



FIGURE 10 – Vitrail fenêtre axiale W.



FIGURE 11 – Armorial Revel p. 464, détail = Bouthéon.



FIGURE 12 – Vitrail de la fenêtre axiale Ouest : détail de la chasuble = armes des Bouthéon.



FIGURE 13 – Armes de la famille de Bouthéon.

Les cadrans solaires de l'église de Molines-en-Queyras (05)

par Paul Gagnaire & Éric Mercier

Les murs Sud et Est du chœur de l'église de Molines-en-Queyras accueillent trois cadrans solaires : (1 & 2) cadrans anonymes, mais dont l'un est daté de 1849, et qui sont classiquement attribué à Zarbula et (3), cadran qui se limite à une série de chiffres (10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5) et qui date probablement de la fin du XVII^e siècle.

Nous montrons que les deux premiers sont inexacts et ne semblent pas pouvoir avoir été tracés en suivant la méthode de Zarbula. Il ne s'agit donc pas de cadran de ce cadranier, en dépit de la présence d'éléments de décoration qui évoquent son style graphique. Le troisième cadran est de type azimutal, son gnomon vertical, disparu, était implanté à proximité immédiate de l'église. Comme tous les cadrans azimutaux à gnomon fixe, ce cadran était conçu pour une date précise. Cette date demeure inconnue car, comme pour les deux autres, ce cadran présente des anomalies importantes. Nous discutons des différentes relations chronologiques et génétiques possibles entre ces trois cadrans. Une hypothèse se dégage, mais l'ampleur des incertitudes nous empêche de conclure de façon définitive.

1 Introduction

Isolée à quelques centaines de mètres du village de Molines-en-Queyras, l'église est le lieu d'implantation de trois cadrans solaires¹. Deux d'entre eux sont des cadrans verticaux situés sur les murs Est et Sud du chœur ; le méridional affiche la date de 1849. Ils sont classiquement considérés comme des œuvres de Zarbula² ; nous verrons qu'une autre attribution est probable. Le même mur Sud du chœur, est décoré de fresques qui entourent les deux fenêtres et qui datent de la fin du XVII^e siècle. Dans la fresque orientale, on note une série de chiffres (de 10 à 12, puis de 1 à 5) qui constitue, selon les « Monuments Historiques », un *cadran solaire de conception*

1. Michel Ugon [6] signale déjà ces cadrans, mais l'essentiel de son article correspond à l'étude des conditions d'ensevelissement de la statue du Saint patron de l'église (Saint Romain) à travers une fenêtre du chœur.

2. Célèbre cadranier actif au milieu du XIX^e siècle dans les Alpes franco-Italiennes, réputé pour son style graphique original et la précision de ses tracés qui découle d'une méthode atypique ([3] ; [5]).

assez particulière, sur lequel l'heure aurait été indiqué par l'ombre portée de la dépassée de la toiture³; cette hypothèse est clairement irrecevable sur le plan gnomonique. Dans cet article, nous nous proposons de réexaminer ces trois cadrans à la fois sur le plan historique et sur le plan gnomonique. Nous serons amenés à proposer des hypothèses nouvelles sur l'origine de ces instruments; sans pouvoir, hélas, arriver à un degré de certitude absolu.



FIGURE 1 – Vue, vers le Sud-Ouest, de l'église de Molines-en-Queyras.

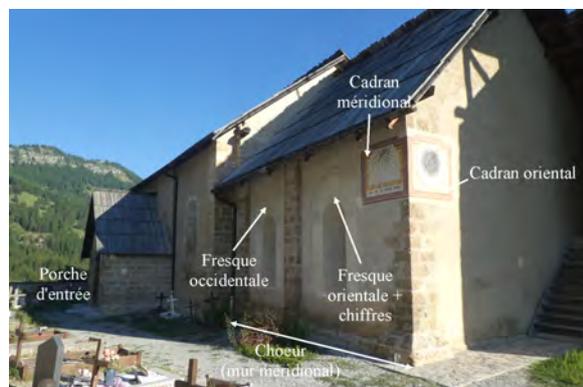
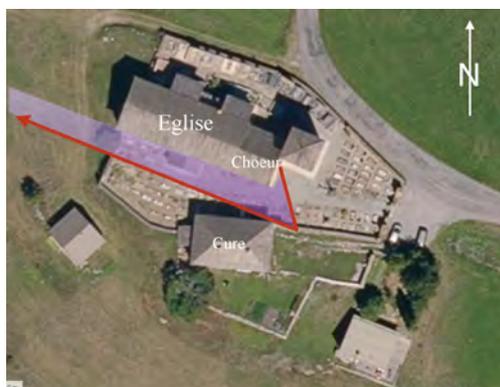


FIGURE 2 – Photo verticale (GeoPortail) de **FIGURE 3** – Position des différents cadrans sur les murs du chœur de l'église. figure 3.

2 Conditions d'ensoleillement des cadrans

Grâce à des outils en ligne qui ont été mis au point dans le cadre du développement de l'énergie solaire, nous pouvons déterminer, pour chaque période de l'année, les heures

3. Extrait du texte d'un panneau informatif sur la restauration du décor de la façade Sud, qui est présenté à proximité de l'église.

d'enseillement du site de l'église (fig. 4). On remarque que l'hiver, le Soleil se couche tôt dans l'après-midi.

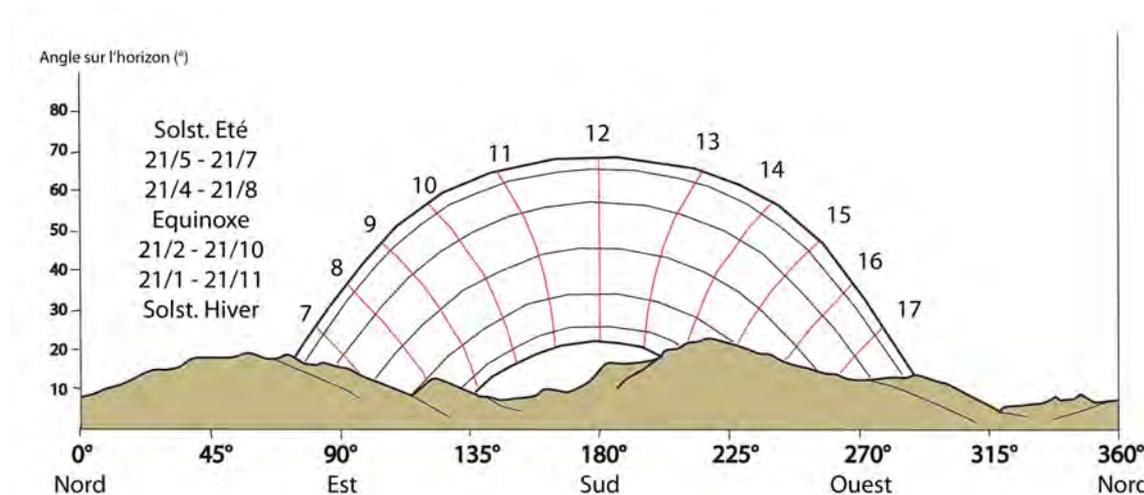


FIGURE 4 – Représentation de l'horizon local, de 0° à 360°, du site de l'église et position du Soleil selon l'heure et la période de l'année. Schéma synthétique établi grâce aux outils en ligne www.heliorama.com et www.sunearthtools.com, et modifié pour illustrer les heures solaires (temps vrai).

Si l'on s'intéresse aux cadrans eux-mêmes, on constate que le bâtiment de la cure constitue un obstacle à l'enseillement des cadrans du mur méridional du chœur, notamment l'après-midi quand le Soleil est bas (voir fig. 2 page ci-contre). Inversement quand le Soleil est haut, c'est le débordement du toit du chœur constitue un obstacle. Sachant que les chiffres de la fresque sont globalement à la même hauteur que le bas du cadran méridional, on peut grossièrement évaluer les hauteurs limites d'enseillement des cadrans, cette zone est très réduite (fig. 5).

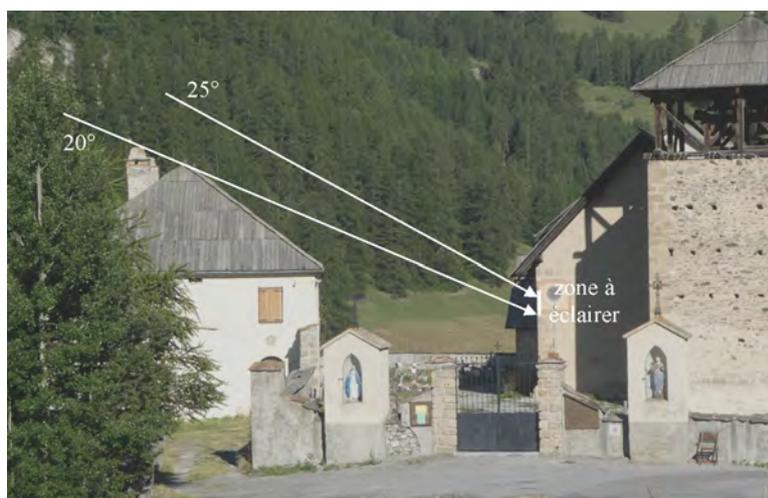


FIGURE 5 – Exemple de l'impact de la cure et du débordement du toit de l'église sur l'enseillement des cadrans du mur méridional (situation en début d'après-midi). Celui-ci n'est possible qu'avec une hauteur solaire située globalement entre 20° et 25°.

Nous n'avons retrouvé aucune indication sur la période de construction du bâtiment de la cure. Dans ce qui va suivre, nous supposons qu'il est plus récent que les cadrans dans la mesure où il paraît peu probable que des cadrans aient été établis à l'ombre d'un bâtiment. Pour la même raison, nous supposons que le toit du chœur a été modifié après la réalisation des cadrans.

3 Le cadran oriental

Ce cadran déclinant (mur -69°) anonyme, est classiquement attribué à Zarbula (par exemple : Ducrot et Putelat, 2003, p. 146). Il a déjà été plusieurs fois restauré (fig. 6).

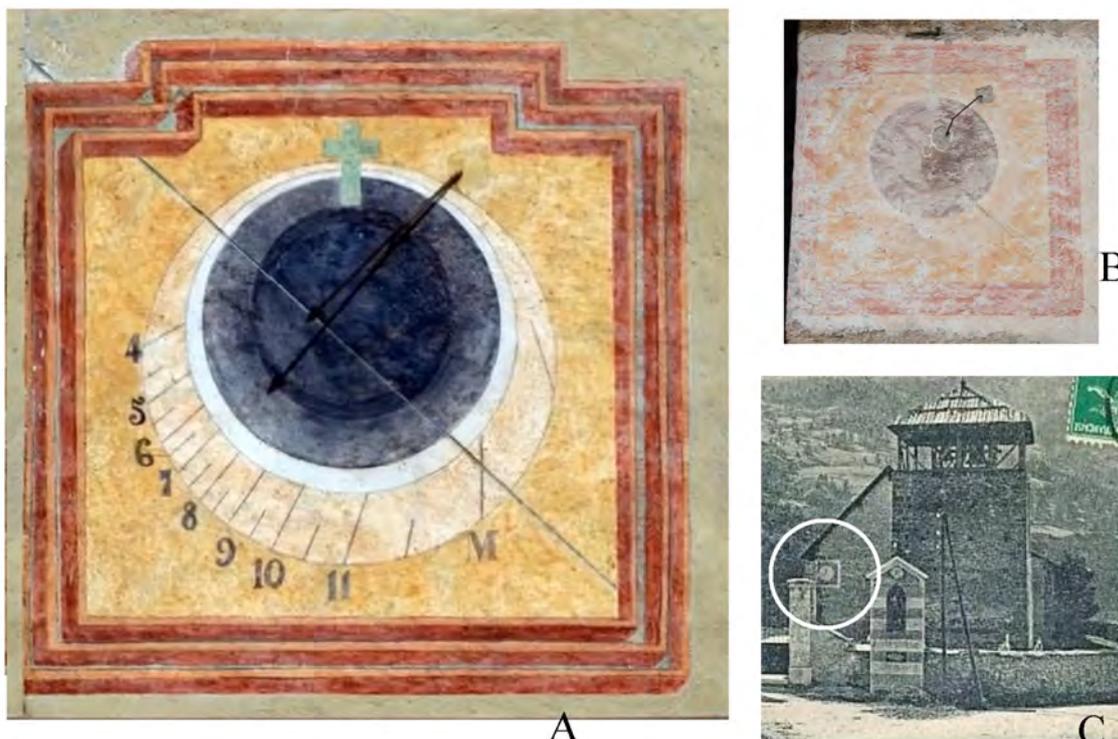


FIGURE 6 – Le cadran oriental ; état actuel (A) et deux photos d'états antérieurs témoignant des restaurations (B et C). Le disque central sombre n'était pas présent sur l'ancienne carte postale (C : début XX^e siècle), il a été ajouté lors d'une ancienne restauration. Une autre a eu lieu en 2002 (Lalos, 2019) (B).

Si l'on essaye de vérifier le tracé du cadran en comparant avec une modélisation calculée pour le lieu et la déclinaison du mur, on a un résultat médiocre. Les lignes horaires ne correspondent pas parfaitement (fig. 7 page suivante). En essayant d'autres calages, on peut même établir que le meilleur ajustement se ferait sur une modélisation calculée pour un mur d'orientation légèrement décalé dans le sens horaire (vers -65°)⁴.

4 Le cadran méridional

Ce cadran méridional (mur $+21^\circ$) anonyme, est, lui aussi classiquement attribué à Zarbula (Blanchard R. 1895 ; Ducrot et Putelat, 2003, p. 146). On y lit une date : 1849 (fig. 8). Il a subi, comme le cadran oriental, une restauration récente (2002 d'après Lalos 2019). Les photos disponibles montrent que son état antérieur était moins dégradé que celui de l'oriental ; il est vrai qu'à l'abri de l'avancée du toit, il est moins soumis aux intempéries.

4. Les auteurs remercient Yvon Massé qui a accepté de déterminer la déclinaison théorique de ce cadran avec ses propres outils informatiques semi-automatiques ; il trouve -65° .

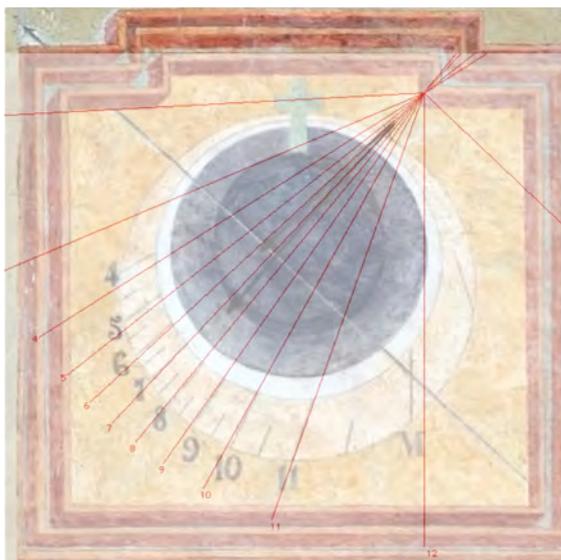


FIGURE 7 – Tentative de calage du cadran oriental avec un modèle calculé pour -69° . Le tracé semble déficient.



FIGURE 8 – Le cadran méridional.



FIGURE 9 – Tentative de calage du cadran méridional avec un modèle calculé pour une déclinaison de 21° . Le tracé semble déficient, surtout l'après-midi.

Si, comme pour le cadran oriental, l'on essaye de vérifier le tracé en le comparant avec une modélisation calculée pour le lieu et la déclinaison du mur, on constate également des discordances. Les lignes horaires ne correspondent pas parfaitement (fig. 9). Contrairement au cadran oriental où les lignes horaires étaient simplement translatées, ici on note une mauvaise orientation des lignes de l'après-midi ; l'erreur induite donc est variable et elle est plus importante en hiver. En essayant d'autres calages, on peut établir que le meilleur calage, encore très imparfait, se ferait sur une modélisation calculée pour un mur dont l'orientation serait légèrement décalée dans le sens horaire (vers $+24^\circ$)⁵.

5. Yvon Massé, toujours avec les mêmes outils semi-automatiques, trouve ici $23,5^\circ$.

5 Le cadran de la fresque

Les décors gravés et surlignés à la mine de plomb qui entourent les fenêtres du chœur sont contemporains des gypseries intérieures du chœur réalisé par C. Gegout en 1692⁶. Les huit chiffres qui constituent le cadran solaire de la fresque sont de cette époque (fig. 10).

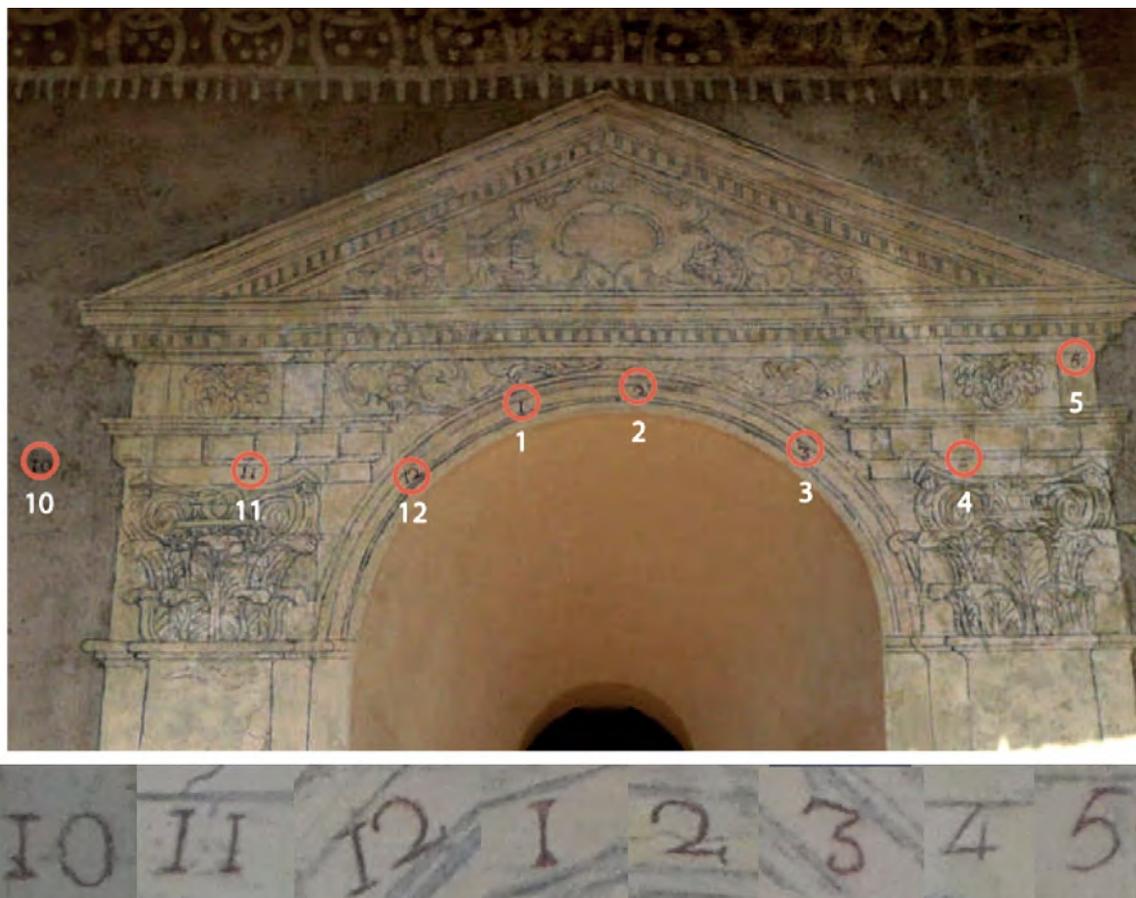


FIGURE 10 – La fresque orientale avec ses huit chiffres de graphie ancienne interprétés comme constituant un cadran solaire.

La disposition générale horizontale de ces chiffres permet d'exclure que le porte-ombre soit lui-même horizontal (dépassée du toit) ; au contraire un porte-ombre vertical s'impose. Nous supposons qu'il s'agissait d'une poutre verticale plantée à une faible distance de la fenêtre (fig. 11 page ci-contre). Un tel dispositif constitue un cadran azimutal.

Mais un cadran azimutal à gnomon fixe, comme celui envisagé ici, n'est juste que pour une certaine déclinaison du Soleil, soit deux fois par an. Dans un premier temps, nous avons essayé de déterminer cette date par une démarche d'essai-erreur sur toutes les déclinaisons possibles du Soleil. Il apparaît que dans toutes les hypothèses le porte-ombre est localisé à environ 0,7–0,8 m du mur, mais toujours quasiment au milieu de la fenêtre. Ceci constitue un argument en faveur de notre reconstitution. Mais, en termes de calage, aucune solution vraiment satisfaisante n'a pu être trouvée. Une des raisons de cet échec réside dans le fait que, la poutre ayant une certaine

6. Communication écrite de Blandine Jourdan, Direction régionale des Monuments historiques, d'après des informations de Sylvie Mazillier : « atelier de restauration du patrimoine peint ».



FIGURE 11 – Schéma de principe du porte-ombre du cadran de la fresque. Dans des conditions favorables, celui-ci projette, sur le mur, une ombre verticale qui se déplace de l’Ouest vers l’Est en atteignant successivement les chiffres 10, 11, 12, 1, etc.

épaisseur, ce sont des arêtes différentes qui vont matérialiser l’ombre au cours de la journée (fig. 12).

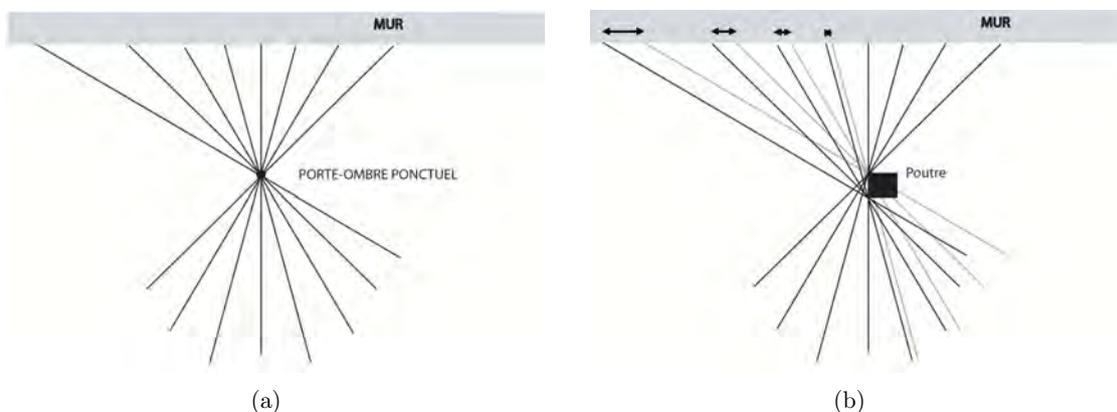


FIGURE 12 – Schéma illustrant les décalages des interceptions des rais de lumière par le mur, induits par le fait que ce n’est pas toujours la même arête de la poutre qui sert de porte-ombre au cours de la journée. Selon la taille et la forme de section transversale de la poutre, les décalages des lignes horaires du cadran azimutal peuvent être très variés.

Le problème de la détermination de la déclinaison solaire (le jour), de la forme et de la taille de la poutre en ne connaissant que le tracé du cadran, ne nous semble pas soluble ; d’autant plus qu’il est raisonnable de penser que le cadran lui-même est faux ayant été tracé avec des indications horaires inexactes (voir infra).

6 La fresque et le cadran de l'Argentière la Bessée

Avant de discuter des observations que nous avons faites sur les cadrans de l'église de Molines-en-Queyras, il nous semble intéressant de présenter un ensemble cadran et fresque (fig. 13), localisé à l'Argentière-la-Bessée, rue de Serre (X : 6,553 931° ; Y : 44,786 844°) à 22 km, à vol d'oiseau, de l'église de Molines. Cet ensemble est daté de 1698⁷. Les fresques sont d'un style très proche de celles de Molines (même type de motifs architecturaux en trompe l'œil, même technique à la mine de plomb), on remarque également l'association avec un cadran solaire (restauré en 1996). On notera que ce cadran est faux, ou plus exactement ne correspond pas au mur sur lequel il est implanté (-84°) alors que le calage donne -33° .



FIGURE 13 – Le cadran et la fresque de la rue de Serre à l'Argentière-la-Bessée.

7 Discussions et conclusions

Rappelons d'abord que beaucoup des raisonnements précédents présupposent qu'au moment de la réalisation des cadrans, la cure n'était pas construite, et que les restaurations successives n'ont pas altéré l'information scientifique contenue sur les cadrans. Une fois ces hypothèses énoncées, voyons ce que l'on peut dire des attributions et de la chronologie des instruments.

Tout d'abord, il apparaît que les cadrans verticaux de l'église de Molines ne sont probablement pas de œuvres de Zarbula. En effet, on constate que sur le cadran oriental, les lignes horaires ne convergent pas au pied du style polaire et, même, ne convergent pas toutes. Sur le cadran méridional, cette convergence est également peu satisfaisante et, ce qui est encore plus révélateur, l'éventail horaire du matin est presque juste, mais celui du soir est faux. Or l'emploi correct de la méthode Zarbula fait obligatoirement converger les lignes horaires et rend impossible tout désaccord entre l'éventail horaire du matin et celui du soir. En effet, les lignes horaires se tracent depuis les points de division de l'équinoxiale, jusqu'au pied du style polaire et ces points sont déterminés par un rapporteur qui n'a jamais à être déplacé, pendant toute l'opération. Il n'est donc pas pensable que le cadranier ait employé la méthode Zarbula.

7. Communication écrite de Blandine Jourdan, Direction régionale des Monuments historiques.

À partir du moment où l'on envisage que ces cadrans sont plus anciens que le XIX^e siècle, et que leur style graphique a été modifié à cette époque dans le goût de Zarbula, on peut envisager qu'ils datent, comme celui de l'Argentière, de la fin du XVII^e siècle. À cette époque, Pierre de Sainte Marie Magdeleine (1665) dans son *Traité (sic) 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 vraie déclinaison de l'aiguille, qui diffère presque en chaque pays*. À la fin du XVII^e siècle, la déclinaison magnétique était, dans ces régions, de quelques degrés vers l'Ouest ce qui est cohérent avec des erreurs de tracé des cadrans de Molines.

S'esquisse alors une hypothèse de l'existence d'un cadranier-fresquiste anonyme ayant œuvré dans ces régions à la fin du XVII^e siècle et dont le mode opératoire comprenait la détermination de l'orientation des murs de ses cadrans avec une boussole. Hélas, l'erreur de l'Argentière, beaucoup trop importante, ne s'intègre pas dans ce schéma⁸. Cette réserve ne remet pas en cause notre hypothèse chronologique, mais elle ne restera qu'une hypothèse. Ce cadranier ne faisait pas seulement des erreurs d'orientation, mais aussi de dessin ou de calcul, comme en témoignent les lignes horaires du cadran méridional. Dans cette hypothèse, le cadran de la fresque, dont il semble impossible de reconstituer le porte-ombre, correspondrait à une œuvre du même personnage, réalisé en même temps. L'hypothèse la plus raisonnable serait qu'il ait utilisé, un jour particulier, les indications erronées de son cadran méridional pour pointer sur le même mur la position de l'ombre d'une poutre verticale (élément d'un crucifix monumental par exemple) préexistante et située juste en face de la fenêtre. Si cette hypothèse est correcte, on peut conclure que le jour de réalisation de ce cadran était en été (entre fin Mars et mi-Septembre), vu les conditions d'ensoleillement du site (Fig. 4) et le fait que les heures sont indiquées jusque 5 h de l'après-midi. C'est de toute façon la période la plus favorable pour réaliser une fresque sur une église de montagne. Le but réel de ce cadran reste totalement inconnu.

À l'issue de ce compte-rendu, nous sommes conscients d'avoir jeté le doute sur certaines certitudes, sans en avoir apporté de nouvelles. La principale conclusion concerne les cadrans non signés qui ont été attribués à Zarbula sur des critères de style graphique. Nous avons vu que deux de ces cadrans, dont la paternité ne semble pas avoir été précédemment mis en cause, sont probablement plus anciens (fin du XVII^e siècle). Leur style graphique actuel (dans le *goût* de Zarbula) pose problème. Il est possible qu'il ait été introduit par Zarbula lui-même qui, peut-être (?), proposait deux types de prestations : (1) la restauration des cadrans existants, sans modification des éléments gnomoniques (ce travail pouvant être fait par temps couvert) ; (2) la création de nouveaux cadrans. Seul ce second type de travail était signé. . . mais cela n'est qu'une hypothèse.

En ce qui concerne les cadrans de l'église de Molines-en-Queyras, nous pensons probable que leur origine est à fixer à la fin du XVII^e siècle ; leur créateur serait le même que celui des fresques extérieures du chœur et de l'ensemble fresque-cadran de l'Argentière.

8. Nous avons essayé de savoir si l'importance de l'erreur à l'Argentière était liée à une anomalie magnétique locale due à une particularité géologique du sous-sol. Gérard Elie, que nous remercions très sincèrement ici, s'est aimablement chargé de cette tâche, et il a montré grâce à de nombreuses mesures, que le champ magnétique terrestre aux abords du cadran avait les mêmes caractéristiques que dans toute la région.

Remerciements

Nous remercions très sincèrement :

- Gérard Elie qui s'est très aimablement chargé de vérifier le champ magnétique terrestre local aux environs du cadran de l'Argentière.
- Blandine Jourdan, Direction régionale des Monuments historiques, qui nous a fourni de précieux éléments de chronologie sur l'ensemble de l'église et particulièrement sur les décors peints.
- Yvon Massé qui a accepté de vérifier, grâce à des outils informatiques originaux, nos hypothèses sur les défauts d'orientation des cadrans verticaux de l'église de Molines.

Références

- [1] Blanchard R. (1895) : *Les cadrans solaires : l'art populaire dans le Briançonnais*. 53 p.
- [2] Ducrot G. & Putelat P. (2003) : *Cadrans solaires traditionnels en Queyras – Briançonnais*; Éditions du Queyras, 176 p.
- [3] Gagnaire P. (2000) : *L'équerre et l'oiseau ou l'art et la manière de Zarbula — technique du cadranier Zarbula*, Cadran-Info, n° 1, 18 p. + figures.
- [4] Lalos M. (2019) : page web : « Liste cadrans solaires Zerbola dit Zarbula — version 2 — avec éléments décoratifs ».
http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/zerbola/Affiche_Liste_Zarbula_Tri.php?tri=2#
(consultée en Mai 2019).
- [5] Ugon M. (2006-2007) : *Les styles de Zarbula*, Cadran-Info, n° 14, p. 73–89 et n° 15, p. 91–104.
- [6] Ugon M. (2009) : *Le secret de St-Romain*, Cadran-Info, n° 19, p. 86–93 et n° 20, p. 95–100.



Formules pour le calcul de l'équation du temps

par Guy Grastica

L'article développé est une présentation, non exhaustive, des méthodes pour calculer l'équation du temps. Ce n'est en aucune façon une théorie sur l'équation du temps. Pour cela le lecteur pourra consulter le livre d'André Danjon [1].

Une comparaison entre les différentes méthodes est faite en fin d'article.

1 Préambule

Les formules exposées dans cet article présentent, pour beaucoup d'entre elles, un développement en série en fonction du temps. Celui-ci est exprimé en siècles juliens rapporté à l'équinoxe 2000,0. En termes plus clairs, le temps est calculé en divisant le nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} janvier 2000 à 12 heures UTC par le nombre de jour compris dans un siècle, soit 36 525. Un autre calcul fait intervenir la notion de jour julien avec l'écriture de T suivante :

$$T = \frac{JJ - 2\,451\,545,0}{36\,525}$$

JJ est le jour julien correspondant à la date du calcul.

2 451 545,0 est le jour julien correspondant au 1^{er} janvier 2000 à 12 heures UTC.

Pour de plus amples informations sur le calcul des dates juliennes, le lecteur pourra consulter le livre de Jean Meeus [3] (p. 23 à 28).

2 Formule d'André Danjon

André Danjon définit l'équation du temps [1] (p. 66 à 69) :

$$E = C + R - \tau \tag{1}$$

- C est l'équation du centre.

- R est la réduction à l'équateur.
- τ est la somme des inégalités du temps sidéral.

L'équation du centre est donnée par la formule [5] (p. 222) :

$$C = \left(2e - \frac{e^3}{4} + \frac{5}{96}e^5\right) \sin M + \left(\frac{5}{4}e^2 - \frac{11}{24}e^4\right) \sin 2M + \left(\frac{13}{12}e^3 - \frac{43}{64}e^5\right) \sin 3M + \frac{103}{96}e^4 \sin 4M + \left(\frac{1097}{960}e^5\right) \sin 5M \quad (2)$$

e est l'excentricité de l'orbite [3] (p. 63) :

$$e = 0,016\,708\,634 - 0,000\,042\,037\,T - 0,000\,000\,126\,7\,T^2 \quad (3)$$

M est l'anomalie moyenne du soleil, exprimée en degrés [3] (p. 63) :

$$M = 357,529\,11 + 35\,999,050\,29\,T - 0,000\,153\,7\,T^2 \quad (4)$$

L'équation du centre est exprimée en radians. Pour l'exprimer en minutes de temps il faut appliquer le coefficient correcteur suivant : $k = \frac{24 \times 60}{2\pi} = 229,183\,118$.

Les valeurs des différents coefficients sont données dans le tableau 1 et sont calculées pour $T = 0$ et $e = 0,016\,708\,634$. Les valeurs sont exprimées en secondes de temps.

TABLE 1
Valeurs des coefficients de l'équation du centre pour $T = 0$.

	$k_1.e$	$k_2.e^2$	$k_3.e^3$	$k_4.e^4$	$k_5.e^5$
sin M	459,520 421 s	0	-0,016 036 s	0	0,000 001 s
sin 2M	0	4,798 724 s	0	-0,000 491 s	0
sin 3M	0	0	0,069 489 s	0	-0,000 012 s
sin 4M	0	0	0	0,001 150 s	0
sin 5M	0	0	0	0	0,000 020 s

Les valeurs des différents coefficients sont données dans le tableau 2 et sont calculées pour $T = 1$ et $e = 0,016\,666\,470$. Les valeurs sont exprimées en secondes de temps.

TABLE 2
Valeurs des coefficients de l'équation du centre pour $T = 1$.

	$k_1.e$	$k_2.e^2$	$k_3.e^3$	$k_4.e^4$	$k_5.e^5$
sin M	458,360 836 s	0	-0,015 915 s	0	0,000 001 s
sin 2M	0	4,774 536 s	0	-0,000 486 s	0
sin 3M	0	0	0,068 965 s	0	-0,000 012 s
sin 4M	0	0	0	0,001 138 s	0
sin 5M	0	0	0	0	0,000 020 s

La variation, sur un siècle, de l'excentricité intervient faiblement sur l'équation du centre : -1,1596 seconde pour le terme principal.

C. Dumoulin et J-P Parisot donnent un développement de l'équation du centre jusqu'au terme de l' du 7° ordre [4] (p.183).

La **réduction à l'équateur** est donnée par C. Dumoulin et J-P Parisot [4] (p.187) :

$$R = \sum_{n=1}^{n=+\infty} \frac{(-1)^n}{n} \tan^{2n} \frac{\epsilon}{2} \sin 2n\Theta$$

Où Θ est la longitude vraie du soleil, qui est égale à la longitude moyenne du soleil plus l'équation du centre, soit : $\Theta = L + C$.

La réduction à l'équateur s'écrit donc :

$$R = \sum_{n=1}^{n=+\infty} \frac{(-1)^n}{n} \tan^{2n} \frac{\epsilon}{2} \sin 2n (L + C) \tag{5}$$

ϵ est l'obliquité de l'écliptique, exprimée en degrés [3] (p. 55) :

$$\epsilon = 23,439\,291\,1 - 0,013\,004\,17\,T - 0,000\,000\,164\,T^2 + 0,000\,000\,504\,T^3 \tag{6}$$

L est la longitude moyenne du soleil, exprimée en degrés [3] (p. 63) :

$$L = 280,466\,46 + 36\,000,769\,83\,T + 0,000\,303\,2\,T^2 \tag{7}$$

La réduction à l'équateur est exprimée en radians. Pour l'exprimer en minutes de temps il faut appliquer le coefficient correcteur suivant : $k = \frac{24 \times 60}{2\pi} = 229,183\,118$.

Les valeurs des différents coefficients sont données dans le tableau suivant. Elles sont exprimées en secondes de temps.

TABLE 3
Valeurs des coefficients de la réduction à l'équateur.

	T = 0	T = 1
ϵ	23,439 291 1°	23,426 286 8°
	$\frac{(-1)^n}{n} \tan^{2n} \frac{\epsilon}{2}$	$\frac{(-1)^n}{n} \tan^{2n} \frac{\epsilon}{2}$
sin 2(L + C)	-591,767 256 s	-591,092 149 s
sin 4(L + C)	12,733 213 s	12,704 176 s
sin 6(L + C)	-0,365 312 s	-0,364 063 s
sin 8(L + C)	0,011 791 s	0,011 737 s
sin 10(L + C)	-0,000 406 s	-0,000 404 s
sin 12(L + C)	0,000 015 s	0,000 014 s

La variation, sur un siècle, de l'obliquité intervient faiblement sur la réduction à l'équateur : 0,6751 seconde pour le terme principal.

Dans le tableau 3, seuls les termes dont le coefficient est supérieur à 10^{-6} seconde sont indiqués.

La **somme des inégalités du temps sidéral** s'écrit : $-\Delta\Psi \cos \epsilon$.

$\Delta\Psi$ est la nutation en longitude. Son développement, limité aux principaux termes, est le suivant [3] (p. 54).

$$\begin{aligned}
 \Delta\Psi = & - (17,1996 + 0,017\,42\,T) \sin \Omega \\
 & - (1,3187 + 0,000\,16\,T) \sin 2L \\
 & - 0,2274 \sin 2L_{\zeta} \\
 & + 0,2062 \sin 2\Omega \\
 & + (0,1426 - 0,000\,34\,T) \sin M \\
 & + 0,0712 \sin M_{\zeta} \\
 & - (0,0517 - 0,000\,12\,T) \sin(2L + M) \\
 & - 0,0386 \sin(2L_{\zeta} - \Omega) \\
 & - 0,0301 \sin(2L_{\zeta} + M_{\zeta}) \\
 & + 0,0217 \sin(2L - M) \\
 & - 0,0158 \sin(2L - 2L_{\zeta} + M_{\zeta}) \\
 & + 0,0129 \sin(2L - \Omega) \\
 & + 0,0123 \sin(2L_{\zeta} - M_{\zeta})
 \end{aligned} \tag{8}$$

Les coefficients sont exprimés en secondes d'angle.

Le terme $-\Delta\Psi \cos \varepsilon$ est donc exprimé en secondes d'angle. Pour l'exprimer en minutes de temps il faut appliquer le coefficient correcteur suivant : $k = \frac{24 \times 60}{360 \times 3600} = 0,001\,111$.

Les angles suivants sont exprimés en degrés [3] (p. 53 et 54) :

Longitude moyenne du soleil :

$$L = 280,4665 + 36\,000,7698\,T + 0,000\,303\,T^2$$

Longitude moyenne de la lune :

$$L_{\zeta} = 218,3164 + 481\,267,8812\,T - 0,001\,599\,T^2$$

Anomalie moyenne du soleil :

$$M = 357,5291 + 35\,999,0503\,T - 0,000\,154\,T^2$$

Anomalie moyenne de la lune :

$$M_{\zeta} = 134,9634 + 477\,198,8675\,T + 0,008\,721\,T^2$$

Longitude moyenne du nœud ascendant de l'orbite lunaire sur l'écliptique :

$$\Omega = 125,0443 - 1934,1363\,T + 0,002\,075\,T^2$$

Les valeurs des différents coefficients sont données dans le tableau suivant. Elles sont données en seconde de temps.

TABLE 4
Valeurs des coefficients de la nutation en longitude.

	$\Delta\Psi$	$-\Delta\Psi \cos \epsilon$
$\sin \Omega$	$-(1,146\ 64 + 0,001\ 161\ T)\ s$	$(1,052\ 02 + 0,001\ 066\ T)\ s$
$\sin 2L$	$-0,087\ 913\ s$	$0,080\ 659\ s$
$\sin 2L_{\zeta}$	$-0,015\ 160\ s$	$0,013\ 909\ s$
$\sin 2\Omega$	$0,013\ 747\ s$	$-0,012\ 612\ s$
$\sin M$	$0,009\ 507\ s$	$-0,008\ 722\ s$
$\sin M_{\zeta}$	$0,004\ 747\ s$	$-0,004\ 355\ s$
$\sin(2L + M)$	$-0,003\ 446\ s$	$0,003\ 162\ s$
$\sin(2L_{\zeta} - \Omega)$	$-0,002\ 573\ s$	$0,002\ 361\ s$
$\sin(2L_{\zeta} + M_{\zeta})$	$-0,002\ 006\ s$	$0,001\ 841\ s$
$\sin(2L - M)$	$0,001\ 447\ s$	$-0,001\ 327\ s$
$\sin(2L - 2L_{\zeta} + M_{\zeta})$	$-0,001\ 053\ s$	$0,000\ 966\ s$
$\sin(2L - \Omega)$	$0,000\ 859\ s$	$-0,000\ 789\ s$
$\sin(2L_{\zeta} - M_{\zeta})$	$0,000\ 820\ s$	$-0,000\ 752\ s$

La valeur $-\Delta\Psi \cos \epsilon$, calculée à l'aide de la formule (8), est exprimée en seconde d'angle. Il faudra la transformer en radians pour l'avoir dans la même unité que les formules (2) et (5).

Dans son livre en anglais, Jean Meeus donne un développement plus important des termes de la nutation en longitude [3] (p. 133).

3 Formule de Jean Meeus

Jean Meeus définit l'équation du temps comme étant la différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai [3] (p. 71). C'est ici la définition française de l'équation du temps. Dans son livre en anglais, Jean Meeus utilise la notation inverse qui correspond à la définition anglo-américaine de l'équation du temps [5] (p. 171). L'équation du temps indiquée par Jean Meeus est la suivante :

$$E = \alpha - L - \Delta\Psi \cos \epsilon + A + F \tag{9}$$

- α : est l'ascension droite apparente du soleil. Elle doit être calculée en tenant compte de la nutation et de l'aberration.
- L : est la longitude moyenne du soleil.
- $\Delta\Psi \cos \epsilon$: est la correction pour rapporter l'ascension droite apparente du soleil et la longitude moyenne du soleil à l'équinoxe moyen de la date.
- A : est la correction de l'aberration en longitude.
- F : est la correction pour la réduction au système FK5.

Les paramètres suivants sont à calculer :

- Longitude moyenne du soleil : L .

$$L = 280,466\ 456\ 7 + 36\ 000,769\ 827\ 79\ T + 0,000\ 303\ 202\ 8\ T^2 + 0,000\ 000\ 020\ 028\ T^3 - 0,000\ 000\ 006\ 536\ T^4 - 0,000\ 000\ 000\ 005\ T^5 \tag{10}$$

Dans la méthode de calcul développée par Jean Meeus, le temps est exprimé en milliers d'années juliennes. Les coefficients de la formule ci-dessus ont été modifiés pour que T soit exprimé en siècles juliens.

- Équation du centre : C.
Voir la formule (2).
- Nutation en longitude : $\Delta\Psi$.
Voir la formule (7).
- Aberration en longitude : A.
L'aberration est définie par André Danjon comme étant le rapport entre les vitesses de la Terre et de la lumière [1] (p. 101). Donc $A = v/c$.
La vitesse est définie par Jean Meeus [5] (p. 223 et 152)

$$v = \sqrt{2 \text{GS} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{2a} \right)} \quad \text{avec} : r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(M + C)} \quad (11)$$

v : vitesse de la Terre.

c : vitesse de la lumière = 299 792 458 m/s [8] (p. I., 11).

GS : constante héliocentrique de la gravitation = $1,327\,124\,4 \times 10^{20} \text{ m}^3/\text{s}^2$ [8] (p. I., 11).

a : demi-grand axe de l'orbite terrestre = 1,000 001 017 78 UA [2] (p. XXXIV).

UA : unité astronomique de distance = 149 597 870 700 m [8] (p. I., 11).

e : excentricité de l'orbite terrestre, voir formule (3).

M : anomalie moyenne du soleil, voir formule (4).

C : équation du centre, voir formule (2).

L'aberration est exprimée en radian. Valeurs particulières de l'aberration transformées en temps :

Terre au périhélie : $r = a(1 - e)$; $A = 1,389\,184$ secondes.

Terre à l'intersection du petit axe : $r = a$; $A = 1,366\,174$ secondes.

Terre à l'aphélie : $r = a(1 + e)$; $A = 1,343\,546$ secondes.

Jean Meeus donne $20,495\,52''$ comme valeur moyenne de l'aberration, soit $1,366\,368$ secondes.

Dans son livre *Astronomical algorithms*, Jean Meeus donne la formule suivante pour calculer la vitesse de la Terre autour du soleil :

$$v = 42,1219 \sqrt{\frac{1}{r} - \frac{1}{2a}}$$

avec :

v : vitesse de la Terre, exprimée en km/s.

r : distance de la Terre au soleil, exprimée en unité astronomique.

a : demi grand axe de l'orbite terrestre, exprimé en unité astronomique.

Dans la formule (11) ci-dessus, la distance de la Terre au soleil (r) et le demi grand axe (a) sont exprimés en mètre, la vitesse (v) est calculée en m/s. Si on exprime les distances en unité astronomique et que l'on calcule la vitesse en km/s la formule devient :

$$v = \sqrt{2 \frac{GS}{UA} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{2a} \right)}$$

avec :

$$GS = 1,327\,124\,4 \times 10^{11} \text{ km}^3/\text{s}^2.$$

$$UA = 1,495\,978\,707 \times 10^8 \text{ km}.$$

On obtient :

$$v = 42,121\,915 \sqrt{\frac{1}{r} - \frac{1}{2a}} \text{ km/s}$$

- Obliquité : ε .
Voir la formule (6).
- Nutation en obliquité : $\Delta\varepsilon$.
Elle est donnée par Jean Meeus [3] (p. 54), les coefficients sont exprimés en secondes d'angle.

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon = & + (9,2025 + 0,00089 T) \cos \Omega \\ & + (0,5736 - 0,00031 T) \cos 2L \\ & + 0,0977 \cos 2L_{\zeta} \\ & - 0,0895 \cos \Omega \\ & + 0,0224 \cos(2L + M) \\ & + 0,0200 \cos(2L_{\zeta} - \Omega) \\ & + 0,0129 \cos(2L_{\zeta} + M_{\zeta}) \\ & - 0,0095 \cos(2L - M) \\ & - 0,0070 \cos(2L - \Omega) \end{aligned} \tag{12}$$

Dans son livre en anglais, Jean Meeus donne un développement plus important des termes de la nutation en obliquité [3] (p. 133).

- Correction FK5 :
Elle est donnée par Jean Meeus [3] (p.71).

$$F = 0,090\,33'' \text{ soit } 0,006\,022 \text{ s}.$$

La méthode décrite par Jean Meeus est la suivante :

1. Calculer la longitude moyenne du soleil : L à l'aide de la formule (10).
2. Calculer l'équation du centre : C à l'aide de la formule (2).
3. Calculer la longitude vraie du soleil : $\Theta = L + C$.
4. Calculer la nutation en longitude : $\Delta\Psi$ à l'aide de la formule (8).
5. Calculer l'aberration en longitude : A à l'aide des formules (11).
6. Calculer la longitude apparente du soleil : $L_a = \Theta + \Delta\Psi - A$.
7. Calculer l'obliquité : ε à l'aide de la formule (6).

8. Calculer la nutation en obliquité : $\Delta\Psi$ à l'aide de la formule (12).
9. Calculer l'obliquité apparente : $\varepsilon_a = \varepsilon + \Delta\varepsilon$.
10. Calculer l'ascension droite apparente du soleil.
Ce calcul est indiqué [3] (p. 64) : $\tan \alpha = \cos \varepsilon_a \tan L_a$ d'où $\alpha = \arctan [\cos \varepsilon_a \tan L_a]$.
11. Calculer $\Delta\Psi \cos \varepsilon$.
12. Calculer la correction FK5.
13. Calculer l'équation du temps :

$$E = \alpha - L - \Delta\Psi \cos \varepsilon + A + F$$

Les différents paramètres calculés sont exprimés avec des unités différentes : $L, \Theta, L_a, \varepsilon, \varepsilon_a$ et α sont en degrés ; C et A sont en radians ; $\Delta\Psi, \Delta\Psi \cos \varepsilon, \Delta\varepsilon$ et F sont en secondes d'angle. Dans la formule (8) il faudra mettre tous les paramètres dans la même unité.

4 Formule de Pierre Bretagnon

L'équation du temps peut s'écrire uniquement en fonction de l'anomalie moyenne. La formule suivante est de Pierre Bretagnon. Elle est indiquée par Denis Savoie [6] (p. 460) et dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes [7] (p. 43). Les coefficients sont exprimés en minutes de temps.

$$\begin{aligned} E = & 7,362 \sin M - 0,144 \cos M + 8,955 \sin 2M + 4,302 \cos 2M + 0,288 \sin 3M \\ & + 0,133 \cos 3M + 0,131 \sin 4M + 0,167 \cos 4M + 0,009 \sin 5M + 0,011 \cos 5M \\ & + 0,001 \sin 6M + 0,006 \cos 6M - 0,258 T \sin 2M + 0,533 T \cos 2M \end{aligned} \quad (13)$$

Dans la formule originale, le temps est exprimé en années juliennes. Les coefficients de la formule (13) ont été modifiés pour que T soit exprimé en siècles juliens.

5 Formule simplifiée

Si une grande précision n'est pas requise, on peut calculer une formule simplifiée de l'équation du temps. Pour cela on part de l'équation d'André Danjon dans laquelle on ne garde que les deux premiers termes de l'équation du centre et de la réduction à l'équateur, soit :

$$\begin{aligned} C &= 2e \sin M + 1,25 e^2 \sin 2M \\ R &= -\tan^2 \frac{\varepsilon}{2} \sin 2(L + C) + 0,5 \tan^4 \frac{\varepsilon}{2} \sin 4(L + C) \end{aligned}$$

En appliquant dans R la formule d'addition de la fonction $\sin(a + b)$ on a :

$$R = -\tan^2 \frac{\varepsilon}{2} (\sin 2L \cos 2C + \sin 2C \cos 2L) + 0,5 \tan^4 \frac{\varepsilon}{2} (\sin 4L \cos 4C + \sin 4C \cos 4L)$$

C étant petit (inférieur à 2°), on peut écrire :

- $\cos 2C = 1$ et $\cos 4C = 1$;
- $\sin 2C = 2C = 4e \sin M$;

— $\sin 4C = 4C = 8e \sin M$.

– La réduction à l'équateur s'écrit donc :

$$R = -\tan^2 \frac{\varepsilon}{2} (\sin 2L + 4e \sin M \cos 2L) + 0,5 \tan^4 \frac{\varepsilon}{2} (\sin 4L + 8e \sin M \cos 4L)$$

L'équation du temps s'écrit :

$$\begin{aligned} E = 2e \sin M + 1,25e^2 \sin 2M - \tan^2 \frac{\varepsilon}{2} \sin 2L + 0,5 \tan^4 \frac{\varepsilon}{2} \sin 4L \\ - 4e \tan^2 \frac{\varepsilon}{2} \sin M \cos 2L + 4e \tan^4 \frac{\varepsilon}{2} \sin M \cos 4L \end{aligned} \quad (14)$$

Les coefficients des 4 premiers termes sont indiqués dans les tableaux (1) et (3). Les coefficients des termes $-4e \tan^2 \frac{\varepsilon}{2}$ et $4e \tan^4 \frac{\varepsilon}{2}$ valent respectivement $-39,6978$ secondes et $1,7084$ secondes. En négligeant ce dernier terme on retrouve la formule indiquée par C. Dumoulin et J-P Parisot [4] (p. 188). Si en plus on pose $y = \tan^2 \frac{\varepsilon}{2}$ et que l'on classe les termes dans l'ordre décroissant de leur importance on obtient :

$$E = -y \sin 2L + 2e \sin M - 4ey \sin M \cos 2L + 0,5y \sin 4L + 1,25e^2 \sin 2M$$

Cette formule est indiquée par J. Meeus [3] (p. 72).

On prendra les valeurs suivantes pour les différents paramètres de l'équation du temps réduite :

- Excentricité, formule (3) simplifiée : $e = 0,016\,708\,6 - 0,000\,042\,T$;
- Obliquité, formule (6) simplifiée : $\varepsilon = 23,4393 - 0,013\,T$;
- Anomalie moyenne, formule (4) simplifiée : $M = 357,5291 + 35\,999,0503\,T$;
- Longitude moyenne, formule (7) simplifiée : $L = 280,4665 + 36\,000,7698\,T$.

La formule (14) est exprimée en radians. Pour avoir E en minutes de temps il faut multiplier la formule (14) par 229.

6 Comparaison

Pour comparer la précision des différentes formules présentées, il faut avoir un étalon de mesure. Pour cela on dispose de l'outil *Miriade* développé par l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (IMCCE). Il permet de connaître, entre autres, l'heure de passage du soleil au méridien d'un lieu. En faisant le calcul avec le méridien de Greenwich, il suffit de retirer 12 heures au résultat obtenu pour avoir la valeur de l'équation du temps.

Pour cela il faut faire une requête, via Internet, vers l'outil *Miriade* en renseignant un certain nombre de paramètres dont la longitude (ici zéro), la date de début et le nombre de dates à calculer (les calculs sont demandés sur une année civile). *Miriade* renvoi les heures de lever et de coucher du soleil avec son azimut, l'heure de passage du soleil au méridien avec sa hauteur et les heures des aubes et crépuscules civils, nautiques et astronomiques. Ces résultats sont mis dans un fichier Excel d'où en sera extraite l'heure de passage au méridien et par conséquent l'équation du temps à midi de chaque jour.

La comparaison est faite sur la période 2000 à 2024 (Miriade permet de faire les calculs entre le 01/01/1951 et le 31/12/2024). Pour éviter des effets de seuil dans les courbes, les calculs sont demandés avec une précision de 0,001 seconde.

L'équation du temps est calculée à 12 heures dans chacune des formules présentées.

Les graphiques suivants montrent les écarts obtenus avec les différentes formules énoncées.

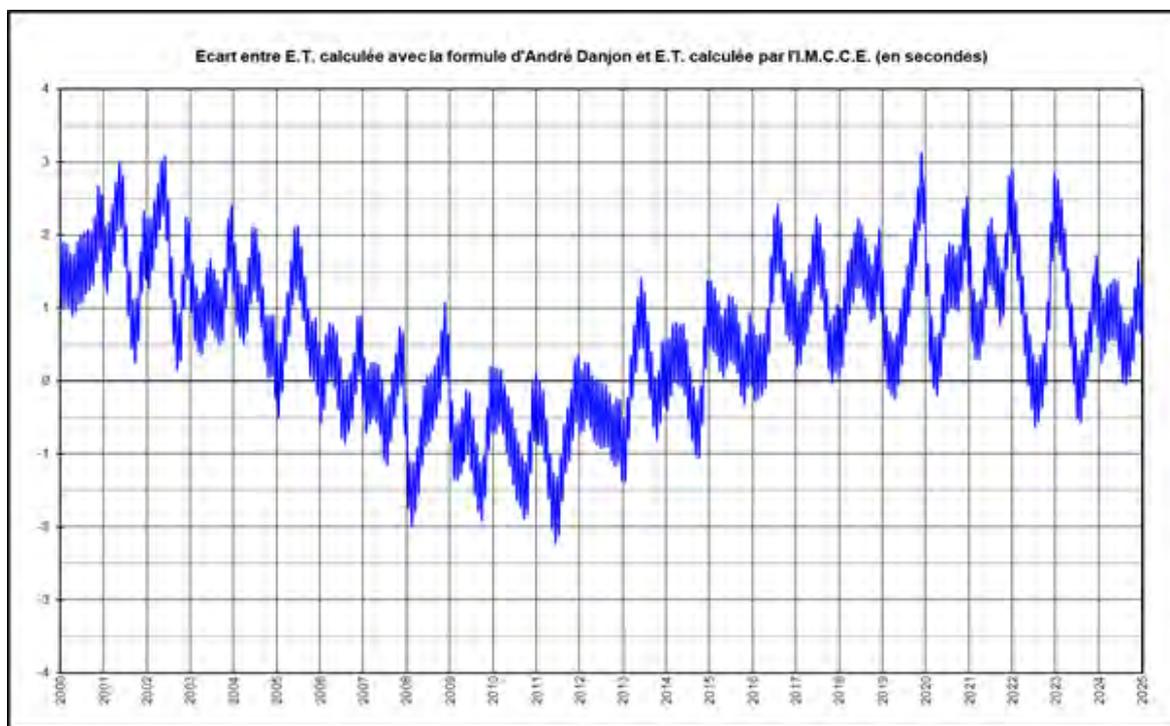


FIGURE 1 – Écart entre la formule d'André Danjon et le calcul réalisé avec Miriade.

On peut évaluer les quatre formules entre elles sur deux critères :

- L'écart absolu moyen ;
- L'amplitude entre les deux valeurs extrêmes.

Le tableau ci-dessous résume cette évaluation.

TABLE 5
Évaluation des écarts sur l'équation du temps.

	Écart absolu moyen	Amplitude maxi
Formule d'André Danjon	0,959 seconde	5,364 secondes
Formule de Jean Meeus	0,596 seconde	3,815 secondes
Formule de Pierre Bretagnon	0,782 seconde	5,694 secondes
Formule simplifiée	0,804 seconde	5,122 secondes

L'écart absolu moyen est la moyenne de la valeur absolue de chaque écart. Prendre la moyenne des écarts n'a pas de sens car, avec des valeurs positives et négatives, cette moyenne est très proche de zéro.

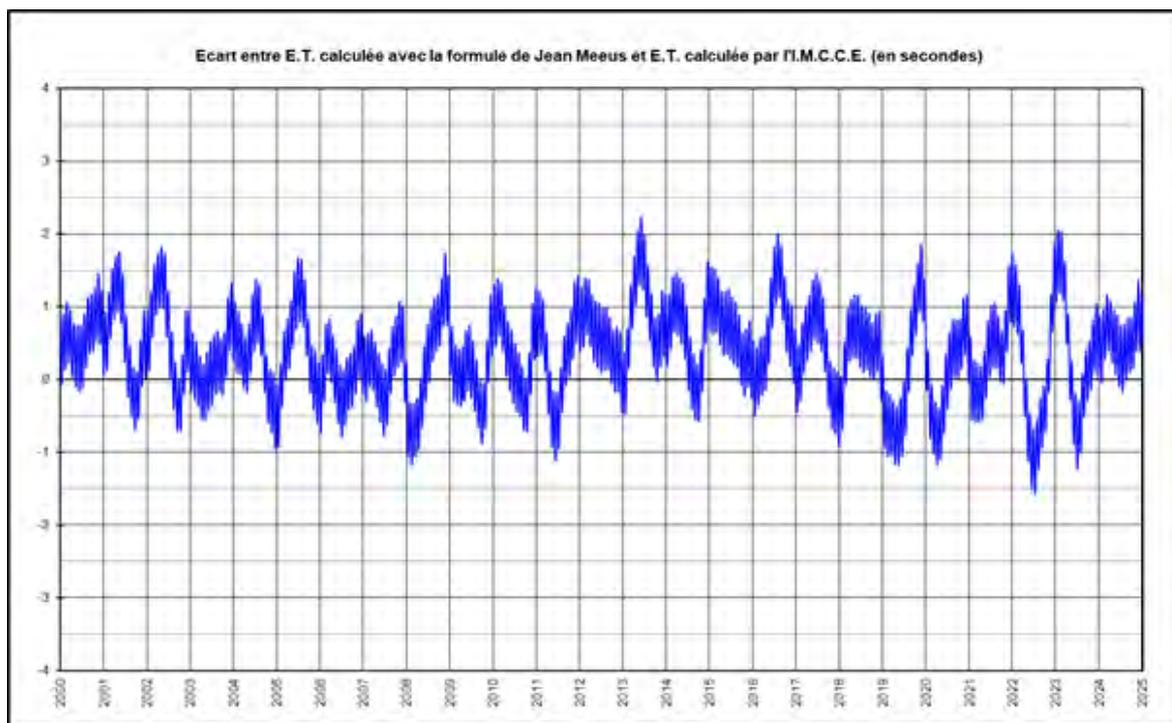


FIGURE 2 – Écart entre la formule de Jean Meeus et le calcul réalisé avec Miriade.

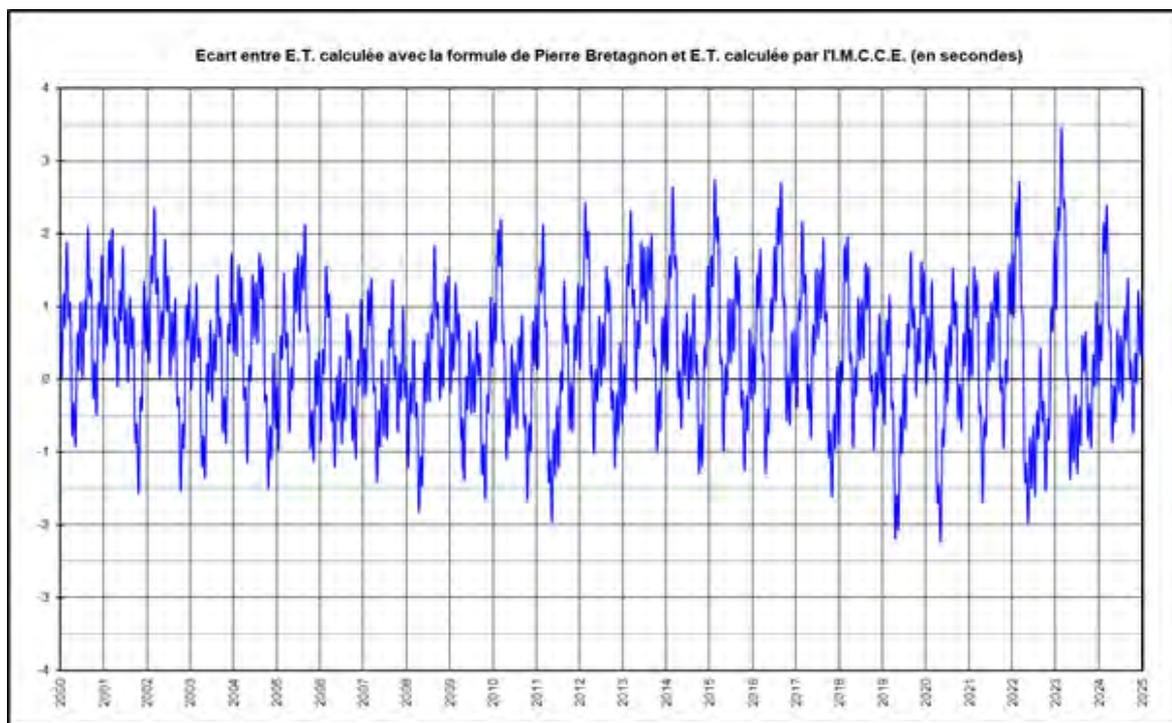


FIGURE 3 – Écart entre la formule de Pierre Bretagnon et le calcul réalisé avec Miriade.

On peut évaluer l'erreur relative en faisant le ratio entre l'amplitude maximum des écarts absolus et l'amplitude maximum de l'équation du temps. Pour la formule de Jean Meeus l'erreur relative est de 0,2%. Pour les autres formules l'erreur relative oscille autour de 0,3%.

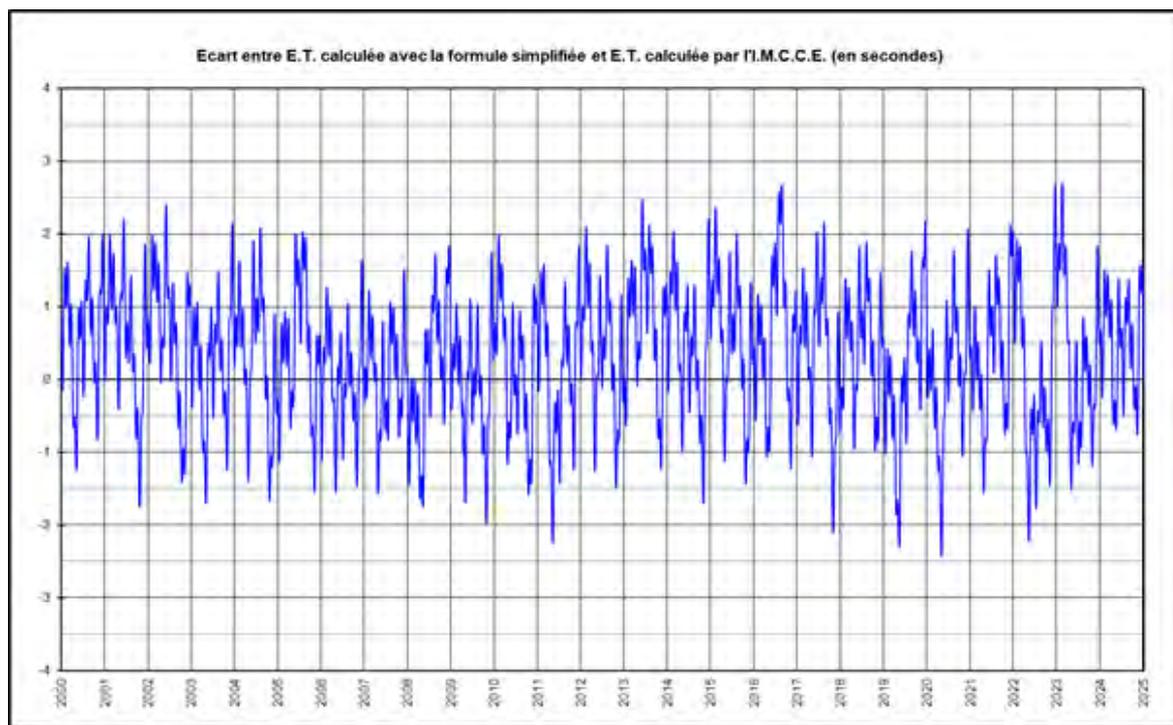


FIGURE 4 – Écart entre la formule simplifiée et le calcul réalisé avec Miriade.

On voit aisément que la formule de Jean Meeus est celle qui présente les meilleurs résultats. Quant à la formule simplifiée, elle présente des résultats similaires à ceux des autres formules qui sont plus complexes.

7 Conclusion

Force est de constater que les écarts en temps ne sont pas négligeables si on désire une grande précision. Dans les *Connaissances des temps* 2019, l'instant de passage du soleil au méridien de Greenwich est donné avec une précision de 0,01 seconde [8] (p. II. 26 à II. 29).

Il n'est donc pas utopique d'attendre un écart maximal de 0,1 seconde avec la formule de Jean Meeus qui est la plus précise dans les calculs développés. À l'inverse on peut se dire qu'une erreur relative de 0,2%, voire 0,3%, est minime et n'impacte pas les résultats d'une façon significative.

Nous avons ici deux méthodes de calculs différentes :

- D'un côté des formules faisant intervenir anomalie et longitude moyennes ;
- De l'autre un calcul basé sur l'heure de passage du soleil au méridien origine.

Ces deux méthodes sont-elles équivalentes ? Ou pas ! La question est posée.

8 Épilogue

Les formules énumérées dans cet article peuvent être calculées à l'aide d'un tableur comme par exemple Excel. Pour vérifier l'exactitude d'un cadran solaire on peut se passer des fastidieux calculs de l'équation du temps et de la correction en longitude. L'IMCCE a développé un outil

très simple d'utilisation permettant de connaître, entre autres, l'heure de passage du soleil au méridien d'un lieu : <https://ssp.imcce.fr/forms/visibility>. Il suffit de renseigner le lieu, la date, le nombre de jours à calculer et de choisir le soleil dans la liste des astres proposés. En retour nous avons les paramètres des lever, passage au méridien et coucher du soleil. Par défaut les heures sont données avec une précision d'une minute, mais on peut demander à les avoir avec une précision d'une seconde.

Date (UTC)	Lever		Méridien		Coucher	
	heure	azimut	heure	hauteur	heure	azimut
Soleil						
2019-08-20	4:52:11	-109°59'20"	11:54:56	53°38'38"	18:56:42	109°41'04"
2019-08-21	4:53:36	-109°28'06"	11:54:41	53°18'46"	18:54:49	109°09'46"
2019-08-22	4:55:00	-108°56'38"	11:54:26	52°58'43"	18:52:54	108°38'14"
2019-08-23	4:56:25	-108°24'55"	11:54:11	52°38'29"	18:50:59	108°06'28"
2019-08-24	4:57:49	-107°52'59"	11:53:55	52°18'04"	18:49:02	107°34'28"
2019-08-25	4:59:14	-107°20'49"	11:53:38	51°57'28"	18:47:05	107°02'15"
2019-08-26	5:00:38	-106°48'27"	11:53:22	51°36'42"	18:45:07	106°29'50"

FIGURE 5 – Copie d'écran de l'outil développé par l'IMMCE : <https://ssp.imcce.fr/forms/visibility>.

La recopie d'écran (cf. fig. 5) est le résultat d'une demande faite pour Versailles pour la période allant du 20 au 26 août 2019. Les heures sont données en UTC. Il ne faut pas oublier d'ajouter une heure en horaire d'hiver et deux heures en horaire d'été.

Dans l'exemple ci-dessus le soleil passe au méridien de Versailles à 13 h 54 min 10 s (heure d'été) le 23 août. Le décalage de notre montre avec le midi vrai est donc de 1 h 54 min. Quand le cadran solaire indiquera 16 h 00, il sera 17 h 54 à la montre, si le cadran est juste.

Références

- [1] André Danjon (1959) : *Astronomie générale*, Albert Blanchard, réédition de 1980.
- [2] Bureau des Longitudes (1984) : *Connaissances des temps — Éphémérides astronomiques*, Gauthier-Villars.
- [3] Jean Meeus (1986) : *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs*, Société Astronomique de France, réédition 2014.
- [4] Christian Dumoulin et Jean-Paul Parisot (1987) : *Astronomie pratique et informatique*, Masson.

- [5] Jean Meeus (1991) : *Astronomical algorithms*, Willmann-Bell Inc. (en anglais).
- [6] Denis Savoie (2007) : *La gnomonique*, Les Belles Lettres.
- [7] Annuaire du bureau des longitudes (2015) : *Guide de données astronomiques*, EDP sciences.
- [8] Bureau des Longitudes — Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides (2019) : *Connaissances des temps — Éphémérides astronomiques*, EDP sciences.



Calcul de la durée du jour vrai

par Guy Grasic

Pour connaître la durée du jour vrai il faut calculer l'écart entre le jour vrai et le jour moyen et y ajouter 24 heures.

Le calcul de cet écart peut être fait de deux façons :

- 1. Calculer l'équation du temps à 0 h TU pour deux jours consécutifs : E_1 et E_2 , et ensuite faire la différence $E_2 - E_1$;*
- 2. Calculer la dérivée de l'équation du temps à 12 TU du jour en question*

C'est la deuxième méthode qui est décrite dans cet article.

1 Introduction

Les calculs de la dérivée de l'équation du temps se feront sur les formules d'André Danjon, Jean Meeus et Pierre Bretagnon. Le calcul de la dérivée de la formule simplifiée n'a pas beaucoup d'intérêt. Les paramètres tels que l'excentricité, l'obliquité, l'anomalie moyenne et la longitude moyenne ont été présentés dans l'article *Formules pour le calcul de l'équation du temps*.

2 Formule d'André Danjon

La formule de l'équation du temps d'André Danjon s'écrit :

$$E = C + R - \Delta\Psi \cos \varepsilon$$

Il faut donc calculer la dérivée :

$$E' = C' + R' - (\Delta\Psi)' \cos \varepsilon$$

2.1 Calcul de la dérivée de l'équation du centre

La variable de dérivation est l'anomalie moyenne M. La dérivée de l'équation du centre s'écrit donc :

$$C' = \left(2e - \frac{e^3}{4} + \frac{5}{96}e^5\right) \cos M + \left(\frac{5}{2}e^2 - \frac{11}{12}e^4\right) \cos 2M + \left(\frac{13}{4}e^3 - \frac{129}{64}e^5\right) \cos 3M + \frac{103}{24}e^4 \cos 4M + \frac{1097}{192}e^5 \cos 5M \quad (1)$$

Pour exprimer C' en secondes de temps il faut calculer le coefficient à appliquer à la formule (1).

La période de C' est l'année anomalistique dont la durée est de 365,259 636 pour l'année 2000 (théorie VSOP87 de Pierre Bretagnon et Gérard Francou).

Il est possible de calculer cette durée d'après le terme en T de l'anomalie moyenne :

$$\text{Année anomalistique} = \frac{360 \times 36525}{35\,999,050\,29} = 365,259\,636$$

On trouve bien la même valeur que la théorie VSOP87.

Pour exprimer C' en secondes de temps il faut ramener sa période, l'année anomalistique, à celle de l'année civile de 365,25 jours. Il faut donc multiplier C' par : $\frac{365,25}{365,259636}$.

Il faut ensuite transformer la valeur trouvée en secondes de temps en multipliant par $\frac{24 \times 3600}{365,25}$.

Le coefficient à appliquer à la formule (1) pour exprimer C' en seconde de temps est : $k = \frac{86\,400}{365,259\,636} = 236,544\,068$.

Les valeurs des différents coefficients sont données dans le tableau suivant. Elles sont calculées pour $T = 0$ et $e = 0,016\,708\,634$. Les valeurs sont exprimées en secondes de temps.

TABLE 1
Valeur des coefficients de la dérivée de l'équation du centre.

	k_1e	k_2e^2	k_3e^3	$k_4.e^4$
cos M	7,904 648 s	0	-0,000 276 s	0
cos 2M	0	0,165 095 s	0	-0,000 017 s
cos 3M	0	0	0,003 586 s	0
cos 4M	0	0	0	0,000 079 s

Les valeurs extrêmes de la dérivée de l'équation du centre sont :

- $C'_M = 0,034\,129\,441$, valeur maximale calculée pour $M = 0^\circ$;
- $C'_m = -0,032\,733\,025$, valeur minimale calculée pour $M = 180^\circ$.

2.2 Calcul de la dérivée de la réduction à l'équateur

La variable de dérivation est l'anomalie moyenne L . Dans la formule de réduction à l'équateur intervient l'équation du centre. Il faut donc calculer la dérivée du terme $\sin 2n(L + C)$. On sait que la dérivée de la fonction $\sin u$ est $u' \cos u$. Dans le cas de la réduction à l'équateur on a : $u = 2n(L + C)$ et $u' = 2n(1 + C')$. La dérivée R' s'écrit donc :

$$R = \sum_{n=1}^{n=+\infty} \frac{(-1)^n}{n} \tan^{2n} \frac{\varepsilon}{2} \cdot 2n (1 + C') \cos 2n (L + C)$$

Après simplification on obtient :

$$R' = 2 (1 + C') \sum_{n=1}^{n=+\infty} (-1)^n \tan^{2n} \frac{\varepsilon}{2} \cos 2n (L + C) \quad (2)$$

Pour exprimer R' en secondes de temps il faut calculer le coefficient à appliquer à la formule (2). La période de R' est l'année tropique dont la durée est de 365,242 190 pour l'année 2000 (théorie VSOP87 de Pierre Bretagnon et Gérard Francou). Il est possible de calculer cette durée d'après le terme en T de la longitude moyenne :

$$\text{année tropique} = \frac{360 \times 36\,525}{36\,000,769\,83} = 365,242\,190$$

On trouve bien la même valeur que la théorie VSOP87. Pour exprimer R' en secondes de temps il faut ramener sa période, l'année tropique, à celle de l'année civile de 365,25 jours. Il faut donc multiplier R' par : $\frac{365,25}{365,242\,190}$. Il faut ensuite transformer la valeur trouvée en secondes de temps en multipliant par $\frac{24 \times 3600}{365,25}$. Le coefficient à appliquer à la formule (2) pour exprimer R' en seconde de temps est :

$$k = \frac{86400}{365,242\,190} = 236,555\,366$$

Dans le calcul de R' intervient C' dont la période est l'année anomalistique. Pour un calcul rigoureux de R' toutes les variables (L et C') doivent avoir la même période : l'année tropique. Il faut donc ramener la période de C' à l'année tropique en multipliant C' par la valeur :

$$\frac{365,242\,190}{365,259\,636} = 0,999\,952\,237$$

Les valeurs extrêmes de C' ainsi modifiées sont $C'_M = 0,034\,127\,811$ et $C'_m = -0,032\,731\,462$.

Les valeurs des différents coefficients sont données dans le tableau (2). Elles sont calculées pour $T = 0$ et $\varepsilon = 23,439\,291\,1^\circ$, et pour les 2 valeurs extrêmes de C' calculées précédemment. Les valeurs des coefficients sont exprimées en secondes de temps.

TABLE 2
Valeur des coefficients de la dérivée de la réduction à l'équateur.

	$2(1 + C'_m) (-1)^n \tan^{2n} \frac{\varepsilon}{2}$	$2(1 + C'_M) (-1)^n \tan^{2n} \frac{\varepsilon}{2}$
cos 2(L + C)	-19,693 682 s	-21,054 943 s
cos 4(L + C)	0,847 508 s	0,906 089 s
cos 6(L + C)	-0,036 472 s	-0,038 993 s
cos 8(L + C)	0,001 570 s	0,001 678 s
cos 10(L + C)	-0,000 068 s	-0,000 072 s

2.3 Calcul de la dérivée de la nutation en longitude

Pour le calcul des coefficients des termes de la nutation il faut tenir compte de la période de ceux-ci et de les corriger en conséquence.

- Le terme faisant intervenir la longitude du nœud ascendant de la lune a une période de 18,612 96 ans.
- Les termes faisant intervenir l'anomalie et la longitude moyennes de la lune ont une période de respectivement 0,075 440 2 an et 0,074 802 4 an.

L'influence du terme relatif à la longitude du nœud ascendant de la lune sera 18,6 fois moindre dans le calcul de $\Delta\Psi'$ que dans celui de $\Delta\Psi$.

À l'inverse, l'influence du terme relatif à l'anomalie moyenne de la lune sera 13,25 fois plus importante dans le calcul de $\Delta\Psi'$ que dans celui de $\Delta\Psi$. De même pour l'influence du terme relatif à longitude moyenne de la lune qui sera 13,37 fois plus importante.

Pour les termes faisant intervenir deux paramètres, il faut ramener ces paramètres à la même périodicité pour ensuite calculer la dérivée.

Ces termes s'écrivent : $y = \sin(a + b) = \sin(k_1P + k_2P)$.

Leurs dérivées s'écrivent : $y' = (k_1 + k_2) \cos(a + b)$.

Il est possible de calculer la dérivée de $\Delta\Psi$ en gardant les termes énumérés ci-dessous :

$$\begin{aligned}
 (\Delta\Psi)' = 10^{-6} [& \\
 & - 29,4768 \cos 2L_{\zeta} \\
 & - 12,7867 \cos 2L \\
 & - 5,8361 \cos (2L_{\zeta} + M_{\zeta}) \\
 & - 4,9935 \cos (2L_{\zeta} - \Omega) \\
 & + 4,5756 \cos M_{\zeta} \\
 & - 4,4800 \cos \Omega \\
 &]
 \end{aligned}$$

Les valeurs des différents termes ont été calculées en exprimant en radian les coefficients dans le développement de $\Delta\Psi$ (formule (8) de l'article précédent) et la dérivée $\Delta\Psi'$ a été calculée. Ensuite les coefficients des différents termes de $\Delta\Psi'$ ont été ramenées à une période de 365,25 jours.

La correction due à la nutation est $-(\Delta\Psi)' \cos \varepsilon$.

Le coefficient pour avoir la correction due à la nutation exprimée en seconde est :

$$k = \frac{24 \times 3600}{365,25} = 236,550\ 308$$

Les valeurs des principaux termes de la dérivée de la correction due à nutation sont données dans le tableau suivant. On voit la prépondérance de la longitude moyenne de la lune et le faible impact de la longitude du nœud ascendant de la lune.

TABLE 3
Valeur des coefficients de la dérivée de la nutation en longitude

$2L_{\zeta}$	$2L$	$2L_{\zeta} + M_{\zeta}$	$2L_{\zeta} - \Omega$	M_{ζ}	Ω
6,397 ms	2,775 ms	1,267 ms	1,084 ms	-0,993 ms	0,972 ms

2.4 Bilan

Le calcul de la durée du jour n'a pas besoin d'être d'une grande précision. Un calcul avec une précision de 0,01 seconde est suffisant. On peut donc négliger le calcul de $(\Delta\Psi)' \cos \varepsilon$. De même on peut négliger certains termes dans les calculs de C' et de R' en gardant seulement les deux premiers termes dans C' et les trois premiers termes dans R' .

Pour simplifier les calculs on pourra considérer que C' et R' ont la même période (365,25 jours) et donc leur appliquer le même coefficient pour les calculer en secondes de temps. L'erreur faite ainsi est inférieure à 0,001 seconde. Le coefficient, à appliquer aux formules (1) et (2), est :

$$k = \frac{24 \times 3600}{365,25} = 236,550$$

3 Formule de Jean Meeus

La formule de l'équation du temps de Jean Meeus s'écrit :

$$E = \alpha - L - \Delta\Psi \cos \varepsilon + A + F$$

Il faut donc calculer la dérivée :

$$E' = \alpha' - L' - (\Delta\Psi)' \cos \varepsilon + A' + F'$$

La variable de dérivation est la longitude moyenne L , donc $L' = 1$. La quantité $(\Delta\Psi)' \cos \varepsilon$ a été calculée dans le chapitre précédent. F est la réduction au système FK5 sa valeur est une constante, donc $F' = 0$. Il reste à calculer α' dérivée de l'ascension droite et A' dérivée de l'aberration.

3.1 Calcul de la dérivée de l'ascension droite

$$\alpha = \arctan(\cos \varepsilon \tan \Theta) = \arctan[\cos \varepsilon \tan(L + C)]$$

Pour simplifier les calculs on calculera α' à partir de la longitude vraie et non pas à partir de la longitude apparente.

Pour calculer α' on utilisera les formules de dérivation suivantes :

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan u & \alpha' &= \frac{u'}{1+u^2} \\ y &= \tan v & y' &= \frac{v'}{\cos^2 v} \end{aligned}$$

On a donc :

$$\begin{aligned} v &= L + C \quad \text{d'où } v' = 1 + C' \quad \text{et } y' = \frac{1 + C'}{\cos^2(L + C)} \\ u &= \cos \varepsilon \tan v = y \cos \varepsilon \quad \text{et } u' = y' \cos \varepsilon \end{aligned}$$

D'où :

$$\begin{aligned} \alpha' &= \frac{u'}{1+u^2} = \frac{\frac{1+C'}{\cos^2(L+C)} \cos \varepsilon}{1 + \cos^2 \varepsilon \tan^2(L+C)} \\ \alpha' &= \frac{(1+C') \cos \varepsilon}{\cos^2(L+C)} \frac{1}{1 + \cos^2 \varepsilon \frac{\sin^2(L+C)}{\cos^2(L+C)}} \\ \alpha' &= \frac{(1+C') \cos \varepsilon}{\cos^2(L+C)} \frac{\cos^2(L+C)}{\cos^2(L+C) + \cos^2 \varepsilon \sin^2(L+C)} \\ \alpha' &= \frac{(1+C') \cos \varepsilon}{\cos^2(L+C) + \cos^2 \varepsilon \sin^2(L+C)} \end{aligned}$$

3.2 Calcul de la dérivée de l'aberration

L'aberration peut être écrite sous la forme approximative suivante :

$$A = A_0 + A_1 \sin t$$

avec $A_0 = 1,3662$ s et $A_1 = 0,0228$ s. La dérivée devient alors : $A' = A_1 \cos t$.

Dans le cas ci-dessus A_1 est exprimé en secondes de temps. Il faut transformer A_1 en radians, puis calculer et transformer A' en seconde de temps.

Le coefficient correcteur à appliquer pour que A' soit exprimé en seconde de temps est :

$$k = \frac{2\pi}{86\,400} \frac{86\,400}{365,259\,636} = \frac{2\pi}{365,259\,636} = 0,017\,20$$

Les valeurs de la correction due à l'aberration varient entre $-0,4$ ms et $+0,4$ ms.

3.3 Bilan

Si on désire calculer la durée du jour avec une précision de 0,01 seconde on peut négliger la dérivée de l'aberration et le calcul de $(\Delta\Psi)' \cos \varepsilon$. La dérivée de l'équation du temps s'écrit donc :

$$E' = \frac{(1+C') \cos \varepsilon}{\cos^2(L+C) + \cos^2 \varepsilon \sin^2(L+C)} - 1 \quad (3)$$

La variable de dérivation est la longitude moyenne dont la période est l'année tropique. Dans le calcul de E' intervient C' dont la période est l'année anomalistique. Il faudra ramener la période de C' à l'année tropique comme cela a été fait dans la formule d'André Danjon avec la réduction à l'équateur.

Pour exprimer E' en secondes de temps on appliquera à la formule (3) le coefficient $k = 236,555\,366$.

4 Formule de Pierre Bretagnon

Dans la formule de l'équation du temps de Pierre Bretagnon les coefficients des différents termes sont exprimés en minutes. Avant de calculer la dérivée il faut transformer ces coefficients en radians. Après calcul de la dérivée il faut transformer le résultat en secondes. On peut calculer la dérivée avec la formule initiale et appliquer ensuite un coefficient qui regroupe les deux transformations. La variable de dérivation est l'anomalie moyenne, la période de E' est l'année anomalistique. Le coefficient est donc :

$$k = \frac{2\pi}{1440} \frac{86\,400}{365,259\,636} = \frac{120\pi}{365,259\,636} = 1,032\,118\,20 \approx 1,032\,12$$

La dérivée de l'équation du temps, exprimée en secondes, s'écrit donc :

$$\begin{aligned} E' = 1,032\,12 [& 7,362 \cos M + 0,144 \sin M + 17,910 \cos 2M - 8,604 \sin 2M \\ & + 0,864 \cos 3M - 0,399 \sin 3M + 0,524 \cos 4M - 0,668 \sin 4M \\ & + 0,045 \cos 5M - 0,055 \sin 5M + 0,006 \cos 6M - 0,036 \sin 6M \\ & - 0,516 T \cos 2M - 1,066 T \sin 2M] \end{aligned} \quad (4)$$

Le temps T est exprimé en siècle juliens.

5 Conclusion

La dérivée de l'équation du temps permet de connaître l'écart entre les durées du jour vrai et du jour moyen. La figure 1 donne cet écart pour l'année 2019.

La durée du jour vrai est égale à 24 h 0 m 0 s lorsque la dérivée de l'équation du temps est nulle. En 2019 cela arrive les 11 février, 14 mai, 26 juillet et 3 novembre.

On voit sur la figure 1 que la dérivée de l'équation du temps (E') a deux minimums et deux maximums. Cela correspond aux valeurs extrêmes de la durée du jour vraie (DJ). Ces quatre instants se produisent aux dates suivantes :

- Le 27 mars : $E' = -18,1$ s et DJ = 23 h 59 m 41,9 s ;
- Le 20 juin : $E' = +13,1$ s et DJ = 24 h 00 m 13,1 s ;
- Le 17 septembre : $E' = -21,4$ s et DJ = 23 h 59 m 38,6 s ;
- Le 23 décembre : $E' = +29,8$ s et DJ = 24 h 00 m 29,8 s.

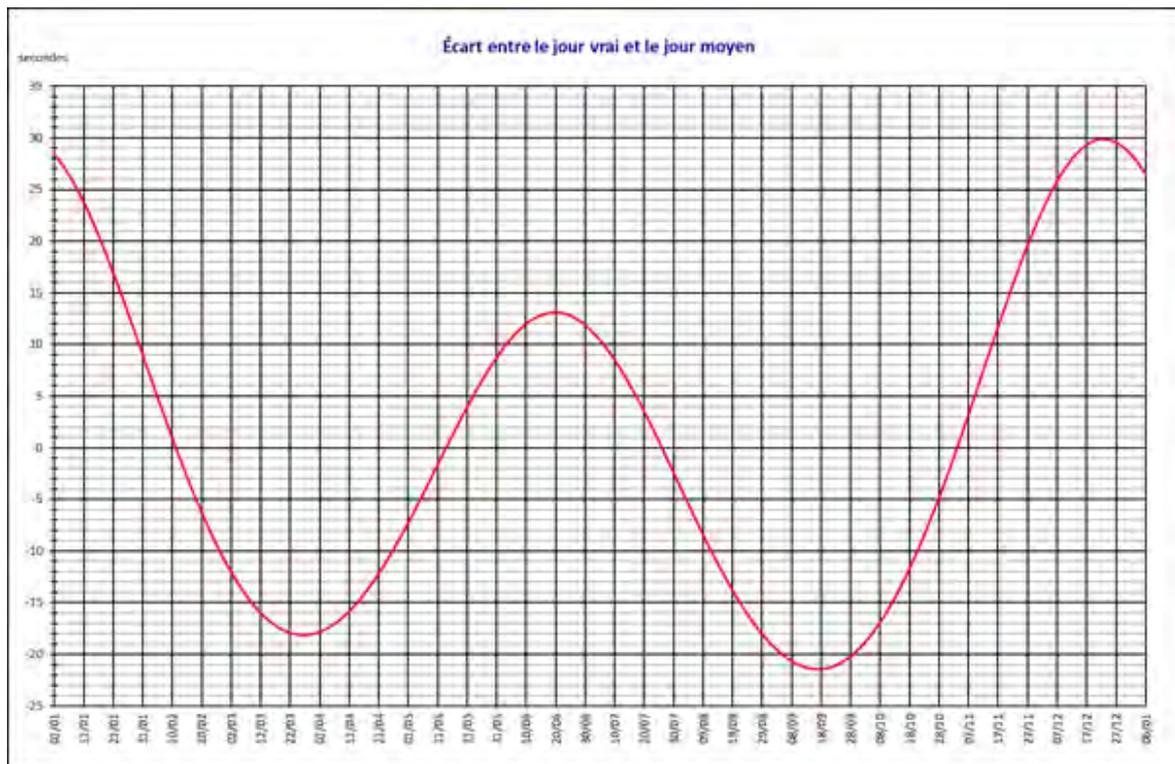


FIGURE 1 – Écart entre le jour vrai et le jour moyen pour l'année 2019.



Espace débutants (2)

par Philippe Sauvageot

Cette rubrique est dédiée aux néophytes. Elle a pris son essor dans le numéro 39¹ de notre revue Cadran Info. Elle est ouverte à tous ceux qui souhaitent aider les débutants en communiquant expériences, approches, études pour :

- **Comprendre** pourquoi un cadran solaire peut indiquer l'heure et beaucoup d'autres choses.
- **Réaliser** un cadran solaire facilement, sans ou avec calculs.
- **Guider** dans tous les différents articles, livres, logiciels à disposition.

Pour cette seconde présentation, ce sont :

— François Estivalet...

qui apporte *un article historique sorti en partie d'un vieux grimoire de l'abbé Moreux (chanoine honoraire, ancien directeur de l'observatoire de Bourges). Il est destiné lui aussi aux néophytes. Les figures sont un peu vieillottes mais ne devraient pas être une gêne.*

— Le Comité de Liaison Enseignants et Astronomes (CLEA)...

qui a accepté d'apporter à notre revue des articles pédagogiques concernant notre domaine d'étude : cadran solaire, astrolabe et nocturlabe. Après une présentation de Véronique Hauguel (CLEA/CCS), un article de Pierre Causeret (CLEA/CCS) expliquant en 8 étapes, méridiennes et les cadrans solaires.

1. Sont présentées des approches différentes sur les principes de base et les méthodes de réalisation par des nouveaux articles, des reprises, voire des montages de plusieurs sources.

CONSTRUCTION GRAPHIQUE DES CADRANS SOLAIRES PAR LA GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

[F. Estivalet]

Naguère très usité le traçage des cadrans par cette géométrie dite descriptive, particulièrement attrayante, facilite d'emblée pour l'amateur une compréhension globale de la gnomonique, la précision est moindre certes, que celle du calcul trigonométrique, mais en revanche, elle nous affranchi durant la période d'étude, des « dégelées » de : tangentes, sinus, cosinus, arc tangentes et autres.

Pré requis historique, les anciens gnomonistes pour réaliser leurs pendules silencieuses utilisaient le cadran équinoxial tracé de 24 rayons horaires espacés régulièrement de 15° . Ce cadran coulissait sur l'axe incliné du style polaire du cadran horizontal, de telle façon que la ligne des 12 heures préalablement mise en contact coïncide avec la méridienne du cadran à construire ; les autres heures étaient marquées au crayon par un fil tendu ou règle relié à l'axe du style et superposés avec les rayons horaires de l'équinoxial² (fig. 1).

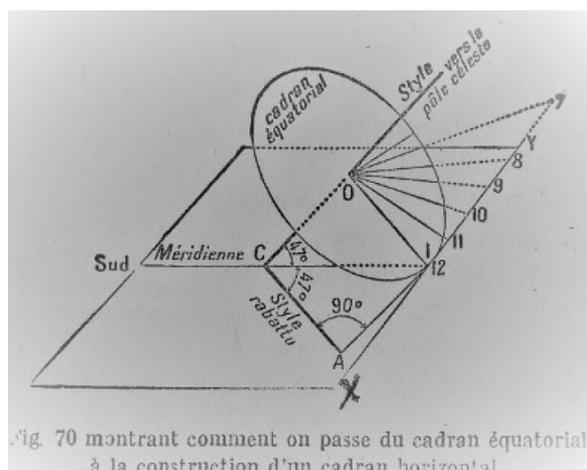


FIGURE 1

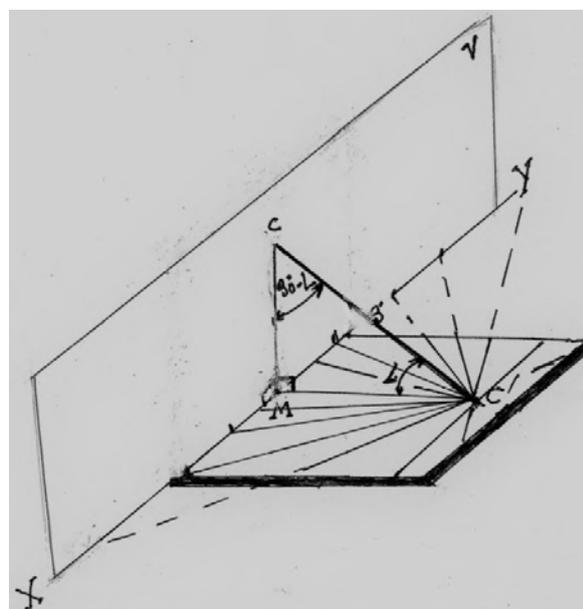


FIGURE 2

Le cadran méridional était quant à lui tracé grâce au cadran horizontal plaqué perpendiculairement à son embase (fig. 2 & 3 page suivante) ou avec aussi un équinoxial.

Le cadran solaire plan de par l'encorbellement de son style polaire, peut être considéré comme un objet en 3D.

On peut donc le représenter par une figure géométrique à 3 dimensions vue en *perspective cavalière*³. Le cadran solaire est éligible à cette représentation

La géométrie descriptive initiée par le Français Gaspard Monge (1746-1818) nous indique une possibilité de représentation d'une perspective cavalière sur plusieurs plans rabattus sur

2. Réf. : Cadran Info n° 39 page 135.

3. Perspective cavalière : les lignes droites réduites de 25% sont inclinées à 45° et projetées à l'infini ; les droites verticales restent parallèles. La ligne d'horizon (projective des peintres) est ici, rejetée à l'infini.

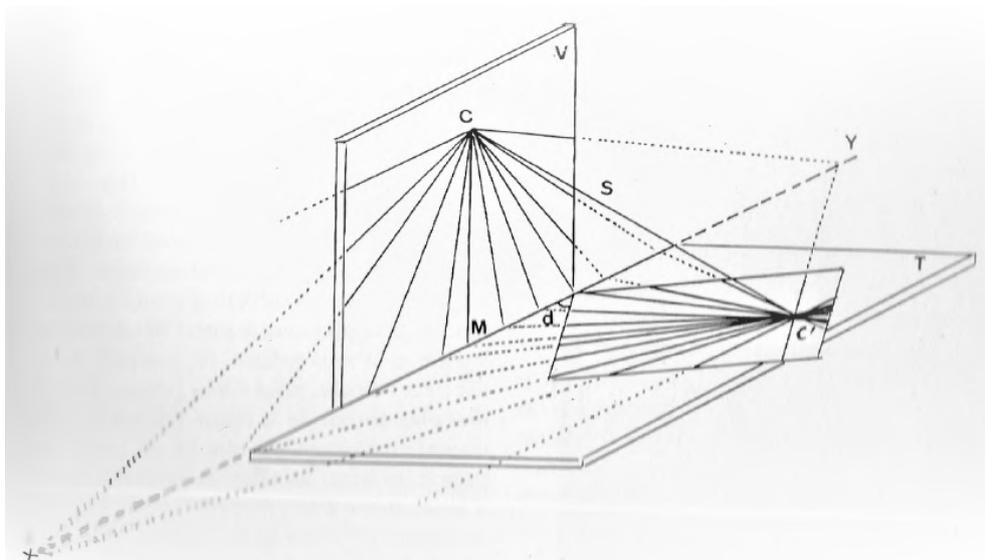


FIGURE 3

un sol formant ainsi une épure supportant les tracés des projections de l'objet. De même, l'opération inverse, de reconstitution de l'objet à partir de l'épure est très usitée.

Pour mémoire cette géométrie, aujourd'hui oubliée, nous indiquait en substance ceci :

- L'épure est constituée par la mise à plat de 2 plans perpendiculaires : un plan vertical (frontal) un plan horizontal (sol) leur ligne d'intersection (x,y) est appelée ligne de terre et sert de charnière pour le rabattement des plans ;
- Les points sélectionnés de l'objet à représenter sur l'épure et distant du plan de sol sont repéré par une cote ;
- Les points sélectionnés de l'objet à représenter sur l'épure et distants du plan frontal sont repérés par leur éloignement ;
- Une ligne de rappel relie sur l'épure ces 2 représentations du point sélectionné ;
- Il existe aussi un plan de profil plus ou moins oblique, et des rabattements auxiliaires dont les traces circulaires apparaissent sur l'épure.

Soit un tracé de l'épure pour un Cadran horizontal : latitude 47° nord (voir figure 4 page suivante).

- Tracer la ligne méridienne ;
- Choisir le point C centre du cadran ;
- Rabattre le style sur le plan en utilisant le segment de la méridienne CI comme charnière ;
- Reporter AI sur la méridienne du plan rabattu OI sera le rayon du demi cercle horaire de l'équateur céleste centré en o aux équinoxes ;
- Prolonger les valeurs horaire sur la ligne de terre ;
- Joindre C à tous ces nouveaux points pour obtenir les lignes tabulaires du cadran.

Pour un cadran solaire méridional : utiliser la co-latitude (c'est-à-dire $90^\circ - 47^\circ$) donc 43° pour rabattre le style polaire et inverser les lettres N & S.

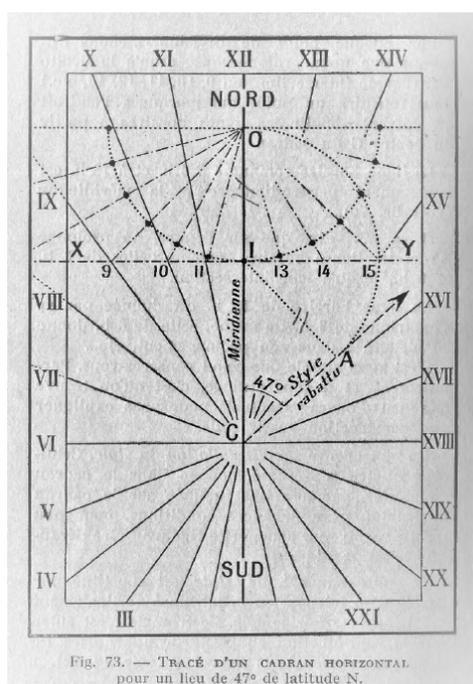


FIGURE 4

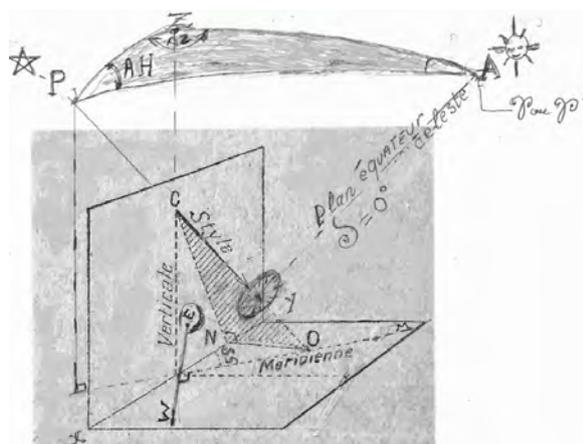


FIGURE 5 – triangle sphérique PZA et la déviation de la façade.

Le cadran vertical déclinaut peut être représenté en perspective cavalière et orienté selon le triangle sphérique PZA (fig. 5). La droite CN représente la sous-styloire⁴.

N.B. : une réplique rectiligne du triangle PZA se retrouve au pied de la verticale, à la pointe de l'ombre à l'équinoxe et au niveau de l'axe du disque équinoxial.

Pour les non initiés on notera : son excellence le cadran déclinaut est le plus répandu, les façades façade orientées plein sud sont rares, les cadrans horizontaux aussi sont peu nombreux le pied support généralement à Colonne ouvragées est difficile à réaliser et est coûteux. Ces cadrans attractifs disparaissent parfois ou son dépravés assez souvent.

L'épure (figure 6 page ci-contre) est constituée de plans rabattus respectivement :

- autour de la charnière, du segment de méridienne IO ; le triangle CIO est rabattu sur le sol ;
- autour de la ligne charnière des 6 heures 18 heures du rapporteur simulant l'équateur céleste ce dernier est rabattu sur le sol. Le point E est situé dans le plan équinoxial & la méridienne ;
- autour de la charnière XY de la ligne de terre le mur est rabattu, obtient ainsi l'épure.

Traçage de l'épure :

- Tracer la ligne de terre x,y ;
- Tracer la perpendiculaire à la ligne de terre passant par le centre C du cadran ;
- Tracer la ligne méridienne IOM orientée suivant la déviation ici 55° de la ligne de terre ;
- Tracer la perpendiculaire ouest-est à la méridienne IOM

4. Sous-styloire : ligne horaire résultant de la projection orthogonale du style polaire sur le plan du cadran.

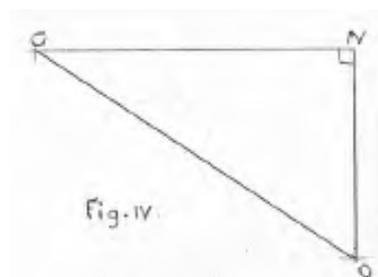


FIGURE 7

Pour conclure : ce tracé d'un autre temps est toujours attractif; la précision dépend de l'habileté du dessinateur mais peut être bien vérifiée avec les logiciels de dessin spécialisés en gnomonique. Ces logiciels certes précis exonèrent les fastidieux calculs sur papier, mais masquent la phase de représentation spatiale et par la même la structure et la pédagogie des cadrans solaires; compréhension indispensable pour le néophyte avant de s'aventurer plus profondément dans la formulation de la trigonométrie sphérique.

Heureusement ces logiciels sont souvent pourvus d'animations très pédagogiques.

Amateurs à vos épures donc! ... c'est un passage obligé et mérite un détour.

DE FRUCTUEUX ÉCHANGES ENTRE LA CCS DE LA SAF ET LE COMITÉ DE LIAISON ENSEIGNANTS ET ASTRONOMES (CLEA)

[par V. Hauguel]

« Les cadrans solaires nous entraînent dans de nombreux domaines comme les mathématiques (géométrie, trigonométrie), la mécanique céleste (rotation et révolution de la Terre), le graphisme et le dessin, la technique pour la fabrication, la philosophie avec la devise, le culturel avec l'histoire de l'heure et l'histoire de la région et même du bâtiment sur lequel le cadran est érigé.

L'étude des cadrans solaires est donc un très beau thème pluridisciplinaire qui peut être abordé sous plein d'aspects de la maternelle au supérieur et fait donc partie des objectifs du CLEA. À partir du collège, l'étude d'instruments anciens comme l'astrolabe et le nocturlabe permet aussi de belles approches pluridisciplinaires pouvant aller jusqu'à la fabrication d'instruments en laiton.

Le CLEA, comité de liaison enseignants et astronome, promeut l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux du parcours scolaire. Pour cela, une revue, *les Cahiers Clairaut*, est éditée quatre fois par an aux dates des solstices et des équinoxes avec des articles allant d'activités à faire dans nos classes à des articles plus pointus écrits par des astrophysiciens.

Des hors-séries sortent régulièrement; le dernier édité en 2018 est le HS 14 sur le Soleil avec, entre autres, des activités autour de maquettes de cadrans solaires et d'astrolabes.

Le site du CLEA (<http://clea-astro.eu>), propose des informations sur l'association et ses activités, des documents pédagogiques, des conférences filmées ... Il permet une recherche d'articles par mot, auteur ou thème dans les anciens numéros des Cahiers Clairaut.

Un stage d'été à Gap dans la deuxième quinzaine d'août est organisé pour les enseignants de toutes matières et les animateurs intéressés par l'astronomie. On peut y venir en famille et régulièrement, des ateliers sont proposés sur la fabrication de cadrans solaires ou d'astrolabes. En 2014, un cadran analemmatique a été réalisé par les stagiaires au centre d'oxygénation de Col Bayard qui nous reçoit.

Pour Cadran Info, la Commission des Cadrans Solaires a proposé au CLEA d'écrire quelques articles pédagogiques sur les instruments étudiés par la CCS (cadran solaire, astrolabe et nocturlabe). Le premier article décrit des maquettes proposées lors d'une exposition réalisée par deux membres du CLEA et de la CCS en Côte-d'Or ».

EXPLIQUER LES MÉRIDIENNES ET LES CADRANS SOLAIRES EN 8 ÉTAPES

[P. Causseret ⁵]

Nous vous proposons ici des maquettes pour expliquer simplement le principe des méridiennes et des cadrans à style polaire.

À l'origine de cet article, il y a une exposition temporaire réalisée pour le musée de Châtillon-sur-Seine qui dispose d'une belle méridienne (fig. 8 : la méridienne rénoverée du musée de Châtillon-sur-Seine, musée qui abrite le trésor de Vix). Des classes d'école primaire ainsi que du public devaient passer la visiter. Comment expliquer à des enfants le principe des cadrans solaires ? À côté d'une série de cadrans anciens et modernes, huit maquettes étaient proposées avec, à chaque fois, un court texte et, pour cinq d'entre elles, une question à laquelle il fallait répondre. Le but était d'amener petit à petit les enfants à comprendre au moins partiellement le mouvement apparent du Soleil, l'heure solaire, les méridiennes et le principe du cadran à style polaire. Les adultes visitant l'exposition étaient aussi fort intéressés par ces maquettes.

Au fur et à mesure des visites, je me suis aperçu qu'une idée qui me semblait simple au départ n'était pas évidente pour tous : la relation entre la hauteur du Soleil et la longueur de l'ombre. J'ai donc ajouté ici une étape, la première, qui n'a encore pas sa maquette mais cela ne saurait tarder.

Comme vous n'avez pas les maquettes sous les yeux et que vous ne pouvez pas les manipuler, j'ai également ajouté dans cet article des schémas pour une meilleure compréhension.

Les maquettes et les commentaires sont réalisés pour un observateur situé à une latitude d'environ 47° N. Ils restent valables entre le tropique du Cancer et le cercle polaire arctique. Au-delà de ces limites, il faudrait des modifications.



FIGURE 8

Étape n° 1. Plus le Soleil est haut dans le ciel, plus notre ombre est courte. Quand le Soleil est bas, notre ombre sur le sol est longue (*Cf.* figure 9(a) page suivante).

Quand le Soleil est haut, notre ombre sur le sol est plus courte (*Cf.* figure 9(b) page suivante).

Dans la maquette suivante, on demande à ce que l'ombre du personnage soit la plus courte possible, ce qui revient à dire que le Soleil doit apparaître au plus haut.

5. Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, association Cygnus 21 et CSS.

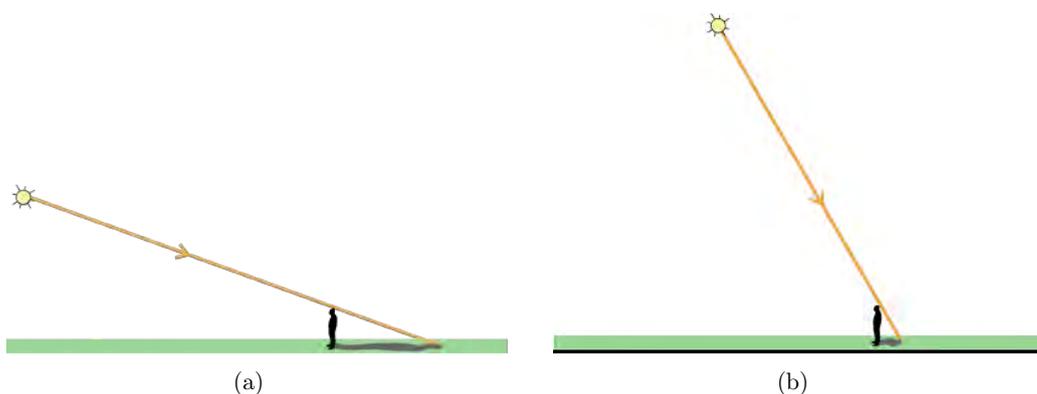


FIGURE 9 – Étape n° 1.

Étape n° 2. À midi solaire, le Soleil est au plus haut dans le ciel, plein sud. Une lampe éclaire le globe (Cf. figure 10(a)). Il s’agit de tourner le globe jusqu’à ce que l’ombre du personnage soit la plus courte possible. On s’aperçoit alors que l’ombre est au nord. Le Soleil est donc au sud.

Les réponses (Cf. figure 10(b)) étaient fournies dans une boîte à proximité dont il fallait soulever le couvercle : a. Nord ; b. Sud ; c. Midi (au Soleil).



(a)

1. Maquette Terre Soleil

Faites tourner le globe et observez l'ombre du personnage.

Positionnez-le pour que cette ombre soit la plus courte possible.

Essayez ensuite de répondre aux questions suivantes :

- Dans quelle direction se trouve alors l'ombre ?
- Dans quelle direction le personnage voit-il le Soleil ?
- Quelle heure est-il pour le personnage ?

Solutions à proximité de la maquette

(b)

FIGURE 10 – Étape n° 2.

On a choisi ici de définir midi au Soleil vu de l’extérieur de la Terre. Ce qui correspond au schéma de la figure 11 page suivante : à midi solaire, le Soleil est dans le plan du méridien de l’observateur, qui est le plan vertical nord-sud.

La vue topocentrique, celle de l’observateur sur Terre, arrive dans la maquette fig. 12(a) page ci-contre. On aurait d’ailleurs pu choisir de commencer par une maquette qui représente ce que voit un observateur terrestre, ce qui correspond davantage à l’histoire des connaissances. Mais

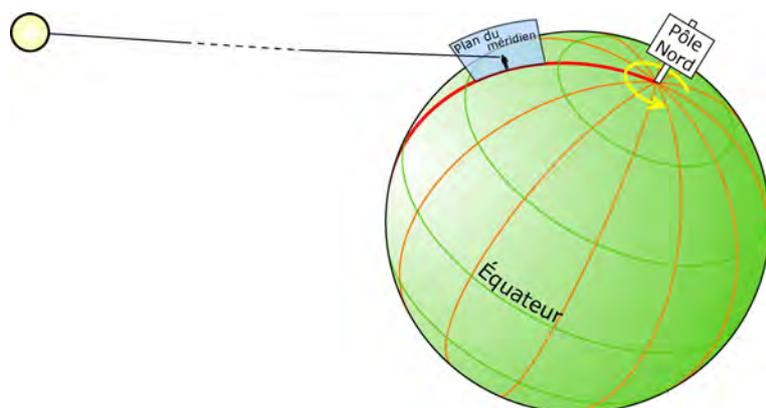


FIGURE 11

la maquette du mouvement apparent du Soleil contient un nombre important d'informations. J'ai préféré commencer en me limitant au midi solaire.



(a)

2. Mouvement apparent du Soleil

Cette maquette représente le mouvement apparent du Soleil au cours de la journée à trois dates différentes : au solstice d'hiver (21 décembre), aux équinoxes (20 mars et 22 septembre) et au solstice d'été (21 juin).

Le Soleil est placé toutes les heures pour le personnage situé au centre.

Sauriez-vous placer les points cardinaux ?

Solutions à proximité de la maquette
Merci de replacer ensuite les panneaux dans la boîte

(b)



(c)

FIGURE 12 – Étape n° 3 — Mouvement apparent du Soleil.

Étape n° 3. Comprendre le mouvement apparent du Soleil. Quatre petits panneaux indiquant chacun un point cardinal étaient à disposition (cf. figures 12). Midi est indiqué sur le point le plus haut de chacune des trajectoires. On sait que le Soleil de midi est au sud. Il est alors facile de placer le sud puis les autres points cardinaux. Une fois défini midi solaire comme l'instant où le Soleil passe dans le plan du méridien, on définit les autres heures en partageant la trajectoire apparente du Soleil en 24 parties (cf. figure 13 page suivante).

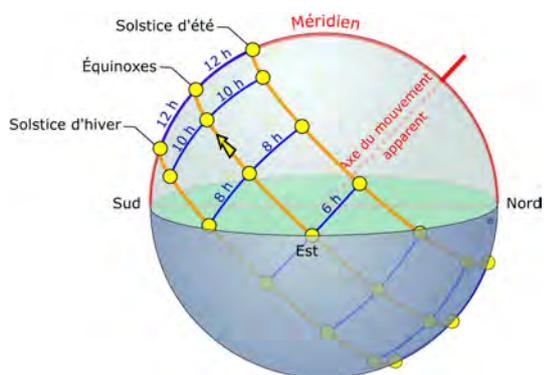
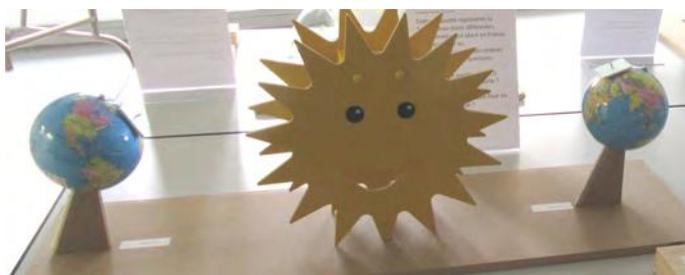


FIGURE 13

Le mouvement apparent du Soleil au cours de la journée est dû à la rotation de la Terre sur elle-même. L'axe du mouvement apparent, en pointillés rouge sur la figure, correspond donc à l'axe de la Terre.



(a)

3. Hauteur du Soleil et saisons

Cette maquette représente la Terre à deux dates différentes. Le personnage est placé en France, il est midi pour lui. Observez la longueur des ombres pour répondre aux questions.

a. Pour quelle position (1 ou 2) l'ombre est-elle la plus courte ?

b. Le Soleil est-il alors plus haut ou plus bas dans le ciel ?

c. Quelle est alors la date ?

Solutions à proximité de la maquette

(b)

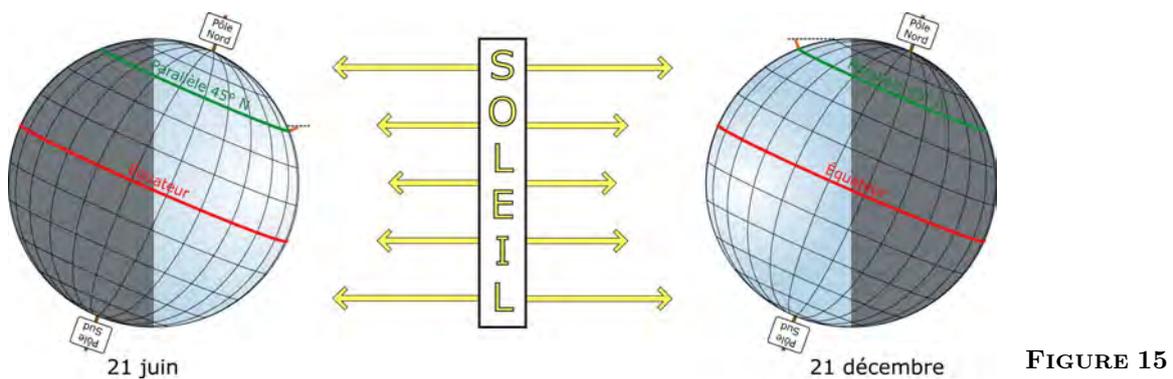
FIGURE 14

Étape n° 4. Pourquoi la hauteur du Soleil change-t-elle au cours des saisons ? Le « soleil » cache deux lampes, l'une dirigée vers la Terre au solstice d'été (fig. 14(a), position 1, à gauche), l'autre vers la Terre au solstice d'hiver (position 2, à droite).

On a placé sur chacune des terres un bâton vertical, un gnomon, à midi (« face » au soleil), à la latitude de 47° N. L'ombre du bâton de gauche au solstice d'été est nettement plus courte que l'autre, au solstice d'hiver (environ 6 fois). Le schéma 15 page ci-contre le montre bien.

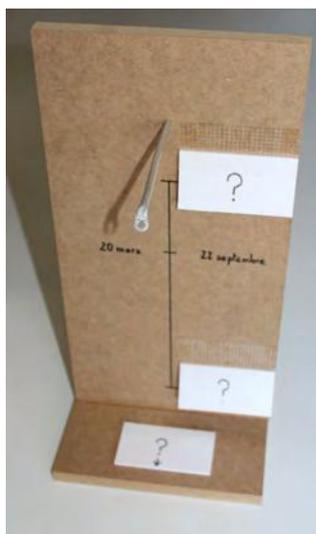
Réponses (fig. 14(b)) : a. 1 (gauche) ; b. au plus haut ; c. 21 juin (solstice d'été).

Cette maquette explique que le Soleil de midi est nettement plus haut au solstice d'été qu'au solstice d'hiver. Cela s'explique par l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de son orbite, ce qu'on appelle l'obliquité et qui vaut 23,4° (angle que fait l'axe de la Terre avec la perpendiculaire au plan de l'écliptique). L'ombre du gnomon orange à midi sur le sol est nettement plus courte à gauche, le 21 juin, qu'à droite le 21 décembre. Le Soleil est donc nettement plus haut le 21 juin, au solstice d'été.

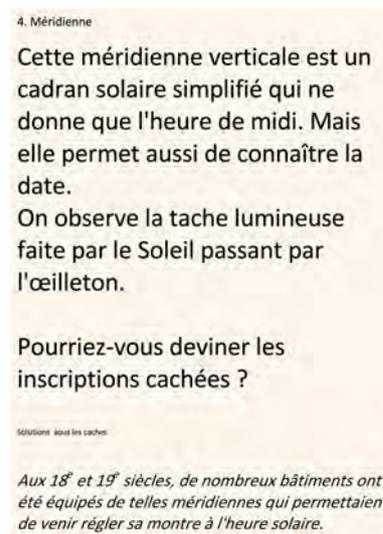


Étape n° 5. Le fonctionnement d'une méridienne verticale. Les réponses (fig. 16(b)), de haut en bas :

- 21 décembre ;
- 21 juin ;
- sud.



(a)



(b)

FIGURE 16 – Étape n° 5 — Méridienne verticale.

Il serait sans doute plus simple de commencer par une méridienne horizontale pour retrouver une longueur de l'ombre identique à la première étape. Mais la méridienne du musée étant verticale, il fallait bien expliquer son principe. De plus, cette méridienne ancienne n'était pas graduée en date du calendrier grégorien, comme la maquette, mais en signe du zodiaque.

Étape n° 6. Le calendrier du zodiaque. Pour terminer l'explication, il fallait justifier les signes du zodiaque dessinés le long de la méridienne (fig. 17(a) page suivante).

Réponses (fig. 17(b) page suivante) : a. Lion ; b. Vierge.

Il était également utile de dire un mot des constellations du zodiaque, à ne pas confondre avec les signes du même nom. Faut-il le rappeler ? Les signes du zodiaque ne sont qu'un



(a) La trajectoire de la Terre est graduée en date

5. Zodiaque

Sur la méridienne du cadran de Châtillon, les dates sont remplacées par un calendrier du zodiaque. Cette maquette vous en explique l'origine. La Terre tourne autour du Soleil en un an. Même si la journée les étoiles ne sont pas visibles, on peut savoir à une date donnée devant quelle constellation se trouve le Soleil vu depuis la Terre.

Placez la Terre le 13 septembre.

a. Devant quelle constellation* se trouve le Soleil ?

b. Dans quel signe* est le Soleil ?

Vous pouvez recommencer pour d'autres dates. Vous trouverez en général des noms différents pour le signe et la constellation, ce qui est expliqué dans le panneau suivant.

* Sur la maquette, les constellations sont dessinées dans la partie haute et les signes sont notés dans la partie basse.

(b)

FIGURE 17 – Étape n° 5 — Calendrier du zodiaque.

calendrier (fig. 18). Ce n'est pas parce que les astrologues utilisent ces mêmes signes que les méridiennes ont quoi que ce soit à voir avec l'astrologie, mais la confusion dans le public est courante. . .

Compléments

Les 13 constellations du zodiaque
 Les hommes ont imaginé des constellations pour se repérer dans le ciel depuis au moins 4000 ans. La plus connue d'entre elles est la Grande Ourse.
 L'écliptique (la trajectoire apparente du Soleil sur la voûte céleste au cours de l'année) traverse 13 constellations : Poissons, Bélier, Taureau, Gémeaux, Cancer, Lion, Vierge, Balance, Scorpion, Ophiucus (ou Serpente), Sagittaire, Capricorne, Verseau.
 On les appelle constellations du zodiaque car la plupart sont des animaux (du grec zoon qui signifie vie).

Les 12 signes du zodiaque
 Il y a plus de 2 000 ans, les astronomes grecs ont découpé l'écliptique en 12 signes égaux pour repérer la position du Soleil et des planètes. Ils ont donné à chaque signe le nom de la constellation la plus proche.
 Les signes du zodiaque ont longtemps été utilisés comme un calendrier en particulier sur les cadrans solaires. Cela ne veut pas dire qu'on croit aux prévisions astrologiques. Les astronomes étudient les étoiles et les planètes, ils n'imaginent pas qu'elles aient une quelconque influence sur les événements terrestres ou sur votre caractère.

Quelles différences entre signes et constellations du zodiaque ?
 Les constellations sont visibles dans le ciel, les signes ne sont qu'un calendrier.
 Les constellations ont des dimensions différentes, les signes mesurent tous 30°.
 Il y a 12 signes mais 13 constellations du zodiaque.
 Les signes du zodiaque portent des noms de constellations mais ce sont deux choses totalement différentes.

(a)

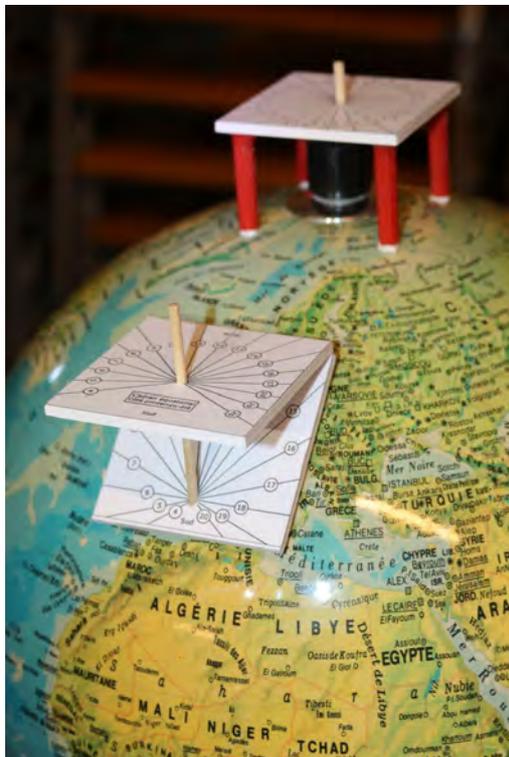
Constellations	Signes	
		21/3
		1/4
Poissons	Bélier	11/4
		21/4
Bélier	Taureau	1/5
		11/5
Taureau	Gémeaux	21/5
		1/6
		11/6
		21/6
Gémeaux	Cancer	1/7
		11/7
		21/7
Cancer	Lion	1/8
		11/8
		21/8
Lion	Vierge	1/9
		11/9
		21/9
Vierge	Balance	1/10
		11/10
		21/10
Balance	Scorpion	1/11
		11/11
		21/11
Scorpion	Sagittaire	1/12
		11/12
		21/12
Ophiucus	Sagittaire	1/1
		11/1
		21/1
Sagittaire	Capricorne	1/2
		11/2
		21/2
Capricorne	Verseau	1/3
		11/3
		21/3
Verseau	Poissons	1/3
		11/3
		21/3
Poissons		21/3

Ce tableau indique la position du Soleil vu depuis la Terre devant les différentes constellations et les différents signes du zodiaque. À droite, sont indiquées les dates et à gauche les « longitudes écliptiques » (l'écliptique est gradué en degrés).

(b)

FIGURE 18 – Les deux panneaux complémentaires.

Étape n° 7. Le cadran équatorial. Pour comprendre le fonctionnement des cadrans solaires, le mieux est de commencer par un cadran équatorial installé au pôle Nord, gradué régulièrement (fig. 19(a)). Si on le déplace à une autre latitude, en le laissant parallèle à lui-même, on obtient un cadran équatorial qui n'est plus horizontal.



(a)

7. Cadran solaire équatorial

Faites tourner la Terre et observez les ombres sur les cadrans. Il s'agit de deux cadrans solaires équatoriaux installés, l'un au pôle Nord, l'autre en France.

Dans un cadran solaire équatorial :

- la « table » du cadran est parallèle au plan de l'équateur ;
- le « style » qui fait ombre est parallèle à l'axe de la Terre ;
- les graduations horaires sont régulièrement espacées.

On voit aussi un cadran horizontal installé en France, le style est toujours parallèle à l'axe de la Terre mais les graduations ne sont plus régulièrement espacées.

(b)

FIGURE 19 – Le cadran équatorial..

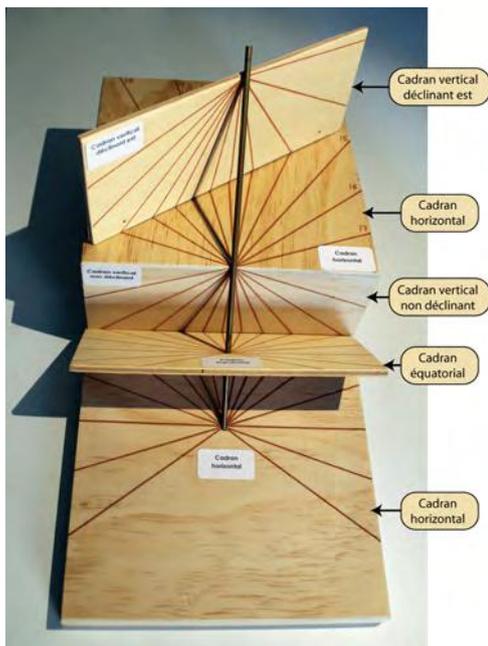
Le globe est éclairé par une lampe (*cf.* fig. 19). On peut donc observer l'ombre du style qui reste parallèle à l'axe de la Terre. En faisant tourner la Terre, on voit cette ombre parcourir les différentes graduations.

Étape n° 8. Les autres cadrans à style polaire. Rendons à César ... L'idée de cette maquette a été empruntée à Véronique Hauguel.

Cette maquette (fig. 20(a) [page suivante](#)) permet de comprendre comment on passe par de simples projections du cadran équatorial au cadran vertical non déclinant (plein sud), au cadran horizontal, puis au cadran vertical déclinant. L'ensemble se replie et tient dans la boîte.

En éclairant la maquette avec une lampe, on s'aperçoit que l'ombre du style sur le cadran équatorial se prolonge sur les autres cadrans. Sur la photo, il est 10 heures au soleil sur chacun des cadrans.

Une dernière maquette (fig. 20(c) [page suivante](#)) permettait de représenter le mouvement apparent du Soleil à différentes heures et à différentes dates : une lampe coulisse sur un ruban métallique, ce qui permet de changer d'heure, ce ruban coulissant sur une règle pour changer de date. Cette maquette permettait de tester une reproduction de la méridienne - cadran solaire du musée.



(a)

8. Cadrans horizontaux et verticaux

Comment réaliser un cadran solaire ?

Tout d'abord, le style doit être parallèle à l'axe de la Terre. Ainsi, il indiquera correctement l'heure en toute saison. Ensuite, les graduations dépendent de la latitude, de l'orientation et de l'inclinaison de la table du cadran.

Sur un cadran équatorial, les graduations sont régulièrement espacées (15° par heure). Les graduations des autres cadrans peuvent être obtenues par projection à partir du cadran équatorial. Les angles d'une heure à l'autre n'y sont plus égaux.

La maquette présente 5 cadrans :

- un cadran équatorial gradué sur les deux faces ;
- deux cadrans horizontaux ;
- un cadran vertical « non déclinant » (plein sud) ;
- un cadran vertical déclinant 35° est.

(b)



(c)

FIGURE 20 – Les autres cadrans à style polaire.

Pour tout renseignement, pierre.causeret@wanadoo.fr.

RAPPEL



- Un **MOOC** (formation en ligne ouverte à tous) pour comprendre et réaliser des cadrans solaires est à votre disposition sur notre site à l'adresse : <https://www.cadrans-solaires.info/>.
- De nombreux outils/programmes/applications sont disponibles à la rubrique « outils » de notre site : https://www.commission-cadranssolaires.fr/?page_id=2093.
- D'autres études/outils sont à consulter dans la partie réservée à nos membres (code d'accès).

Remarque : de nombreuses vidéos relatives aux cadrans solaires sont disponibles sur le web. Mais n'oubliez pas :

- Pour l'orientation de son cadran, le gnomoniste utilise le Nord Géographique donné par le méridien du lieu et non le Nord Magnétique donné par une boussole.
- Le style est parallèle à l'axe de la terre (il est donc incliné de la latitude du lieu pour un cadran horizontal).
- Il faut 3 corrections pour passer de l'heure solaire à l'heure de la montre.

Réf : « Espace débutants (1) », Cadran Info n° 39.



Les cadrans solaires de Julien Le Roy du musée des Arts et Métiers

par Denis Savoie ¹

Le musée des Arts et Métiers à Paris possède deux exemplaires (fig. 1 & 2 page ci-contre) d'un type particulier de cadran solaire (inv 10485 et inv 925) imaginé par l'horloger Julien Le Roy (1686–1759). Il en existe plusieurs variantes, parfois visibles dans des collections muséales étrangères. Ceux du musée des Arts et Métiers ont été réalisés par le constructeur d'instruments Jacques Le Maire ² vers 1740.

Julien Le Roy a publié deux mémoires intitulés ³ *Description et usage d'un nouveau cadran horizontal, universel, et propre à tracer des méridiennes* où il décrit l'usage de cet instrument qui est moins un cadran solaire qu'un instrument destiné à tracer l'axe Nord-Sud en un lieu. Il explique en préambule, avec beaucoup de justesse, que la précision d'un cadran solaire horizontal dépend de son positionnement correct à la fois sur le méridien du lieu en orientation et en inclinaison, sous-entendu en latitude. Le Roy précise : « [...] dès qu'on le transportera de huit ou dix lieues au Nord ou au Sud, il ne marquera plus l'heure avec la dernière précision ». En prenant comme longueur d'une lieue ≈ 4 km, cela signifie donc qu'un déplacement compris entre 32 km et 40 km en latitude affecte suffisamment la précision du cadran ; l'horloger reprend ici

1. Universcience et Observatoire de Paris.

2. Jacques Le Maire, actif entre 1720 et 1740, était ingénieur et constructeur d'instruments de mathématiques, membre, comme Julien Le Roy, de la Société des Arts. Sur cette Société des Arts qui a regroupé des savants renommés (La Condamine, Grandjean de Fouchy, Clairaut, Nollet, Vaucanson, etc.), voir I. Passeron, « La Société des arts, espace provisoire de reformulation des rapports entre théories scientifiques et pratiques instrumentales », *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme*, E. Brian et C. Demeulenaere, éd. Brépols, Liège, 2002, p. 109–132.

3. Le premier article est publié dans le *Mercure de France*, septembre 1735, p. 1898–1905 (suivi de trois autres mémoires intitulés : *Description d'un nouveau cadran universel portable et à boussole*, p. 1906–1913 — *Remarques sur la construction des cadrans communément appelés Buterfiels*, p. 1913–1915 — *Mémoire sur un nouveau moyen de faire marquer juste l'heure du Soleil aux cadrans horizontaux ordinaires ou anciens en quelque lieu de la Terre qu'ils soient placés*, p. 1915–1918). Le mémoire est à nouveau publié en 1737 (avec quelques variantes) par l'éditeur du fameux horloger Henry Sully (1680–1729), *Règle artificielle du temps*, Paris, 1737, p. 293–322.



FIGURE 1 – Le cadran solaire exécuté par Jacques Le Maire (exposé au public), musée des Arts et Métiers.



FIGURE 2 – Le second cadran solaire exécuté par Jacques Le Maire (réserves du musée), musée des Arts et Métiers.

une constatation qui remonte à l'Antiquité puisque Pline⁴ dans son *Histoire Naturelle* précise que « de plus, les mêmes cadrans solaires ne servent pas partout, car au bout de 300 ou 500 stades au plus les ombres portées par le Soleil changent ». Si on admet que un degré de latitude représente sur le terrain 111,13 km, alors 40 km (dix lieues) représentent environ $0^{\circ} 22'$. Il est possible de quantifier l'erreur qu'induit dans l'heure solaire un tel déplacement en latitude⁵, toujours nulle à midi solaire, et maximale au solstice d'été : on obtient une erreur maximale de ± 38 secondes aux alentours de 6 h et 18 h, ce qui est quasiment impossible à mettre en évidence avec un tel instrument (fig. 3 page suivante). Mais cela donne une idée de l'estime dans laquelle le célèbre horloger place un cadran solaire et la précision qu'il en attend. En réalité, l'échelle des latitudes du cadran (*cf. infra*) permet de lire le demi-degré de latitude, ce qui entraîne au maximum une erreur de 52 secondes.

L'erreur en orientation est nettement plus importante⁶ que celle en latitude puisque un degré d'erreur sur l'orientation du cadran entraîne une erreur de lecture de l'heure de l'ordre de ± 4 min au maximum au voisinage du midi solaire : c'est donc beaucoup plus facile à mettre en évidence que l'erreur due à la latitude (fig. 4 page suivante). D'ailleurs le mémoire de Le Roy est principalement axé sur une méthode précise d'orientation du cadran⁷ et de détermination du méridien du lieu ; c'est une application de la méthode du « piquet indien » connue⁸ depuis

4. Pline L'Ancien, *Histoire Naturelle*, Livre II, texte établi traduit et commenté par J. Beaujeu, Les Belles Lettres, Paris, 1950, p. 80, et notes p. 235–236.

5. Voir D. Savoie, *La Gnomonique*, Les Belles Lettres, Paris, 2007, p. 318–319.

6. Voir D. Savoie, *La Gnomonique*, *op. cit.*, p. 319–321.

7. L'étude historique la plus complète sur ce cadran est due à A. Turner, « Julien Le Roy's improved horizontal sundial », *Antiquarian Horology*, vol. 70, autumn 1988, p. 463–466. Voir également du même auteur « Les cadrans solaires de Julien Le Roy », dans *La dynastie des Le Roy, horlogers du roi*, Tours, Musée des Beaux-Arts, 1987, p. 51–52 et p. 73. Voir également les articles plus sommaires de J. De Graeve, « De Zonnewijzers van Julien Le Roy », *Zonnewijzerkring Vlaanderen*, 1996, 01, p. 8–10, et de F. Sawyer, « A Horizontal Sundial By Julien LeRoy », *The Compendium*, vol. 8, n° 4, december 2001, p. 29.

8. Voir D. Savoie, « Usages astronomiques du gnomon au cours des siècles », *Comptes Rendus Géoscience*, vol. 350, Issue 8, décembre 2018, p. 487–497.

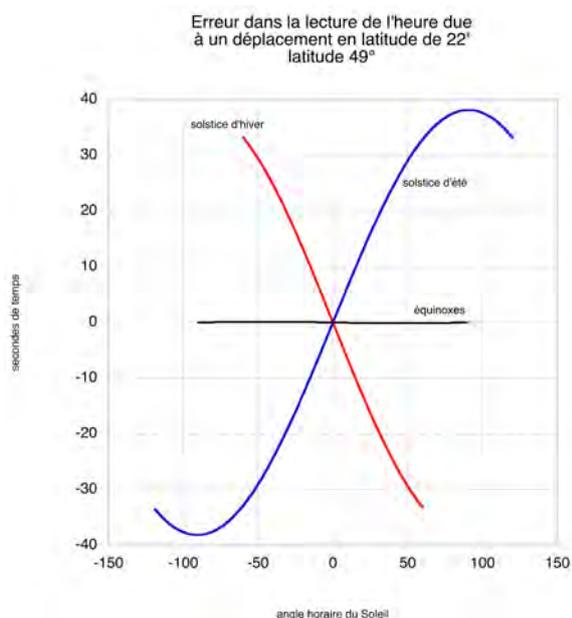


FIGURE 3 – Graphique montrant les conséquences d’une erreur en latitude dans la lecture de l’heure. En se trompant de 0° 22’ en latitude (41 km sur le terrain), l’erreur atteint au maximum 38 secondes au solstice d’été vers 6 h et 18 h.

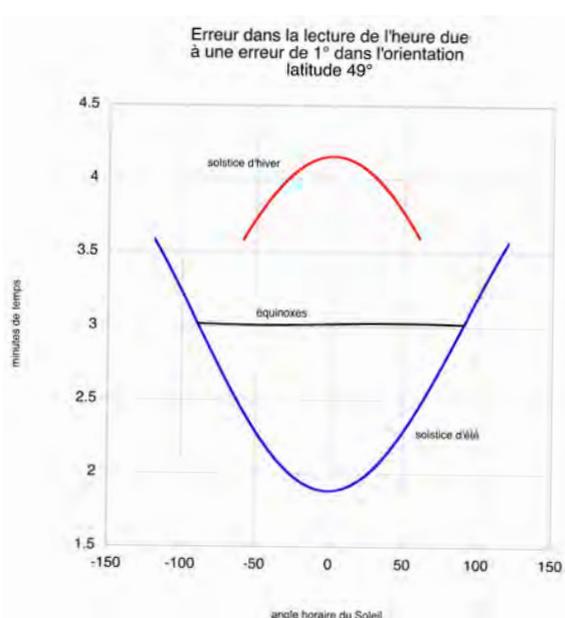


FIGURE 4 – Graphique montrant les conséquences d’une erreur en orientation dans la lecture de l’heure d’un cadran solaire. En se trompant de 1°, l’erreur atteint toujours son maximum à midi solaire : elle est supérieure à 2 min au solstice d’été. D’où l’importance de connaître avec précision l’orientation, paramètre le plus sensible.

l’Antiquité. Le tracé du méridien ne se limite pas à l’orientation d’un cadran horizontal : la mesure de l’orientation d’un mur par exemple peut se faire avec une bonne méridienne au sol.

1 Description (inv 10485)

La platine rectangulaire du cadran mesure 16,5 cm de large sur 14,5 cm de long, la méridienne mesurant en tout 23 cm. Le demi-cercle contenant 22 latitudes de villes européennes (*cf infra*) mesure 6,5 cm de rayon. Le style polaire large de 1,8 cm et long de 13,7 cm, est percé de cinq trous de 1,5-2 mm de diamètre (respectivement situés depuis la base du style à 4,7 cm, 6,5 cm, 8,4 cm, 10,2 cm et 12,1 cm) reliés entre eux par un trait légèrement creux. Ces trous servent à laisser passer des rayons solaires afin de projeter sur le cadran des taches lumineuses qui servent pour l’échelle méridionale et pour l’échelle des hauteurs égales. L’ombre épaisse du style polaire, solidement fixé, permet un meilleur contraste dans le repérage des points de lumière sur la platine. La largeur de la ligne midi est égale à l’épaisseur du style polaire, soit 1,8 cm. L’extrémité du style est munie de deux encoches (dont une sur l’arête latérale pour fixer le fil, l’autre décalée vers l’Ouest par rapport à l’axe central afin que la pointe du plomb tombe sur l’échelle des hauteurs du pôle) permettant de régler la latitude d’utilisation à l’aide d’un fil à plomb (fig. 5 page suivante) : la pointe du plomb doit coïncider parfaitement avec la latitude indiquée de 1° en 1° sur l’échelle de la platine (de 60° à 35° de latitude). Le réglage en latitude va de paire avec les quatre vis situées aux angles et qui permettent de caler précisément la platine. L’échelle des latitudes (fig. 6 page ci-contre) porte l’indication « Horizon propre 49° »



FIGURE 5 – cadran solaire de Julien Le Roy du musée des Arts et Métiers; on distingue nettement les cinq trous du style polaire.

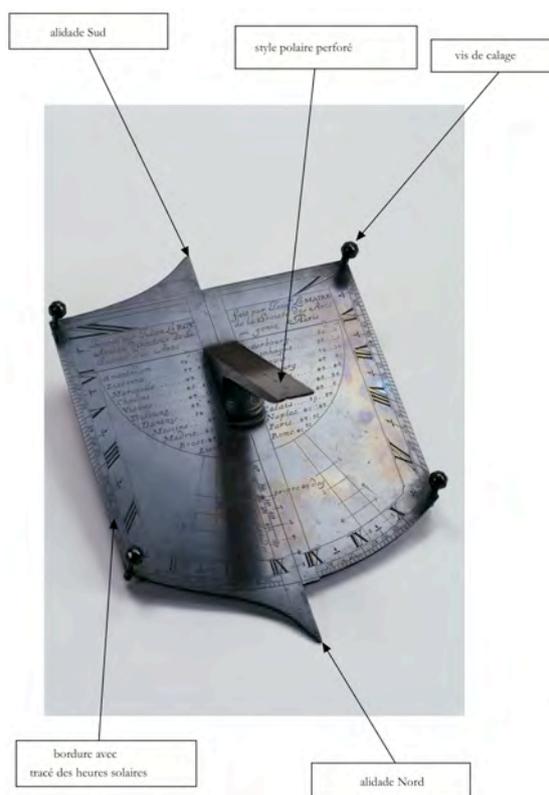


FIGURE 6 – Principaux éléments du cadran solaire de Julien Le Roy du musée des Arts et Métiers.

ce qui signifie que la latitude d'utilisation et donc le tracé du cadran solaire est établi pour cette valeur.

TABLE 1
Échelle des latitudes.

Villes	Latitude cadran
Amsterdam	52° 20'
Lisbonne	38° 45'
Marseille	43° 19'
Chalons	46° 45'
Vienne	48° 14'
Toulouse (<i>sic</i>)	43° 37'
Dantzic (<i>sic</i>)	54° 20'
Messine	38°
Madrit (<i>sic</i>)	40° 36'
Brest	48° 23'
Lion (<i>sic</i>)	45° 45'

Suite page suivante

TABLE — Suite du tableau

Villes	Latitude cadran
Petterbourg (<i>sic</i>)	60° 0'
Copenhague	56° 20'
Varsovie	52° 14'
Strasbourg	48° 30'
Florence	43° 46'
Venise	45° 35'
Toulon	43° 6'
Calais	50° 57'
Naples	40° 48'
Paris	48° 51'
Rome	41° 50'

Sur le sommet Nord de la méridienne se trouvent cinq graduations appelées *Échelle méridionale* qui sont en correspondance avec les 5 trous du style polaire. L'échelle des hauteurs (fig. 7) égales est composée par un secteur angulaire d'environ 6° entre les lignes 13 h 15 min et 13 h 45 min (et symétriquement le matin entre 10 h 15 min et 10 h 4 min), soit pour des angles horaires de $\pm 18^\circ 45'$ et $\pm 26^\circ 15'$. Ce secteur est coupé par 5 arcs de cercles centrés sur le pied du style polaire (intersection de la gouttière portant les trous avec le plan horizontal), de rayon respectifs 8,8 cm, 9,7 cm, 10,6 cm, 11,5 cm et 12,2 cm.

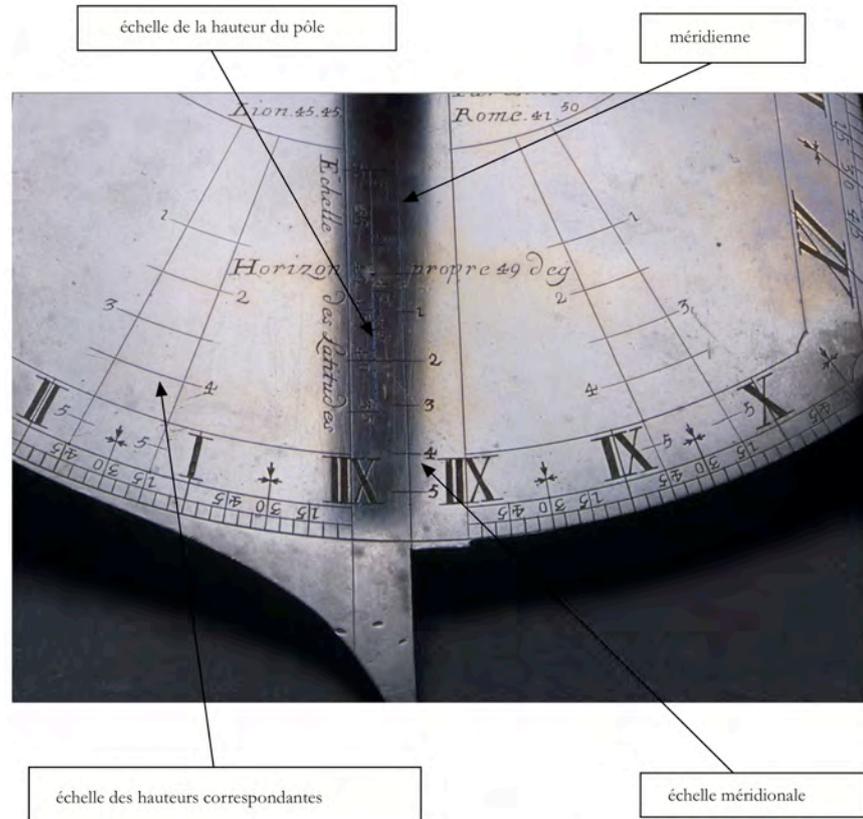


FIGURE 7 – Détails des échelles gravées sur le cadran : échelle hauteur du pôle, échelle méridionale, échelle de hauteur correspondante.

2 Utilisation

L'utilisation de l'ensemble est simple : le matin (sous-entendu avant le passage au méridien), la platine étant calée horizontalement à la bonne latitude, on oriente le cadran de sorte que les rayons solaires passent par l'un des trous du style et tombent sur l'échelle méridionale (fig. 8). On repère la graduation I_1 sur laquelle tombe un point de lumière (on a plusieurs taches de lumière à un instant donné : l'opérateur doit choisir celle qui convient le mieux en éliminant les taches de lumière extrêmes) et on marque au crayon les traces des alidades nord et sud. L'après-midi, on répète l'opération en attendant que les rayons solaires repassent sur la même graduation I_2 . On obtient ainsi deux droites qui se coupent en un point ; on prend la bissectrice de ces deux droites (à l'aide d'un cercle dessiné avec un compas par exemple) dont le milieu M indique le méridien local.

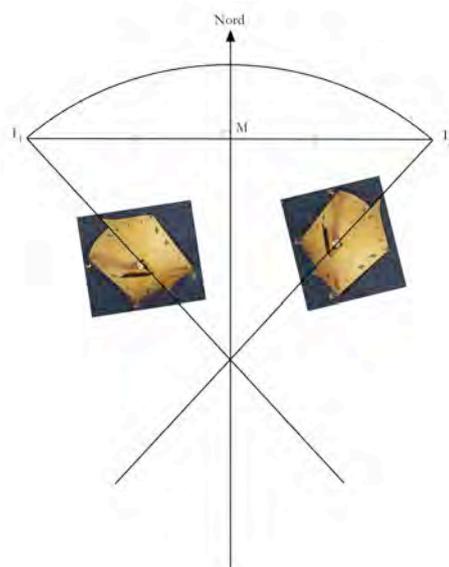


FIGURE 8 – Principe d'utilisation du cadran de Julien Le Roy pour déterminer la direction Nord-Sud géographique.

Les trous du style polaire ne servent, dans cette opération, qu'à jouer le rôle de gnomons fictifs mais il est bien évident que la lecture de la tache de lumière dans la largeur de l'ombre du style permet ici un bien meilleur repérage. Julien Le Roy applique la très ancienne méthode des « hauteurs égales » pour déterminer l'axe Nord-Sud géographique⁹. En toute rigueur, cette méthode suppose que la déclinaison du Soleil ne varie pas au cours de la journée puisque l'on repère le passage de l'astre du jour à la même hauteur avant et après le méridien, en supposant que l'azimut du Soleil pour la hauteur avant le méridien reste le même pour la hauteur après le méridien. Que se passe-t-il si la déclinaison varie rapidement, comme aux équinoxes où la variation est de $0^{\circ} 1'$ par heure ? Prenons un exemple : imaginons que l'on trace le méridien du lieu le 20 mars 2019 à l'Observatoire de Paris ($\varphi = 48^{\circ} 50'$, $\lambda = 2^{\circ} 20' 15''$ E.) avec le cadran de Julien Le Roy ; on attend que le Soleil passe deux fois à 30° de hauteur au cours de la journée. L'azimut le matin vaut $-48^{\circ} 11' 10''$ pour $h = 30^{\circ} 0' 0''$; l'après-midi il vaut $+48^{\circ} 23' 20''$ pour $h = 30^{\circ} 0' 0''$. On voit que l'azimut du matin n'est pas symétrique de celui de l'après-midi, la déclinaison du Soleil ayant varié de $-0^{\circ} 5' 19''$ entre les deux instants. En conséquence, un rapide calcul montre que si l'on prend la bissectrice de la droite joignant les deux points d'ombre I_1I_2 , on obtiendra (fig. 9 page suivante) une direction Nord-Sud décalée par rapport au méridien réel, de l'ordre de $\Delta A = 0^{\circ} 7'$, ce qui est très faible pour un cadran solaire.

L'innovation de Julien Le Roy consiste donc à vérifier si la méridienne est bien orientée Nord-Sud, à l'aide de l'échelle des hauteurs égales. Quelques jours après le tracé de l'axe Nord-Sud, on place le cadran sur la méridienne Nord-Sud, en état de fonctionnement. On attend que les rayons de lumière passant par l'un des trous du style (qui engendre donc une tache de lumière comme le ferait un oeilleton) décrivent un arc d'hyperbole, coupent en un point précis l'échelle des hauteurs égales du matin (qui sont des arcs de cercle), point que l'on

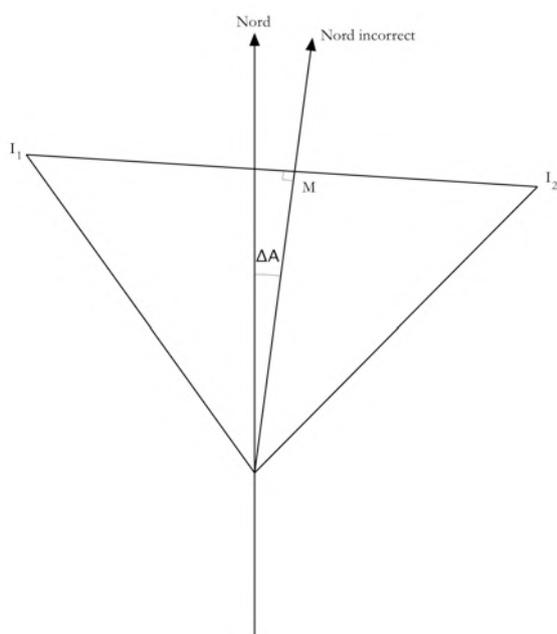


FIGURE 9 – En traçant la méridienne au voisinage des équinoxes, instants où la déclinaison du Soleil varie rapidement, on peut commettre une erreur dans l’orientation du méridien en prenant la moitié M du segment I_1I_2 .

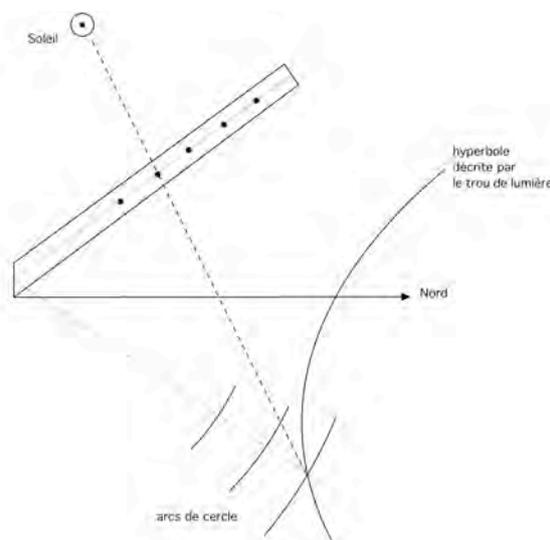


FIGURE 10 – Principe de vérification de la méridienne : on utilise l’échelle des hauteurs correspondante qui se compose de cinq arcs de cercle. On vérifie que l’hyperbole journalière décrite par la tache de lumière passant par un des trous du style coupe symétriquement l’échelle au même endroit le matin et l’après-midi.

note (fig. 10). On réitère la même opération l’après-midi, le trou de lumière devant couper l’échelle des hauteurs égales au même point symétrique que celui du matin. Si c’est le cas, le cadran est bien orienté ; sinon, il faut recommencer l’opération de détermination du méridien.

On notera qu’au voisinage du solstice d’hiver, l’usage du cadran n’est pas possible pour la vérification : le trou le plus bas du style polaire ($U = 4,7$ cm) projette une tache de lumière qui sort du cadre. En effet, l’arc de cercle le plus distant étant à $R = 12,2$ cm du pied du style, on en déduit que la déclinaison du Soleil limite est de $-17^\circ 10'$, soit une période d’inutilité qui va environ du 10 novembre au 1^{er} février chaque année. On déduit la déclinaison limite d’après la longueur de l’ombre polaire par :

$$\tan \delta = \frac{\frac{U}{R} - \cos F}{\sin F}$$

$$\text{avec } \tan F = \frac{\tan \varphi}{\cos H}$$

$$\text{où } H = \pm 22,5^\circ \text{ et } \varphi = 49^\circ$$

Ce calcul reste aussi valable pour l’échelle méridionale (où $H = 0^\circ$) dont l’arc le plus distant (n° 5) se trouve à 12,7 cm du pied du style polaire, ce qui empêche toute utilisation si la déclinaison du Soleil dépasse $-20^\circ 45'$. Ce qui signifie que l’on ne peut utiliser le cadran solaire

9. Méthode appelée « piquet indien » : voir D. Savoie, « Usages astronomiques du gnomon au cours des siècles », *op. cit.*, p. 490. Il s’agit de l’intersection de l’hyperbole journalière, décrite ici par un trou de lumière, avec un cercle centré non pas sur le pied du style droit mais sur le pied du style polaire.

pour tracer une méridienne en hiver... Si l'on prend dans l'échelle des hauteurs égales la droite horaire extrême (13 h 45 min soit $H = 26,25^\circ$), on constate que la hauteur du Soleil pour la méthode varie de 36° au solstice d'été à 20° environ (pour la déclinaison limite du Soleil en hiver). Ce qui correspond à un azimut compris entre $48,5^\circ$ et 27° .

Quant aux lignes horaires tracées sur le pourtour, Julien Le Roy les mentionne à peine; c'est à croire que le cadran solaire sert ici seulement de décor!

Pour être utilisé à une autre latitude (fig. 11), le constructeur a muni sa platine de quatre vis de calage qui permettent de compenser l'écart en latitude entre le lieu propre d'utilisation (49°) et une autre ville, par exemple Saint Pétersbourg dont la latitude est 60° . Il suffit de

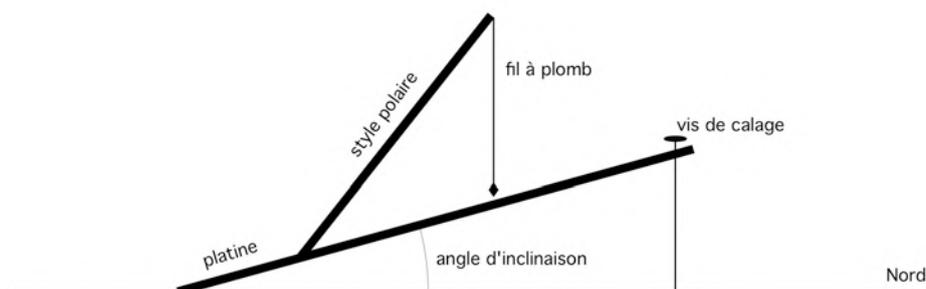


FIGURE 11 – Si on utilise le cadran solaire à une autre latitude, on bascule la platine de la différence de latitude entre le lieu pour lequel le cadran est tracé (49°) et le lieu d'utilisation, afin que le style polaire pointe toujours vers le pôle céleste Nord.

tourner les vis de calage jusqu'à ce que la pointe du fil à plomb tombe sur l'échelle des hauteurs du pôle sur la graduation 60° pour que le style polaire soit correctement orienté (la platine aura basculé de 11° vers le Sud). Au contraire, pour fonctionner à 35° de latitude, la platine doit être basculée vers le Nord de 14° . Mais ce basculement ne sert qu'à lire l'heure sur le pourtour, car l'instrument est utilisable horizontalement pour tracer une méridienne pour les latitudes indiquées; d'ailleurs aux latitudes basses, on peut même l'utiliser au solstice d'hiver.



FIGURE 12 – Chambre méridienne de Claude Langlois située au château de la Roche Guyon (Val d'Oise). Le faisceau de lumière ponctué de trous est bien visible.

Julien Le Roy précise à la fin de son mémoire que pour améliorer le contraste entre les trous de lumière et la platine du cadran, on peut réaliser une chambre obscure. La coïncidence avec la chambre obscure que Claude Langlois réalise à peu près la même année pour le château du duc de la Rochefoucault à La Roche Guyon est frappante¹⁰ : on y trouve un style polaire large, muni de sept trous reliés par une fente qui laisse entrer un faisceau lumineux dans la chambre (fig. 12 page précédente). Même si l'usage est différent, il est permis de penser que l'invention de Julien Le Roy avec son style polaire troué a inspiré d'autres constructeurs de cadrans solaires.



Faim ou soif . . . choisissez votre heure

Merci à Jean-Claude Berçu pour ces publicités.



10. Voir la description de cette chambre méridienne unique dans D. Savoie, A. Turner, « Cadran à chambre méridienne », *Cadran Info* n° 30, octobre 2014, p. 125–130.

Philippe de La Hire : un astronome novateur dans la gnomonique et les astrolabes

par Denis Savoie ¹

Présentation des études de La Hire concernant la gnomonique et les astrolabes avec en appendice et pour la première fois une solution moderne proposée par D. Savoie pour trouver le centre d'un cadran à partir de deux points d'ombre donnés avec la déclinaison du Soleil.

Assez peu d'astronomes se sont consacrés à la gnomonique d'un point de vue « professionnel » : on peut citer Jean-Dominique Cassini (1625–1712) et son fils Jacques Cassini (1677–1756), tous les deux auteurs de méridiennes célèbres, celle de Bologne pour le premier ², et celle de l'Observatoire de Paris pour le second ³. Citons aussi Jean Picard (1620–1682), auteur d'un traité posthume sur les cadrans solaires et créateur entre autres des célèbres cadrans solaires de la Sorbonne ⁴ à Paris. Et enfin Jacques Ozanam (1640–1718), quasi contemporain de Philippe de La Hire, auteur de plusieurs ouvrages de gnomonique particulièrement originaux.

La Hire, membre de l'Académie des sciences, ne s'est pas seulement intéressé aux cadrans solaires ; il est aussi l'inventeur d'un type particulier d'astrolabe qui fonctionne sous toutes les latitudes qui porte son nom. On peut affirmer qu'en étudiant ces instruments anciens, La Hire s'est attelé à une recherche d'universalité dans leur usage et leur construction.

1 La gnomonique de La Hire

Philippe de La Hire publie deux traités de gnomonique en 1682 et 1698, le second étant parfois considéré non pas comme une réédition augmentée du premier mais bien comme un

1. Universcience et Observatoire de Paris (denis.savoie@universcience.fr).

2. Giovanni Paltrinieri, *La Meridiana della Basilica di San Petronio in Bologna*, ed. Centro Editoriale S. Stefano, 2001.

3. Pascal Descamps, « La ligne méridienne de l'Observatoire de Paris : une analyse des registres des observations de Cassini II de 1730 à 1755 », *Revue d'Histoire des Sciences*, t. 67, 2014/1, p. 35–70.

4. Andrée Gotteland, « Les cadrans solaires de l'abbé Picard à la Sorbonne », *L'Astronomie*, octobre 1983, vol. 97, p. 429–436.

nouveau traité. Ces deux ouvrages constituent une rupture avec tout ce qui se publie à l'époque et pour bien comprendre leur originalité, il faut faire quelques rappels sur le contexte.

La gnomonique fait l'objet d'une littérature volumineuse au milieu⁵ du XVII^e siècle ; elle est dominée en France par deux auteurs : le premier est Pierre Bobynet (1593–1668), dont l'*Horographie curieuse* et ses multiples déclinaisons connaît 18 éditions entre 1644 (*princeps*) et 1690 ; le second est Pierre de Sainte Marie Magdeleine dont l'*Horlogiographie* connaît 11 éditions entre 1641 (*princeps*) et 1701. Ces deux ouvrages traitent de la construction de toutes sortes de cadrans solaires, avec des explications simples et pragmatiques, assez peu de démonstrations mathématiques, le tout accompagné d'une riche iconographie.

Pour tracer un cadran solaire au XVII^e siècle, on dispose schématiquement de trois méthodes qui cohabitent parfois dans le même ouvrage :

- les méthodes géométriques utilisant la règle et le compas. L'ouvrage typique est celui de Christopher Clavius (1538–1612) dont la *Gnomonique libri Octo* publiée à Rome en 1581 n'invite pas vraiment, de par son obscurité et ses méthodes de tracé compliquées, à réaliser des horloges solaires. Par la suite, les auteurs tentent de simplifier le tracé des épures ; le lecteur n'a plus qu'à suivre comme une recette de cuisine la construction du cadran. Il faut souligner que la recherche d'exhaustivité dans tous les types d'heures à faire figurer (italiques, babyloniennes, antiques...) ajoute à la complexité des méthodes développées. Les deux opus de La Hire s'inscrivent dans ce sillage de traités où l'on construit un cadran solaire exclusivement par la géométrie.
- les méthodes utilisant le calcul trigonométrique (plan ou sphérique) et des tables, qui sont de loin les plus précises ; pour une latitude donnée par exemple, on trouve directement l'angle tabulaire entre une ligne d'heure et la ligne méridienne, qu'il suffit de reporter soit avec un rapporteur, soit par trigonométrie.
- enfin les méthodes utilisant des instruments mécaniques de type *sciathère*. Clavius a d'ailleurs décrit leur usage dans son *Fabrica et Usus Instrumenti* publié en 1586 à Rome. Pour les cadrans solaires à l'intérieur d'une pièce (à réflexion par exemple), on trouve également des mécanismes ingénieux où le réseau de lignes horaires et de courbes est projeté via une source de lumière qui fait office de soleil⁶.

Mis à part dans le cas (peu répandu) où l'on utilise un instrument de tracé mécanique, la construction d'un cadran solaire nécessite de connaître certains paramètres comme la latitude ou l'orientation du mur, ce dernier critère étant le plus problématique à déterminer (boussole ou méridienne). Quant à l'inclinaison du plan du cadran, ce paramètre est systématiquement passé sous silence, la réalisation de cadrans inclinés déclinants étant hors de portée par les méthodes décrites précédemment. On se contente donc en général de cadrans « classiques » horizontaux ou verticaux orientés, voire de cadrans inclinés pour des valeurs particulières, pour lesquels les constructions sont généralement simples y compris pour placer le style dans la direction du pôle céleste Nord.

Philippe de La Hire publie en 1682 son premier traité intitulé *La gnomonique ou l'art de tracer des cadrans ou horloges solaires sur toutes sortes de surfaces par différentes pratiques*, composé de 196 pages, 46 tables (déclinaison du Soleil de 1681 à 1684 plus les latitudes de villes), les figures — austères et purement géométriques sans fioriture — étant incluses dans les

5. Voir Anthony Turner, « La gnomonique : livres en langue française imprimés entre 1500 et 1800 », *Bulletin de l'Association nationale des collectionneurs et amateurs d'horlogerie ancienne*, 1987, n° 50, p. 55–72.

6. Voir par exemple Ignace Gaston Pardies, *Deux machines propres à faire les cadrans*, Paris, 1673 ; sur cette invention, voir August Ziggelaar, « Une invention oubliée : deux instruments pour la construction des cadrans solaires », *Centaurus*, 1968, vol. 13, p. 187–197.

chapitres⁷. L'édition de 1698 voit son titre modifié : *La gnomonique ou méthodes universelles pour tracer des horloges ou cadrans sur toutes sortes de surfaces* contient 274 pages augmentées de 10 tables, les figures étant regroupées en planches à la fin de l'ouvrage⁸. La préface est réjouissante pour un gnomoniste puisque La Hire y affirme « qu'entre toutes les parties de Mathématique qui sont utiles dans la vie, il n'y en a point qu'on doive plus estimer que la construction des horloges ou cadrans solaires ». Il précise par ailleurs le rôle des cadrans dans la régulation des horloges mécaniques : on retrouve la préoccupation de réaliser des cadrans solaires précis servant de référence.

Fait rare, l'édition *princeps* fera l'objet d'une traduction en anglais par le mathématicien John Leek suivie de trois éditions : 1685, 1693 et 1709. Cela souligne l'importance au passage de la nouveauté des méthodes développées par La Hire, lequel n'est pas un néophyte⁹ dans le domaine des cadrans solaires. Il a de plus travaillé avec Picard et il publiera en 1693, en la terminant, son édition posthume *De la pratique des grands cadrans par le calcul*. Contrairement aux traités de La Hire, celui de Picard fait un usage quasi-exclusif de la trigonométrie sphérique, complété par les logarithmes, pour résoudre les problèmes, avec des exemples numériques. L'ouvrage de Picard ne s'adresse pas au premier venu et son préambule est très clair à ce sujet : « Si l'on voit peu de grands cadrans qui soient bons, cela vient autant de la difficulté qu'il y a de bien pratiquer en grand et sur un mur les règles vulgaires de la gnomonique, que de l'ignorance de ceux qui ont, pour ainsi dire, avili cette curieuse et utile partie des Mathématiques ». On peut dire que celui de La Hire est dans la même veine¹⁰.

L'innovation majeure des deux traités de La Hire tient au fait qu'il propose de tracer un cadran solaire d'orientation et d'inclinaison quelconques inconnues, sans connaître en plus la latitude du lieu ou le temps donné par une horloge, sans équation, et sans trigonométrie. Le seul paramètre qui doit être connu est la déclinaison du Soleil, que l'on trouve avec ses tables ou dans les éphémérides ; il faut seulement utiliser un « faux style », c'est-à-dire un gnomon dont l'extrémité est munie d'un œilleton pour une meilleure lecture du point de lumière dans l'ombre. On peut résumer le problème de la façon suivante : « soit un gnomon de hauteur PK perpendiculaire à un plan et soient deux points A et B correspondant à l'ombre du gnomon à deux instants de la journée. Construisez un cadran solaire ! ». Mais La Hire donne aussi une méthode basée sur trois points d'ombre, dans laquelle la connaissance de la déclinaison du Soleil n'est pas nécessaire, mais elle suppose que celle-ci reste constante.

Ce qui frappe d'emblée est la généralité de la méthode : dans presque tous les ouvrages de gnomonique parus depuis le XVI^e siècle, chaque cadran fait l'objet d'une méthode particulière

7. La Hire a inclus à la fin de l'ouvrage un chapitre sur la construction d'un cadran solaire à réflexion.

8. Un nouveau chapitre sur les cadrans portatifs fait son apparition dans l'édition de 1698.

9. Il expose à l'Académie Royale des Sciences les 9 et 16 mars 1680 une nouvelle méthode pour faire des cadrans solaires qui fait l'objet d'une publication le 1^{er} juillet dans le *Journal des Savants*, intitulée « Manière universelle pour faire des cadrans solaires », p. 191-192. La Hire lit à la même Académie un traité sur les cadrans solaires entre janvier et avril 1682 qui aboutit en septembre à la publication de sa *Gnomonique*. Sur son intérêt pour les cadrans solaires qui lui aurait été donné lors de la visite à Rome du célèbre cadran à réflexion du père Maignan à la Trinité des Monts, voir Thierry Verdier, « Les années romaines, 1660-1661, la naissance d'une culture scientifique », p. 28-29, dans *Philippe de la Hire, 1640-1718, entre architecture et sciences*, dir. A. Becchi, H. Rousteau-Chambon, J. Sakarovitch, 2009.

10. Dans son éloge de M. de La Hire, *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, 1718, p. 81, Fontenelle surenchérit : « Dans la même année 1682 il donna un traité de gnomonique, qu'il réimprima en 1698 fort augmenté et fort embelli. Cette science n'était presque qu'une pratique abandonnée le plus souvent à des ouvriers peu intelligents et grossiers, dont on ne reconnaît point les fautes, car chacun se contente de son cadran et ne le compare à rien. M. de La Hire éclaira la gnomonique par des principes et des démonstrations, et réduisit aux opérations les plus sûres et les plus aisées et pour ne pas trop changer son ancien état, il eut soin de faire imprimer les démonstrations dans un caractère différent de celui des opérations, et donna par là aux simples ouvriers la commodité de sauter ce qui ne les accommodait pas, tant il faut que la science ait de ménagement pour l'ignorance qui est son aînée, et qu'elle trouve toujours en possession ».

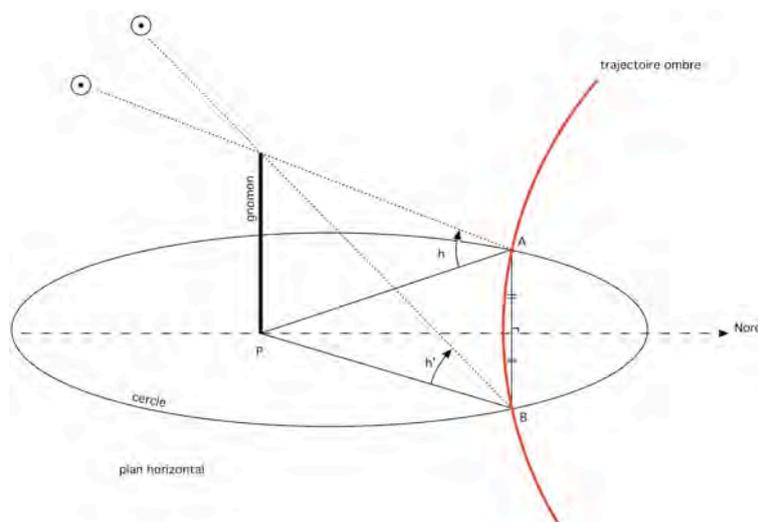


FIGURE 1

selon qu'il est horizontal, vertical, polaire, équatorial, déclinant, etc. À la différence de ses prédécesseurs, il y a chez La Hire une recherche d'universalité tout à fait novatrice dans la façon dont est abordé la construction d'un cadran, dont il explique ensuite le tracé pour différents types d'heures (astronomiques, italiques, babyloniennes...). La Hire généralise en réalité une méthode connue depuis l'Antiquité, appelée méthode¹¹ du « piquet indien », et qui consiste à déterminer le méridien du lieu par l'intersection de l'hyperbole journalière décrite par l'extrémité de l'ombre d'un gnomon avec un cercle. En prenant la bissectrice de la droite joignant les deux points (cf. fig. 1), on obtient le méridien du lieu, avec une précision d'autant plus grande si la déclinaison du Soleil est quasiment invariable comme au voisinage des solstices.

Sur un mur, le même principe peut être utilisé : on pointe à deux instants de la journée l'extrémité de l'ombre d'un gnomon perpendiculaire afin de déterminer sa plus courte distance. On obtient ainsi ce que l'on appelle la sous-stylaire du cadran, qui est la projection du style polaire sur le plan vertical (cf. fig. 2 page ci-contre). De là, par constructions géométriques à l'aide de la règle, du compas et du fil à plomb, on détermine le point d'implantation du style polaire¹², la droite équinoxiale perpendiculaire à la sous-stylaire, la ligne midi et enfin les autres lignes horaires¹³. La détermination de la sous-stylaire sur un plan incliné et déclinant se fait de la même façon.

Il est probable que La Hire se soit largement inspiré d'un auteur dont il était proche, Girard Desargues¹⁴ (1591–1661) mathématicien lyonnais prolifique, auquel il faut associer le graveur Abraham Bosse (1602/04–1676). Dès 1640, Desargues publie deux textes sur la façon de positionner un style polaire, que reprend Abraham Bosse en 1643 dans *La manière universelle de Mr Desargues lyonnais pour poser l'essieu et placer les heures et autres choses aux cadrans au Soleil*, au frontispice bien connu. L'ouvrage est richement illustré et on y retrouve la méthode de détermination de la position du style par les points d'ombre ; plus précisément, on cherche

11. Voir Denis Savoie, « Usages astronomiques du gnomon au cours des siècles », *Comptes Rendus Geoscience*, 350, 2018, p. 490. À noter que dans ses *Tables astronomiques*, 3^e éd., Paris, 1735, La Hire insère un chapitre sur la construction et l'usage du gnomon p. 183-186.

12. Voir chapitre VI du traité de 1682.

13. Cette méthode, qui consiste à considérer un cadran incliné et déclinant comme un cadran horizontal fonctionnant à une autre latitude et une autre longitude (appelée aujourd'hui « latitude équivalente ») était déjà connue au IX^e siècle d'un astronome comme Thabit Ibn Qurra.

14. Jean Pares, « La gnomonique de Desargues à Pardies », *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, n° 17, 1988.

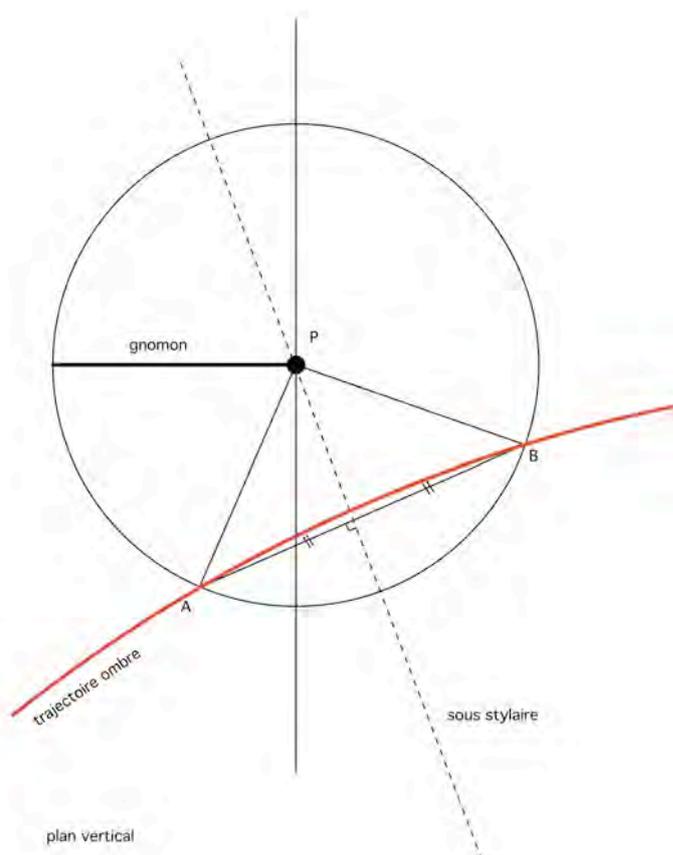


FIGURE 2

un cercle de section du cône des rayons solaires passant par le sommet du style, trois directrices étant données ¹⁵.

L'année suivante, un opuscule signé Sieur R. A. (?) est édité et propose ni plus ni moins *La manière de décrire un quadrant des heures à la française sur toutes sortes de superficie plane, sans savoir la hauteur du pôle du lieu, la déclinaison ou inclinaison du plan, à l'aide seulement de deux points d'ombre pris au hasard, et sachant la déclinaison du point du zodiaque où se trouve le soleil*. Ces méthodes expéditives seront encore en usage un siècle plus tard dans la *Gnomonique* de Blaise ¹⁶ et saluées par l'astronome Lalande ¹⁷ dans son *Encyclopédie méthodique* (voir l'appendice ci-après pour une solution moderne du problème).

La Hire construit en partie ses deux traités sur cette base des points d'ombre, qui permet de s'affranchir de la connaissance de quantités jugées incontournables depuis toujours. À aucun moment il utilise une formule mathématique. Pour chaque problème, La Hire donne la méthode de construction, suivie de la démonstration géométrique. L'énoncé du problème de la partie V du chapitre II (édition 1698, p. 115) illustre parfaitement la teneur de l'ouvrage ¹⁸ : *Trois*

15. Voir Sébastien Maronne, « Une autre géométrie de Descartes : le problème des trois bâtons ou "comment démêler les équations" », dans *Cheminer avec Descartes*, sous la dir. de T. Gress, Paris, 2018, p. 313–341. Ce problème remonte au moins à Diodore d'Alexandrie au II^e siècle av. J.-C. et sera repris ou redécouvert par la suite par de nombreux auteurs avec des variantes ; citons Metius, Desargues, Descartes, Ozanam, Newton, Delambre, etc. Sur la méthode de Diodore d'Alexandrie, voir Otto Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Berlin-Heidelberg-New York, ed. Springer-Verlag, 1975, p. 840–842. Sur la solution moderne du problème, voir André Warusfel, « Deux problèmes historiques de gnomonique », *Cadran Info*, n° 17, mai 2008, p. 96–104.

16. Pierre Blaise, *La gnomonique ou la science des cadrans*, Paris, 1744, p. 52

17. Jérôme Lalande, *Encyclopédie méthodique*, t. 1, Paris, 1784, p. 243, qui attribue le procédé à Desargues.

18. L'édition de 1698 est divisée en sept parties.

points d'ombre étant donnés sans connaître la hauteur du pôle ni la déclinaison du Soleil : trouver le centre du cadran. Dans ce problème, La Hire obtient la position du centre du cadran, c'est-à-dire le point d'implantation du style polaire, à partir de trois points d'ombre, le plan étant quelconque ; la figure 26 de l'ouvrage (cf. fig. 3) qui est indispensable à la compréhension de la solution donne aussi une idée de la complexité de la construction ¹⁹.

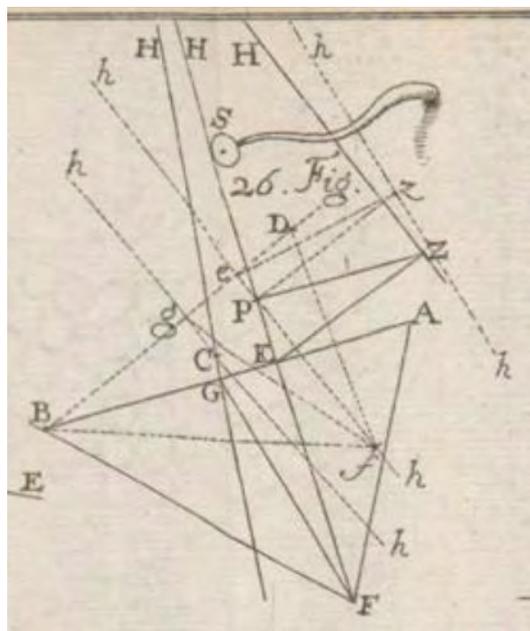


FIGURE 3

Les deux éditions contiennent en outre un problème curieux de géométrie de reconstruction d'un cadran solaire : étant donné quatre lignes horaires et la droite des équinoxes, construisez les autres lignes. Ce problème sera notamment repris et commenté par Michel Chasles dans son histoire de la géométrie ²⁰ en 1837 qui en soulignera l'originalité.

2 L'astrolabe de La Hire

Bien qu'au XVIII^e siècle l'astrolabe planisphérique soit tombé en désuétude, La Hire publie ²¹ en 1701 une étude intitulée « Construction d'un nouvel astrolabe universel ». On sait que l'astrolabe « classique » qui remonte à l'Antiquité, doit comporter autant de tympanes que de lieux s'il doit être utilisé pour plusieurs latitudes. Dès le XI^e siècle, l'astronome al-Zarqali (1029–1087), latinisé en Arzaquiel, met au point un astrolabe fonctionnant sous toutes les latitudes, qu'on appelle *saphaea* ²². Pour ce faire, il utilise la projection stéréographique comme pour un

19. Voir Yvon Massé, « Méridienne par 3 points d'ombre », *Cadran Info* n° 13, 2006, p. 55–59. La méthode des 3 points d'ombre se trouve aussi traitée par Pierre Bobynet dans son *Horographie curieuse*, La Flèche, p. 1644, 150–153 ; mais il ne donne aucune indication sur sa source qu'il qualifie de « bon esprit fort ingénieux et inventif qui a gravé de sa main toutes nos figures ». On peut toutefois imaginer qu'étant à La Flèche, Bobynet y a peut-être rencontré Picard.

Dans l'édition de *La Gnomonique* de La Hire de 1682, p. 71–76, on trouve également le problème « Pour trouver le centre avec 3 points d'ombre ».

20. Michel Chasles, *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, Bruxelles, éd. Hayez, 1837, p. 118–119 et p. 550–551.

21. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, décembre 1701, p. 257–262.

22. L'exposé le plus complet sur les astrolabes, y compris les astrolabes universels et sur celui de La Hire se trouve dans Raymond D'Hollander, *L'Astrolabe, Histoire, théorie, pratique*, ed. Institut Océanographique, Paris,

astrolabe classique, mais place son centre de projection au point vernal et projette les étoiles sur le plan du colure des solstices ; rappelons que dans l’astrolabe classique, le plan de projection est l’équateur et le point de projection le pôle Sud. Gemma Frisius (1508–1555) a repris ce principe²³ au XVI^e siècle et on appela alors astrolabe catholique la *saphaea d’Arzaquiel*.

À la même époque, D. Juan Rojas Sarmiento²⁴ mit au point un autre type d’astrolabe universel, toujours en utilisant le colure des solstices comme plan de projection, mais en mettant son point de vue à l’infini (projection orthographique) dans la direction du point vernal.

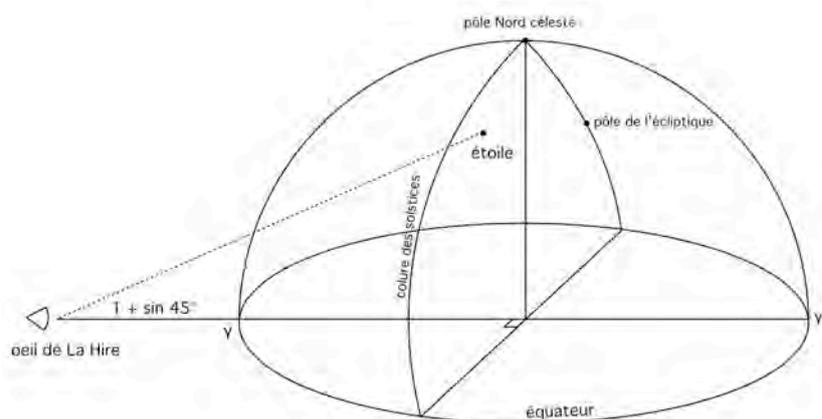


FIGURE 4

La Hire commence son étude sur l’astrolabe en donnant les avantages et inconvénients des trois types de projections antérieures et opte pour un point de vue situé à $(1 + \sin 45^\circ)$ perpendiculairement au plan du colure des solstices (cf. fig. 4). Il entend par là résoudre le problème d’une contraction du réseau de courbes célestes due au système de projection. L’astrolabe de La Hire se compose d’un réseau de courbes elliptiques régulièrement espacées, alors que la *saphaea* a son réseau resserré au voisinage du méridien central et l’astrolabe de Rojas a son réseau resserré pour les parallèles et méridiens de 70° à 80° . Si la lecture se trouve en effet améliorée avec l’astrolabe de La Hire, il n’en reste pas moins que son astrolabe universel (comme les autres astrolabes de ce type) est d’un emploi peu aisé et nécessite une méthode itérative pour déterminer l’heure solaire. Ajoutons que l’utilisateur doit se familiariser avec un mouvement de la sphère céleste représenté par des parallèles et non plus des cercles, ce qui n’est pas intuitif.

À priori, on ne connaît aucune réalisation d’un astrolabe « ancien » de La Hire ; pourtant dès 1702, le fameux constructeur d’instruments Nicolas Bion (1652–1733) publie un traité sur l’astrolabe²⁵ où il décrit celui de La Hire, non sans le présenter comme supérieur aux autres à tout point de vue. Bion transforme l’astrolabe en pendant du cadran solaire puisqu’il explique le tracé des heures italiques, babyloniennes, planétaires, ainsi que les maisons célestes, et donne même une méthode pour tracer un cadran solaire horizontal et vertical à l’aide de l’astrolabe

1999, p. 235-282. Henri Michel, *Traité de l’astrolabe*, Paris, éd. Gauthier-Villars, 1947, p. 21, traite au pas de course l’astrolabe de la Hire, mais son exposé a le mérite de la clarté. Sur l’aspect historique des astrolabes, voir Emmanuel Pouille, *Les instruments astronomiques du Moyen Âge*, Paris, éd. Société internationale de l’astrolabe, 1983.

23. Gemma Frisius, *De astrolabo catholico liber*, Anvers, 1550. « Astrolabe catholique » signifie évidemment « astrolabe universel ».

24. Juan de Rojas, *Commentarium in astrolabium*, Paris, 1550. L’ouvrage traite également de gnomonique (sommairement) et des nombreux usages de l’astrolabe.

25. Nicolas Bion, *L’usage des astrolabes tant universels que particuliers*, Paris, 1702. Il est amusant de constater que l’approbation de l’ouvrage est signée *De La Hire*.

de La Hire! Bion est aussi l'auteur du seul tracé connu (cf. fig. 5), fabriqué en papier coloré et conservé au National Maritime Museum] à Greenwich²⁶.

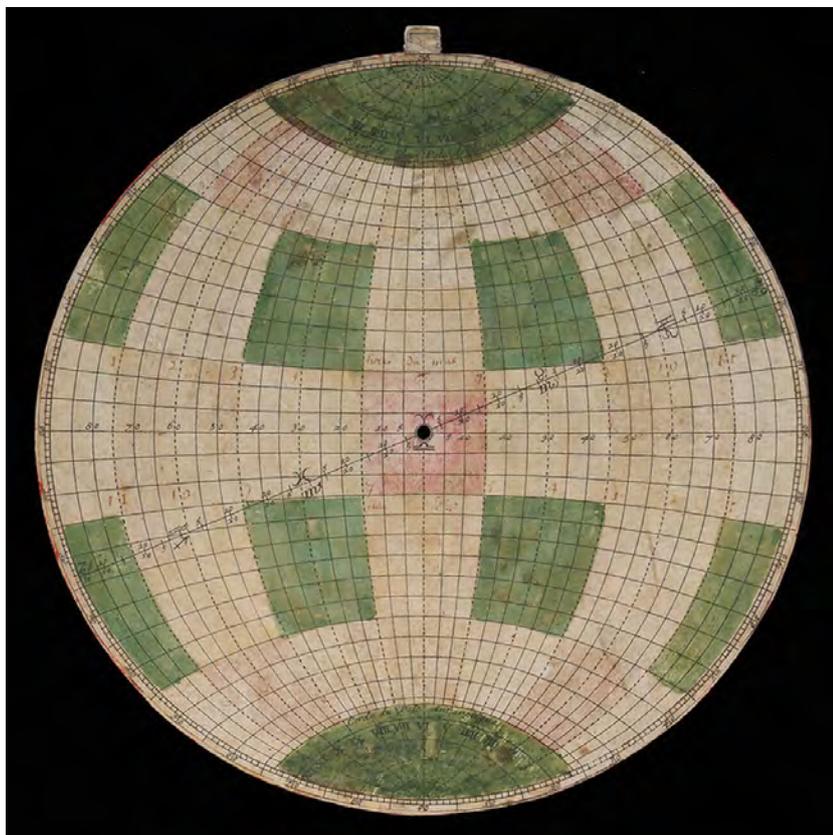


FIGURE 5

Il est difficile de dire quel a été le succès de ces méthodes d'un point de vue pratique; le jugement de Delambre sur la Gnomonique de La Hire est mitigé mais assez réaliste²⁷ quant à la précision médiocre du tracé qu'on obtient avec ces procédés, qui ne s'adressent d'ailleurs qu'à des experts rompus aux méthodes géométriques. Delambre préfère, — avec raison —, les ouvrages²⁸ d'Ozanam, auteur de plusieurs traités de gnomonique très clairs et qui se placent sur le même terrain, à savoir le tracé de cadrans sur des surfaces quelconques.

On pourrait être étonné que deux siècles et demi plus tard plus tard, l'astronome Guillaume Bigourdan²⁹ dans sa Gnomonique renvoie le lecteur à l'édition de 1682 de La Hire pour le tracé des cadrans inclinés. Il faut voir ici la grande complexité que soulevait encore au début du XX^e siècle le tracé des cadrans les plus généraux par voie trigonométrique et un hommage à l'approche originale de La Hire.

Celle-ci reste néanmoins purement géométrique et pêche d'un manque de pragmatisme certain qui classe plutôt les deux ouvrages de gnomonique de La Hire dans la catégorie des essais

26. Voir James E. Morrisson, *The Astrolabe*, Rehoboth Beach, ed. S. D. Myers Publishing Services, 2007, chap. 15. Bion a fabriqué deux autres tracés d'astrolabes universels en papier.

27. Jean-Baptiste Delambre, *Histoire de l'astronomie au Moyen Age*, Paris, 1819, p. 627–628. Delambre en profite pour « tacler » Montucla qui n'a visiblement pas bien lu La Hire alors qu'il mentionne sa *Gnomonique* dans le « Supplément au quatrième livre contenant l'histoire de la gnomonique ancienne et moderne », *Histoire des mathématiques*, t.1, An VII, p. 731.

28. *Traité de gnomonique ou construction des cadrans solaires sur toutes sortes de plans*, Paris, 1673; *Méthode générale pour tracer des cadrans sur toutes sortes de plans*, Paris, 1685; et enfin *Cours de mathématiques*, Amsterdam, 1693.

29. Guillaume Bigourdan, *La Gnomonique*, Paris, éd. Gauthier-Villars, 1922, p. 134.

de géométrie plutôt que dans la catégorie des mathématiques appliquées, ce que sont justement les cadrans solaires. Il en est de même avec sa tentative de rendre universel les astrolabes.

Appendice

« Deux points d'ombre étant donnés avec la déclinaison du Soleil, trouver le centre du cadran » (chapitre I, cinquième partie, p. 111, édition de 1698).

Les deux points d'ombre sont ceux formés par l'extrémité de l'ombre d'un gnomon perpendiculaire à la table du cadran. Ils peuvent être obtenus dans la matinée puis l'après-midi, séparés de plusieurs jours d'intervalle. La méthode géométrique que décrit La Hire est très générale et s'applique à n'importe quelle surface plane, quelles que soient son inclinaison et son orientation. La latitude reste également inconnue. Le but est de trouver la position du style polaire, lequel pointe vers un pôle céleste. Une fois le style en place, on peut tracer les lignes horaires en matérialisant l'ombre du style à l'aide d'une horloge réglée par exemple ou à partir d'un cadran solaire de référence. Mais on peut également construire le cadran par la géométrie et le calcul en déterminant la position de l'équinoxiale (si elle existe) et de là les lignes horaires.

On donne ci-après la solution par le calcul trigonométrique qui montre la lourdeur du problème, alors qu'il existe des solutions géométriques expéditives.

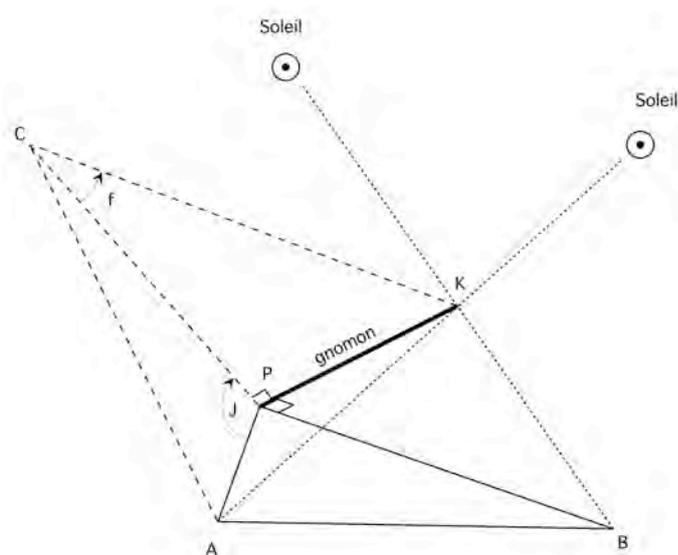


FIGURE 6

Soient un gnomon de longueur PK et C le centre du cadran (intersection du style polaire avec le plan), A et B deux relevés d'ombre. On mesure dans le tétraèdre KPAB les longueurs d'ombre PA et PB ainsi que la distance AB (figure 6 où les traits pointillés sont les éléments inconnus). On cherche l'angle f , angle entre le style polaire CK et sa projection sur le plan de la table (sous-styloire PC), ainsi que l'angle J, angle entre la direction de l'ombre PA et la sous-styloire. On connaît les deux valeurs δ_A et δ_B correspondant à la déclinaison du Soleil lors du tracé des points A et B. Considérons la sphère céleste de pôle P où K est le sommet du style droit, A le Soleil lors du premier relevé et B le Soleil lors du second relevé. On obtient le triangle sphérique PAB dans le quel on cherche f et J (figure 7 page suivante).

On a successivement :

$$\tan \zeta_A = PA/PK$$

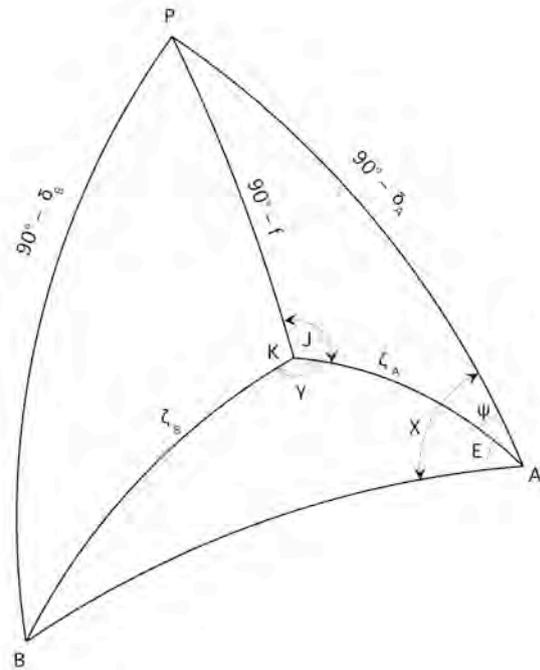


FIGURE 7

$$\begin{aligned} \tan \zeta_B &= PB/PK \\ \cos \gamma &= \frac{PA^2 + PB^2 - AB^2}{2 PA \times PB} \\ \cos \widehat{AB} &= \cos \zeta_A \cos \zeta_B + \sin \zeta_A \sin \zeta_B \cos \gamma \\ \sin E &= \frac{\sin \gamma \sin \zeta_B}{\sin \widehat{AB}} \\ \cos X &= \frac{\sin \delta_B - \sin \delta_A \cos \widehat{AB}}{\sin \widehat{AB} \cos \delta_A} \\ \Psi &= X - E \\ \sin f &= \sin \zeta_A \cos \delta_A \cos \Psi + \sin \delta_A \cos \zeta_A \\ \sin J &= \frac{\cos \delta_A \sin \Psi}{\cos f} \end{aligned}$$

On en conclut que sur le plan du cadran on a :

$$CP = PK/\tan f \quad \text{et} \quad CA^2 = CP^2 + PA^2 - 2 \times PA \times CP \cos J$$

Exemple : $PK = 5 \text{ cm}$, $PA = 8,9 \text{ cm}$, $PB = 5,7 \text{ cm}$, $AB = 11 \text{ cm}$, $\delta_A = -10^\circ$, $\delta_B = +20^\circ$.

$$\begin{aligned} \delta_A &= 60,673^\circ \\ \delta_B &= 48,743^\circ \\ \gamma &= 95,75^\circ \\ \widehat{AB} &= 75,089^\circ \\ E &= 50,718^\circ \\ X &= 66,024^\circ \end{aligned}$$

$$\Psi = 15,306^\circ$$

$$f = 47,995^\circ \approx 48^\circ$$

$$J = 157,141^\circ$$

d'où $CP = 4,5$ cm et $CA = 13,2$ cm.

Il s'agit ici d'un cas simple (cadran horizontal) ; pour un cadran incliné et déclinant, il faut discuter le signe de chaque quantité, ce qui n'est pas sans difficulté.



Vu en vitrine au musée des Arts & Métiers : un cadran multiple



Cadran solaire multiple par Blondeau (XVIII^e siècle), inv : 3903.

Cadran solaire de l'expédition d'Égypte

par Denis Schneider

À partir d'une aquarelle de N.-J. Conté peinte durant la Campagne d'Égypte et révélant un cadran solaire de l'AN VII, l'auteur mène l'enquête pour en déterminer et le concepteur et son lieu de réalisation. Il découvre de façon formelle, grâce au manuscrit du Journal d'un notable du Caire de Jabarti, que le concepteur est N.-A. Nouet et qu'il en a réalisé deux autres dans le palais d'Hassan Kachef. Seul, l'emplacement d'origine du cadran horizontal en cuivre est vraiment identifiable ; ce cadran a été retrouvé sur un site web de Christie's avec deux photos montrant, outre sa complexité, la présence des heures décimales ! Il a été vendu en 2007.

1 Introduction

En novembre 2018, visitant le cimetière Montparnasse avec des collègues, nous nous sommes arrêtés devant la tombe de N.-J. Conté (1755–1805), premier commissaire de la Commission d'Égypte. Je me souvins alors que j'avais chez moi une ancienne carte de vœux reproduisant une aquarelle de cet homme illustre appartenant à l'un de ses descendants (*cf.* fig. 1 page ci-contre).

On y voyait une cour surplombée d'un cadran solaire de l'AN VII, RF, avec au dos, « 1^{re} Campagne d'Égypte ». Notre guide, à qui j'adressais la photo de la reproduction de l'aquarelle, regrettait que le cadran ne fût pas à heures décimales après l'adoption récente du système métrique par une loi de 1793. C'était oublier que l'emploi du temps décimal ne dura que sept mois (du 22 septembre 1794 au 7 avril 1795), et disparut dix ans avant l'abandon du calendrier révolutionnaire en 1805. Chaque jour comportait dix heures, chaque heure cent minutes, chaque minute cent secondes ; 100 000 secondes décimales par jour au lieu de 86 400 secondes sexagésimales, une heure décimale valant 2,4 h duodécimales, c'est-à-dire 2 heures et 24 minutes. Donc, cadran à heures duodécimales avec 12 h pour midi et non 5 ! La première année révolutionnaire commença le 22 septembre 1792 ; l'an VII chevauche donc les années 1798 et 1799.

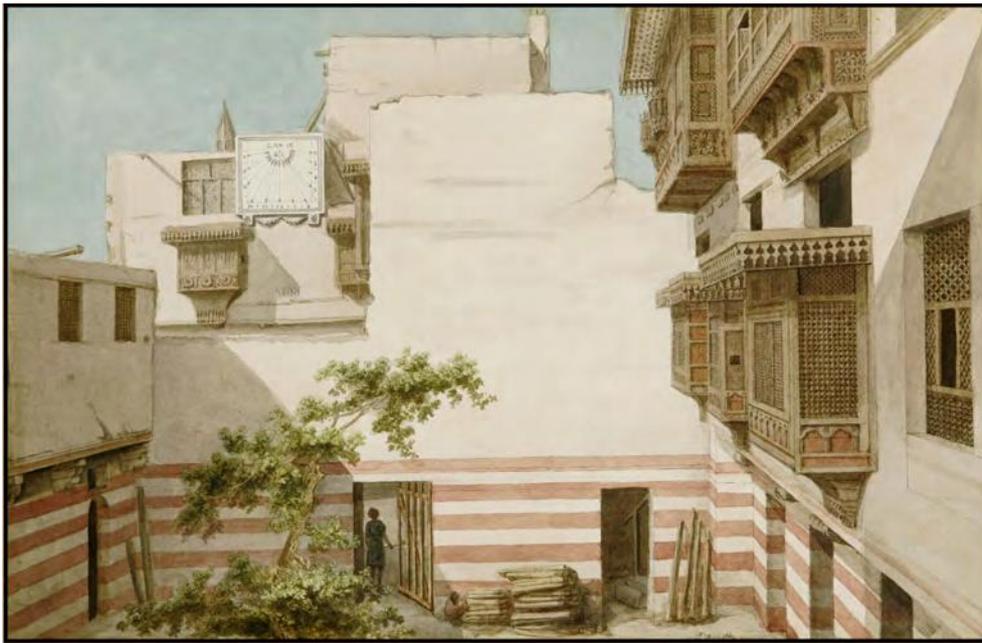


FIGURE 1

Le cadran solaire (*cf.* fig. 2) n'est pas parfaitement méridional puisque les heures extrêmes d'éclaircissement sont 6 h 30 le matin et 6 h 30 le soir, au lieu de 6 h/6 h ; avec une latitude de 30° pour le Caire et un mur porteur de 10° Ouest (Google maps), le cadran devrait afficher pour les heures extrêmes d'éclaircissement 6 h 20 le matin et 6 h 20 le soir et encore pas pour le même jour (13 avril et 1^{er} septembre pour le lever ; 27 février et 17 octobre pour le coucher), soit une faible différence. Comme le cadran occulte légèrement la fenêtre et qu'il dépasse le mur en hauteur, on peut penser qu'il est fait de planches peintes supportées par deux consoles avec motifs décoratifs entre les deux. L'ombre du style indique 14 h 40 et les autres ombres portées paraissent cohérentes avec cet horaire de sorte qu'on peut penser que Conté a peint l'ombre du style en dernier en oubliant le porte-ombre ! En effet, le style n'apparaît pas dans le plan méridien. . . C'est la ligne de midi qui se prolonge vers le haut et certainement pas ici le style que Conté a oublié de peindre, une ombre au tableau ! La projection orthogonale du style sur le cadran devait s'aligner sur 13 h 16.

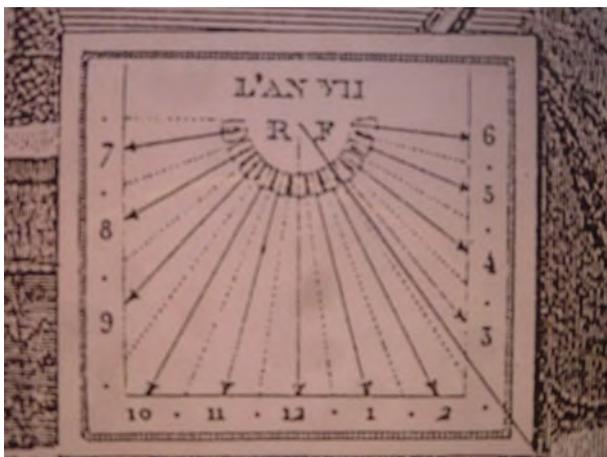


FIGURE 2

En 1989, Michel Dewachter, égyptologue au Collège de France, nous avait appris que c'était N.-A. Nouet qui l'avait calculé pour le palais d'Hasan Kachef mais j'ignorais d'où il tenait ces informations quant au cadran ; 30 ans plus tard, je pouvais bien tenter de vérifier ses dires.

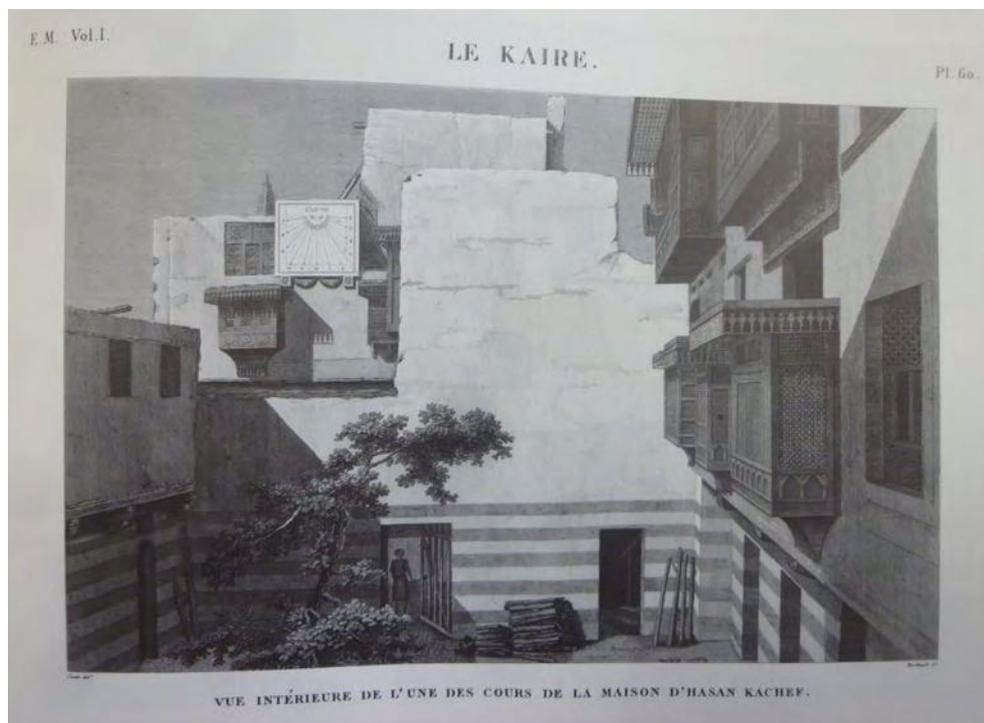


FIGURE 3

Les hasards du web m'apprentent que l'aquarelle de Conté avait été gravée en noir et blanc par P.-G. Berthault et se trouvait dans *La Description de l'Égypte* pl. 60, vol. 1, État moderne, avec pour légende : « Le Kaire », « Vue intérieure d'une des cours de la maison d'Hasan Kachef » (cf. fig. 3). « *La Description de l'Égypte* ou recueil des observations et des recherches qui ont été faites en Égypte pendant l'expédition de l'armée française » a été voulue par Bonaparte. Elle fut éditée en 23 volumes par l'Imprimerie impériale puis royale entre 1809 et 1829 et tirée à 1000 exemplaires sous la direction de E. Jomard. Plus de 100 graveurs vont s'atteler aux planches dès 1803. Le livre d'Y. Laissus, *Description de l'Égypte, une aventure humaine et éditoriale*, comporte pour la planche 60 un commentaire qui est un extrait du livre d'Abd-al-Rahman al Jabarti dont le paragraphe entier à propos de cadrans solaires s'avéra essentiel pour l'enquête. Mais pourquoi un cadran solaire de l'AN VII en Égypte, témoin de cette rencontre entre deux grandes cultures, la musulmane et la chrétienne, avec des conceptions de l'homme et de la société différentes¹ ?

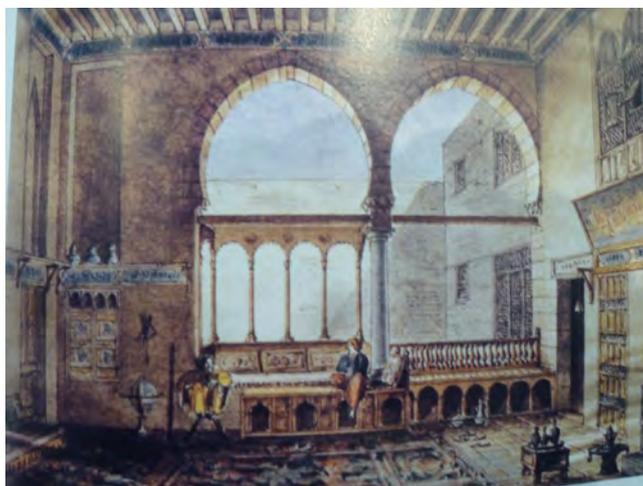
À cette époque, l'Égypte est pour l'Angleterre une voie pour commercer avec l'Inde. Bonaparte, qui ne peut attaquer directement l'Angleterre, rêve d'envahir l'Égypte pour en faire une base ultérieure contre l'Inde britannique. L'Égypte est alors sous tutelle des Ottomans ; on mettra par conséquent en avant que la conquête républicaine de territoires sous monarchie est toujours une libération et il n'y eut donc pas de déclaration de guerre. Bonaparte rêve de remporter des victoires sur des lieux prestigieux pour frapper l'imagination des Français, fasciné qu'il est par les champs de bataille où s'illustrèrent César et Alexandre. Au moment où

1. Les Français seront très surpris et enthousiastes de la découverte par l'orientaliste Joseph Marcel d'un cadran solaire islamique brisé au pied de la mosquée d'Ibn Touloun, disparu le lendemain mais dont heureusement la copie avait été faite.

se prépare une coalition contre la France, c'est une expédition folle de 35 000 soldats, de 16 000 marins à bord de plus de 300 bateaux de transport sans compter les bateaux de guerre mais qui débarrassait le Directoire d'un général encombrant. On invoqua des prétextes scientifiques même si les 160 savants embarqués l'étaient aussi pour faciliter la logistique militaire ; en fait, en embarquant, ils ne savaient pas où ils allaient exceptés Monge, Berthier et Caffarelli ! Après une partie de cache-cache en Méditerranée avec la flotte de Nelson, les bateaux ne purent accoster dans le port d'Alexandrie trop peu profond où *Le Patriote* s'échoua avec la perte de la plupart des instruments scientifiques. Ils s'abritèrent donc dans la baie d'Aboukir. Bonaparte entra au Caire en juillet 1798 (AN VI) et un mois plus tard il y fonde le 22 août l'Institut d'Égypte, quinze jours après la destruction de la flotte française par Nelson à Aboukir. Nous avons heureusement le témoignage écrit d'un autochtone sur l'occupation française avec un passage très instructif concernant les cadrans solaires : Jabarti, dans *Journal d'un notable du Caire* durant l'expédition française en Égypte, parle de l'astronome « Tût » (Nouet ?). Qui est Jabarti ? (cf. fig. 4). C'est un homme doublement favorisé par la fortune et le prestige des



(a)



(b)

FIGURE 4 – Jabarti, *Journal d'un notable du Caire*.

ulémas (savants) ; fils d'un fin lettré, il a étudié les mathématiques, l'astronomie et la médecine. Il écrit ce *Journal* à l'âge de 45 ans. C'est un homme seul, dissident, et précurseur qui écrit en marge des siens. Les Français fréquenteront peu les autochtones ; le général Menou, néanmoins, le choisit pour en faire l'un des neuf membres du 3^e Diwan (administration du Caire) institué par les Français. Il a écrit trois versions de ce *Journal* ; de polémiste, il est devenu analyste, abandonnant le ton de réquisitoire contre l'occupation pour approcher celui d'intelligence avec l'occupant qui lui coûtera une publication tardive (1880) après censure pour diffamation. C'est dans la 3^e version de ses écrits que se trouve le passage qui nous intéresse ; il parle dans sa chronique des cadrans solaires tout à la fin du mois de Shawwâl 1213 (Hégire), c'est-à-dire le 6 avril 1799, (17 germinal an VII), (cf. fig. 5 page suivante) . On peut penser que c'est pendant les trois premiers mois de 1799 que Nouet réalise non pas un mais trois cadrans solaires puisque la première version du *Journal* consacrée aux six premiers mois de l'expédition française n'en parle pas, que Nouet s'est absenté du Caire fin novembre 1798 pour plus d'un mois (du 23/11/1798 au 6/02/1799) et qu'avant le climat d'insurrection n'était guère favorable. De plus, c'est entre

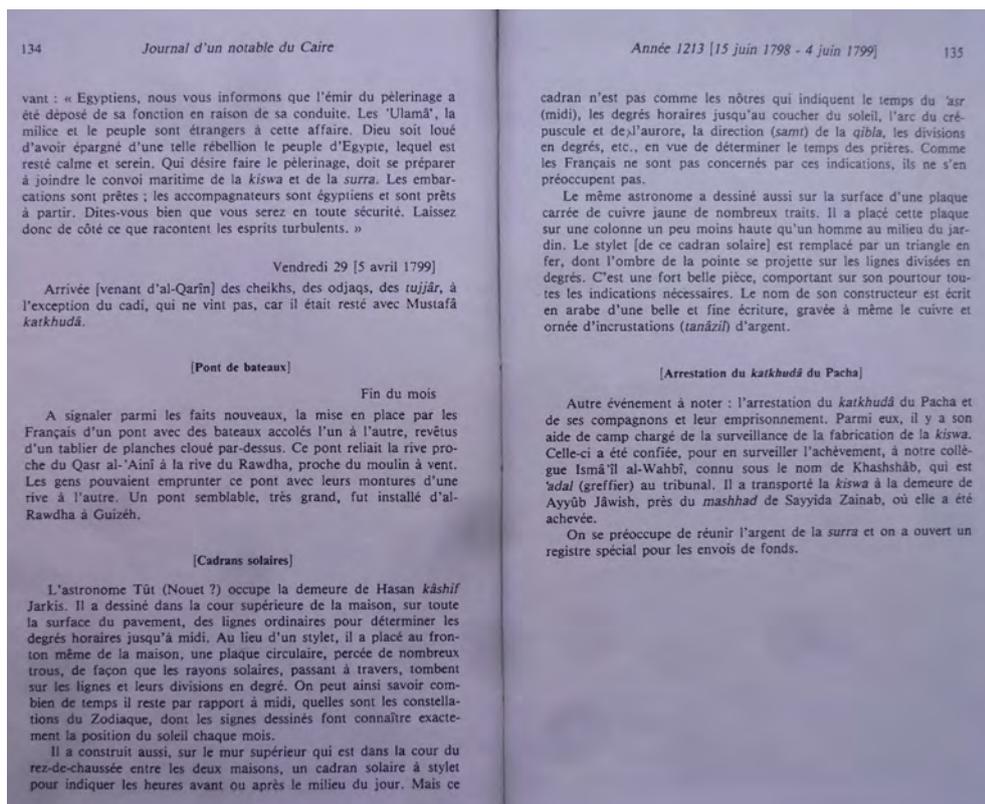


FIGURE 5

le 6 et le 19 février 1799 que Nouet rapporte dans *Observations astronomiques faites en Égypte* les évaluations de la latitude du Caire avec un cercle multiplicateur mesurant les distances méridiennes du soleil au zénith soit une valeur moyenne de 30,333°. Plusieurs traductions de la 3^e version du Journal de Jabarti ont eu lieu ; celle de Cardin en 1835 est lacunaire et très libre, celle faite par des Égyptiens en 1888 est déficiente avec beaucoup d’abrévés ; le seul point intéressant pour nous, c’est qu’ils parlent de l’astronome Tot, les Égyptiens modernes connaissant encore leurs dieux antiques. Près d’un siècle plus tard (1979), un Père blanc arabophone, Joseph Cuoq, propose une traduction essentielle pour notre enquête. J. Cuoq parle de « l’astronome « Tût » (Nouet ?) ». En fait, les traducteurs égyptiens ne connaissent pas Nouet et Cuoq ne pense pas au dieu Thot . . .

Jabarti s’amuse et les traducteurs ne le voient pas. Thot est, entre autres, le dieu égyptien du calendrier. C’est déjà savoureux d’assimiler l’astronome-cadranier au dieu Thot. Ils ignorent bien sûr que Nouet fut appelé aussi Nouette ; or, en arabe, non seulement les voyelles courtes ne s’écrivent pas, mais les lettres qui transcrivent les sons *N* et *T* ne divergent que par un point diacritique (déterminant) sur le corps identique de ces deux lettres (un point pour *N* au lieu de deux pour *T* ; le même son est écrit différemment à l’initiale et en position finale) (cf. fig. 6). Dans la transcription arabe, *NT* (« TN », puisqu’on la lit de droite à gauche) et *TT* sont presque similaires et la superposition écrite entre Nouette et Thot est presque parfaite. Mieux, comme me l’a appris Madame Assia Alaoui, professeur d’arabe à l’université J. Jaurès de Toulouse, à la lettre arabe transcrivant le son *N* peut s’attacher une semi-voyelle pour donner alors *Nawat* plus proche encore de *Nouette*, ou *Nout* ! Plus qu’un

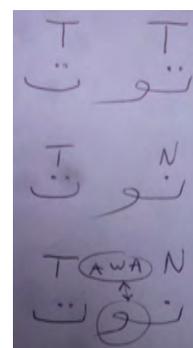


FIGURE 6

sobriquet, c'est le résultat d'un savoureux jeu de mots, une plaisanterie intraduisible ! Patrice Bret, chercheur au CNRS, avait pensé à la déesse égyptienne du ciel, Nout !

Il est amusant que sur le troisième cadran le nom de son auteur soit dit gravé en arabe ; Nouette sans doute plutôt que Thot ! Est-ce par coquetterie, esprit du temps, volonté d'être connu des autochtones ? Cela tranche avec *RF* du cadran de l'aquarelle ! En fait, le traducteur Abdelfattah Makoudi révélait que le nom du constructeur n'était pas écrit en arabe mais en calligraphie « toulout » ! Découverte auprès du même précieux traducteur qui m'apprit que le « H » du mot « Thot » s'écrivait en arabe et que l'hypothèse ne tenait plus guère. Il fallait mettre la main sur le manuscrit pour voir s'il n'y avait pas eu lors des éditions en arabe l'ajout d'un point sur l'initiale, auquel cas nous aurions sur le manuscrit *Nout*, la déesse du ciel certes, mais surtout la possibilité du patronyme « Nouet » lui-même. Rebondissement de dernière minute : Driss Mekouar, bibliothécaire de la section arabe au Collège de France, a identifié, sur la copie d'un manuscrit (BnF) de Jabarti, le nom de l'astronome Nawat et donc Nouet ! Les traducteurs avaient donc sous leurs yeux une édition imprimée comportant une « coquille » avec un point de trop sur le N, le transformant en T !

Mais qui est donc Nouet ou Nouette ?

Né en 1740, N.-A. Nouet (*cf.* fig. 7) fut d'abord moine cistercien à l'abbaye de L'Isle-en-Barrois (Lorraine) dépendant de celle de Morimond. Un destin hors du commun puisqu'il finira ses jours en 1811 avec le titre de colonel après avoir cartographié le premier le Mont Blanc ! Doué pour les mathématiques, Dom Nouet fut envoyé en 1786 par son supérieur pour parfaire ses connaissances afin qu'il devienne professeur de sciences dans le pensionnat établi à Morimond en faveur des enfants de la noblesse pauvre². N.-A. Nouet avait remplacé en 1793 le directeur de l'Observatoire de Paris Cassini IV qui avait démissionné à cause des interruptions de fonds pour travaux pour toutes les maisons royales. L'Observatoire royal devint l'Observatoire national, établissement de la République. Il a été choisi comme 1^{er} astronome de l'expédition d'Égypte de 1798 (avec Quenot et Méchain).



FIGURE 7

Le 22 août 1798 est créé au Caire l'Institut d'Égypte dont Nouet va faire partie en étant l'un des doyens. Il sera chargé d'établir le cadastre du Caire, déterminera longitudes et latitudes de différentes villes, accompagnera Bonaparte en vue d'étudier le percement de l'isthme de Suez, réalisera des études sur la pression atmosphérique, les vents ou l'état du ciel, calculera la hauteur de la pyramide de Chéops et présentera un annuaire rassemblant les divisions du temps selon l'usage des Français, des Coptes et des Turcs. Voilà le rôle de Nouet en Égypte et le problème de l'auteur du cadran dépassé mais où le cadran a-t-il été réalisé ?

Le Quartier de l'Institut est placé à 2 km au sud du Quartier général où loge Bonaparte ; c'est le quartier de Nasrieh où Monge, Berthollet et Caffarelli ont réquisitionné des palais (*cf.* fig. 8 page suivante).

Les séances de l'Institut se déroulent deux fois par décade (primidi et sextidi) dans l'ancien harem du palais d'Hasan Kachef qui s'ouvre sur la grande cour (dans ce palais, logeaient Monge et Berthollet et un observatoire venait d'être installé) (*cf.* fig. 9 page suivante).

2. Six mois après être entré premier élève de Cassini IV, il fut également nommé aumônier de la chapelle de l'Observatoire mais c'est à tort qu'on a pu parler de cette chapelle car les messes étaient célébrées dans l'appartement de Cassini IV après que Cassini I^{er}, devenu aveugle, en avait obtenu l'autorisation. Dom Nouet devint le 13 février 1790 simple citoyen car l'Assemblée constituante avait supprimé tous les ordres monastiques.

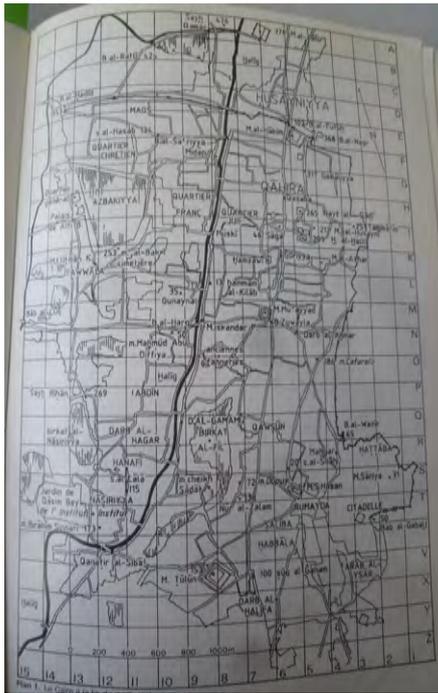


FIGURE 8



FIGURE 9

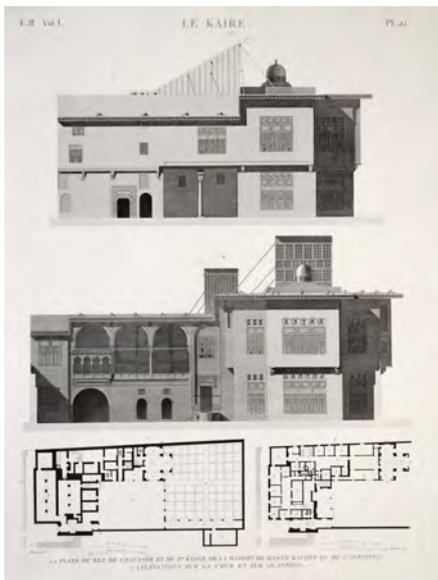


FIGURE 10



FIGURE 11

Or les plans et élévations de ce palais établis par J.-C. Protain ne révèlent aucune autre cour que la grande³ (cf. fig. 10). On parvient à subvenir à l'absence de points cardinaux en repérant les puits d'aération (*malqaf*) ouverts au Nord pour capter l'air frais du delta (cf. fig. 11). À quel palais la cour de service peinte par Conté appartient-elle donc ? Le livre de R. Solé, *Les savants*

3. Autre erreur : pas de baie ouest sur le plan du RDC de la salle des séances de l'Institut (pl 54, Protain) alors qu'elle apparaît planche 56 du même Protain !

de Bonaparte, nous apprend que le quartier de l'Institut est composé de quatre palais contigus (ceux d'Hasan Kachef, d'Ibrahim el Sennari, de Qasim Bey et la maison d'Ali Youssef) ; E. Pauty ne parle que des trois premiers personnages et de leurs palais. Ces hommes importants provenaient de la caste gouvernante qui se recrutait par la cooptation de mamelouks dont les ancêtres étaient issus d'esclaves affranchis et convertis achetés hors d'Égypte. Les plans du palais d'Ibrahim el Sennari révèlent des cours non conformes à celle de l'aquarelle ; c'est là que logeaient les peintres et dessinateurs de l'expédition. On ne dispose malheureusement d'aucun plan du palais de Qasim bey (qui abritait la bibliothèque de l'Institut et où logeaient Geoffroy St Hilaire et Villoteau) mais la gravure d'une façade de ce palais révèle les bandes alternées horizontales assez semblables à celles de notre cour ;

Ce palais est situé immédiatement au sud de celui d'Hasan Kachef comme il est écrit dans le Bulletin de l'Institut égyptien : *à l'entrée de l'étroite rue qui y menait (au palais d'Ibrahim al Sennari), à droite, c'était celui de Qasim Bey abou Seif, grand amateur de jardin, à gauche Hasan Kachef le Circassien achevait de faire bâtir le sien, fruit de ses exorbitantes rapines (cf. fig. 12)*. À bien lire Jabarti, *sur le mur supérieur qui est dans la cour du rez-de-chaussée entre deux maisons, un cadran solaire . . .* et à mieux regarder l'aquarelle de Conté, on voit que le mur porteur du cadran est situé de l'autre côté de la ruelle que l'on devine à travers la porte ouverte de la petite cour (curieux néanmoins que la porte soit à claire-voie pour une entrée ; peut-être la ruelle Hasan Kachef entre les deux palais était-elle fermée au niveau de la rue El Komi, devenant « la cour du rez-de-chaussée entre deux maisons » ?). Sur l'aquarelle comme sur le plan, on voit un petit retour en équerre rétrécissant la ruelle avec, sur l'aquarelle, la face latérale d'un moucharabieh s'ouvrant à l'ouest. Ce retour n'est pas assez large pour loger le moucharabieh mais un autre retour sur la partie grisée en face du premier permet de penser qu'une poutre pouvait prendre appui sur eux et soutenir un bâti ; si le mur porteur du moucharabieh ouest se prolongeait jusqu'au sol, la porte à claire-voie serait obstruée ! On pouvait donc raisonnablement conclure que le cadran est bien sur le mur le plus méridional du palais d'Hasan Kachef et que pour le voir il fallait se situer au premier étage nord de cette partie du palais de Qasim Bey ou depuis le moucharabieh ouest, très difficilement dans la ruelle. Le cadran a-t-il été conçu pour lire l'heure solaire depuis la bibliothèque de l'Institut d'où il aurait été également peint ? La légende de la planche 60 n'est donc pas juste ; Patrice Bret m'a confirmé qu'il ne peut en aucun cas s'agir d'une cour du palais d'Hasan Kachef. Il faut dire que Conté meurt en 1805 et que la première édition de la Description de l'Égypte, l'impériale, débutera en 1809. Il s'est écoulé dix ans depuis la création du cadran solaire, guère moins depuis celle de l'aquarelle et la Commission des savants est rentrée en France depuis septembre 1801. Si Nouet meurt en 1811,

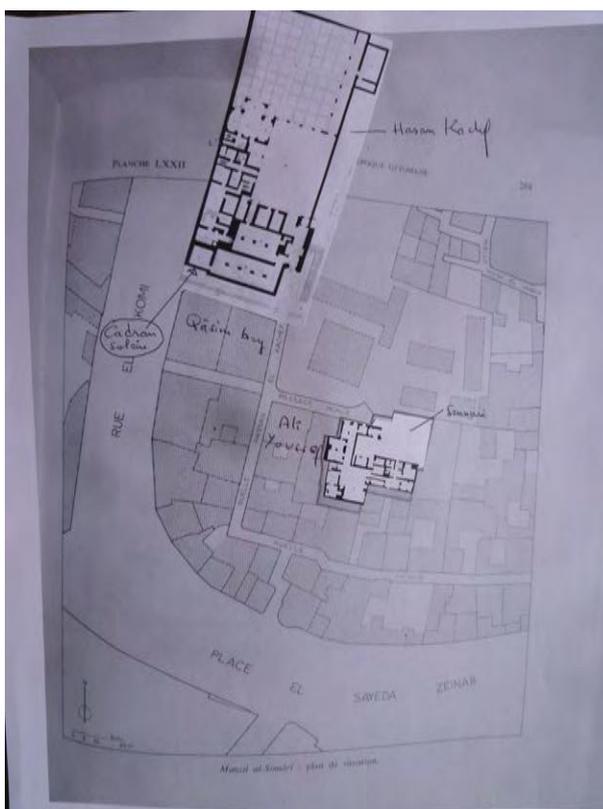


FIGURE 12

mais un autre retour sur la partie grisée en face du premier permet de penser qu'une poutre pouvait prendre appui sur eux et soutenir un bâti ; si le mur porteur du moucharabieh ouest se prolongeait jusqu'au sol, la porte à claire-voie serait obstruée ! On pouvait donc raisonnablement conclure que le cadran est bien sur le mur le plus méridional du palais d'Hasan Kachef et que pour le voir il fallait se situer au premier étage nord de cette partie du palais de Qasim Bey ou depuis le moucharabieh ouest, très difficilement dans la ruelle. Le cadran a-t-il été conçu pour lire l'heure solaire depuis la bibliothèque de l'Institut d'où il aurait été également peint ? La légende de la planche 60 n'est donc pas juste ; Patrice Bret m'a confirmé qu'il ne peut en aucun cas s'agir d'une cour du palais d'Hasan Kachef. Il faut dire que Conté meurt en 1805 et que la première édition de la Description de l'Égypte, l'impériale, débutera en 1809. Il s'est écoulé dix ans depuis la création du cadran solaire, guère moins depuis celle de l'aquarelle et la Commission des savants est rentrée en France depuis septembre 1801. Si Nouet meurt en 1811,

il ne fait pas partie de la Commission d'Égypte ; serait-il intervenu auprès de celle-ci à propos de la planche 60, nous en aurions encore la trace dans les archives de la Commission. La légende n'aurait-elle pas dû être ? : — *Vue intérieure d'une des cours de la maison de Qasim Bey montrant le cadran solaire calculé par N.-A. Nouet pour la maison d'Hasan Kachef*. On notera sur le plan (récent) *passage Monge* dont j'ai cru l'appellation contemporaine de l'expédition mais qui lui est, selon P. Bret, certainement postérieure. Cette impasse n'apparaît pas sur Google maps, mais elle est encore appelée *Mongui* par les Égyptiens en souvenir de Monge comme me l'a confirmé Christian Leblanc, Directeur de Recherche émérite au CNRS. Une autre version, soutenue par Jean Leclant lors d'un congrès sur Vivant Denon, et confirmée sur le plan linguistique par des arabisants et des Égyptiens, exprime que ce sont les Britanniques qui ont appelé cette impasse ainsi, *Mongui* pouvant se traduire par *démons* pour désigner les Français !

À ma demande, D. Mekouar a retraduit le passage concernant l'emplacement du cadran solaire : *sur le mur supérieur du patio inférieur partagé entre les deux maisons*. Le mot *partagé* évacue l'idée d'un passage et donc ma proposition d'emplacement . . . Face au manque de plans du palais de Qasim Bey et parfois la mise en défaut des plans de La Description de l'Égypte, il n'est pas possible à l'heure actuelle d'aller plus loin dans sa localisation . . .



FIGURE 13

Impossible de ne pas parler de N.-J. Conté (*cf.* fig. 13) ; il fut un ingénieur et un mécanicien remarquable et rendu célèbre pour la mine des fameux crayons. Bonaparte disait de lui *bon à tout, Il a dans la tête toutes les sciences et tous les arts dans sa main*. Il fut 1^{er} commissaire de la Commission de l'Égypte et fabriqua un grand nombre d'instruments perdus dans le naufrage du *Patriote* ou dont l'expédition avait besoin. La cour qu'il peint n'a rien de remarquable et semble bien être une cour pour les services. . . Il veut sans doute révéler pour la postérité le cadran de l'AN VII, RF, dominant une architecture locale. En consultant le Journal de Jabarti pour le cadran de Nouet peint par Conté, nous avons découvert qu'il en avait construit deux autres ; il est possible que Jabarti les énumère dans l'ordre chronologique de leur réalisation. Pour chacun des passages concernant les trois cadrans, J. Cuoq, non gnomoniste, traduit par *lignes divisées en degrés* des expressions arabes sensiblement différentes, expression qui ne paraît conforme que pour le passage où sont évoqués les cadrans musulmans. Pour le cadran horizontal de la cour supérieure, *lignes divisées* conviendrait mieux aux lignes horaires coupées par les arcs du zodiaque et pour le cadran horizontal du jardin, *lignes quadrillées* pourrait s'appliquer en plus à d'autres systèmes horaires d'où *de nombreux traits* non compris par Jabarti. Pour le premier cadran, D. Savoie propose la traduction graphique suivante (*cf.* fig. 14 page suivante) :

On sait que le cadran de Nouet est horizontal et qu'il fonctionne le matin jusqu'à midi. Il dit bien par la suite que le cadran vertical fonctionne avant et après midi : pas l'horizontal. Donc c'est un cadran tronqué. Ce qui veut dire qu'un pan de mur devait projeter l'après-midi un rideau d'ombre au sol. Ce cadran horizontal devait fonctionner du lever du Soleil jusqu'à un peu plus de midi solaire. Nouet a pu fixer dans le fronton une tige munie au bout d'une plaque circulaire, inclinée selon la latitude du lieu ; et il a creusé dans cette plaque une série de trous alignés en forme de croix (faisant office d'œilletons ; une croix parce que c'est un ecclésiastique) qui en se projetant au sol forment une croix d'ombre dont le trou central indique les arcs du zodiaque.

Pour le deuxième cadran, celui de l'aquarelle, Jabarti le compare avec les cadrans des mosquées pour déterminer, entre autres avec la Qibla (direction de la Mecque), les cinq heures de prière quotidiennes bien sûr absentes sur ce cadran.

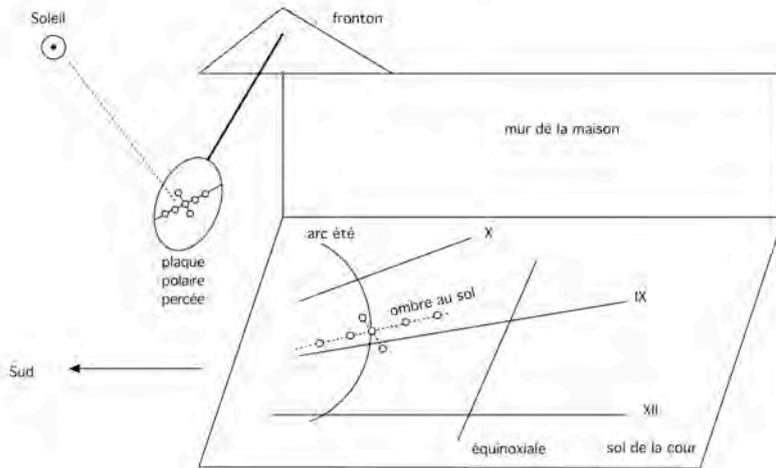


FIGURE 14

À peine croyais-je avoir terminé mon texte que je découvris sur le web la vente à Londres chez Christie's en 2007 d'un *Napoleonic brass sundial* fait par N.-A. Nouet, le troisième cadran décrit par Jabarti! Estimé entre 35 et 50 pounds et vendu 84... (cf. fig. 15). Bien que réalisé

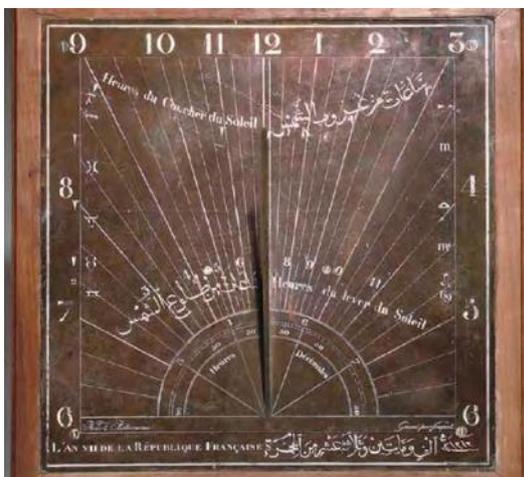


FIGURE 15



FIGURE 16

en 1799 quatre ans après l'abrogation de l'heure décimale, Nouet réalise un cadran horizontal classique doublé d'un réseau horaire à heures décimales! Nous n'en connaissons que deux autres exemplaires au *Museum of Fine Arts* de Boston et au *Musée de la Vie Wallonne* à Liège qui sont loin d'avoir la complexité du cadran vendu chez Christie's. C'est un convertisseur d'heures astronomiques en heures décimales et inversement. Mieux que cela, il s'avérait que « les lignes quadrillées » étaient le réseau entrecroisé des lignes babyloniennes et italiennes! Seules les heures babyloniennes sont chiffrées de 2 à 11, les italiennes étant pointées par une flèche en bout supérieur de ligne. Pour connaître l'heure italienne, il faut ajouter 12 à l'heure babylonienne qui la croise sur l'équinoxiale. Les heures astronomiques sont divisées toutes les vingt minutes et les

heures décimales en dix (14,4 minutes sexagésimales). Il est rare que d'éventuelles contraintes architecturales (arbres du jardin au milieu duquel il était placé) restreignent le système horaire de 6 h du matin à 6 h le soir (de 2,5 à 7,5 h en système décimal avec 5 h pour midi) dans l'élaboration d'un cadran horizontal. Jabarti bien sûr se trompe en écrivant que c'est l'ombre de la pointe du style qui est pertinente ; pour les lignes babyloniennes et italiques, comme pour les arcs diurnes pointés par les signes du zodiaque, c'est l'extrémité supérieure du style droit qu'on aperçoit grâce à l'ombre du style sur la photo prise de côté (*cf.* fig. 16 page précédente). Par *heures de lever et de coucher du soleil* écrit en français et en arabe, il faut entendre *heures écoulées depuis le . . .* Sont finement gravés en bas à gauche Nouet Astronome et en bas à droite Gravé par Fouquet. Sur la ligne inférieure, à droite de L'AN VII de la République Française, est écrit en arabe de droite à gauche : 1213 (au-dessus de) Année, puis : Mille deux cent treize de l'Hégire. Les angles tabulaires du cadran correspondent à une latitude proche de celles calculées par Nouet pour Le Caire, autour de 30,333°. Curieusement, selon les dimensions du style données par Christie's (L = 16,5 cm et H = 9,5 cm), l'inclinaison du style est de 35° (style mal repositionné ou dimensions inexactes ?). La ligne de midi est doublée à cause de l'épaisseur du style. Il s'agit là d'un cadran savant tout à fait exceptionnel.

Le Journal de Jabarti nous a permis non seulement de mieux appréhender le cadran immortalisé par Conté mais, qui plus est, d'en découvrir deux autres, dont un retrouvé. On aura constaté les approximations et les *inventions* incroyables des traducteurs, une *coquille* dans l'édition imprimée, sans compter les incorrections de la planche 56 de Protain et celle de la légende de la planche 60. Si la Campagne d'Égypte fut un fiasco, l'expédition scientifique a été propice aux deux pays ; *l'Égypte verra désormais différemment l'avenir et la France autrement le passé*. L'Égypte va se réveiller au souffle révolutionnaire et la France envisagera l'Histoire dans une dimension plus universelle.

Un cadran peut décidément en révéler d'autres puisque P. Bret, préparant une biographie de Conté, m'a fait part d'une planche gnomonique retrouvée dans les archives familiales de Conté et dessinée par lui d'après une étude de Louis Le Grand ! Une autre enquête s'annonce !

2 Remerciements

Remerciements plus particuliers et dans l'ordre de leur intervention au personnel du Musée Champollion et des Écritures du Monde à Figeac pour sa disponibilité, à Denis Savoie pour sa proposition de lecture de la description du premier cadran, à Mesdames Djahida Bouchama, bibliothécaire à l'ENS de Lyon et Assia Alaoui, précédemment citée, pour leurs traductions, aux architectes Gilles Faltrept et Henri Lust pour leurs confrontations entre plans et élévations, à Jean-François Foucault, paléographe, pour son réseau de connaissances dont les meilleurs experts de la Description de l'Égypte, Paul-Marie Grinevald, ancien bibliothécaire à l'Imprimerie nationale et Patrice Bret, précédemment cité, pour ses précieuses indications, corrections validations et les innombrables précieux échanges, à Abdellfattah Makoudi, traducteur et à Driss Mekouar, bibliothécaire de la section arabe du Collège de France dont l'intervention fut déterminante.



Quelques cadrans solaires bourguignons : essai de datation

par Jean Scordia

Lors de la réunion de notre Commission à Beaune au printemps dernier, sous un soleil dominateur d'un beau paysage ampélographique, nous pûmes observer un grand nombre de cadrans solaires, anciens et modernes (puis les revoir sur les sites internet de la SAF, de M. Lalos et autre). Sur plus de vingt cadrans qui étaient sur des murs à l'extérieur, seulement quatre, me semble-t'il, portaient une date lisible. J'ai tenté de classer la plupart de ces horloges solaires par ancienneté à la vue de leur aspect externe, de visu, d'un point de vue archéologique. Au risque de plusieurs erreurs.

On peut se baser par exemple sur la datation du bâtiment qui supporte le cadran, les archives, les inscriptions, l'esthétique, le matériau employé, la dégradation de la surface, le type de style. À l'aide de ces critères et toujours avec des doutes, je tente un classement relatif. La frontière entre deux siècles n'est jamais une tranchée profonde.

1 XVI^e siècle

Appartient au XVI^e siècle, le cadran de Beaune daté 1567, sans doute modernisé avec le rallongement de la ligne de 12 heure (fig. [1 page suivante](#)).

2 XVII^e siècle

Peut-être le cadran du presbytère de la collégiale Notre-Dame, sur crépi et très fortement dégradé (fig. [2 page suivante](#)).

Le cadran du château de Savigny-lès-Beaune (XIV^e siècle, fig. [3 page suivante](#)), sévèrement dégradé, sans style, aux chiffres illisibles, avec trace sur la gauche d'un bandeau des heures; la présence de ce bandeau permettrait aussi de le situer au début du XVIII^e siècle; sur un autre bâtiment du site (fig. [3\(b\)](#)), une date caractéristique : noter le 6 dont la boucle a la même taille que les autres chiffres et dont la queue dépasse la ligne du haut, le 9 se prolonge sous la ligne.

Le bloc gnomonique, multifaces de Blagny (fig. [4 page 139](#)) : j'observe particulièrement la gravure du chiffre 10 dont le zéro est petit et rond. Peut-être le cadran de Monthélie au style droit, sans demi-heures (fig. [5 page 139](#)).



FIGURE 1 – Cadran de Beaune daté 1567.



FIGURE 2 – Cadran du presbytère de la collégiale Notre-Dame.



(a) Cadran du château



(b) Autre bâtiment du château

FIGURE 3 – Château de Savigny-lès-Beaune.

Le cadran méridional du château du Clos de Vougeot (fig. 6 page suivante) : tracé simple, sans bandeau des heures ; aurait été repeint postérieurement.

N’y aurait-il pas eu un deuxième cadran, septentrional, sur crépi également, sur le haut du pignon du grand bâtiment qui fait face au cadran méridional ? Il semble qu’il reste encore l’orifice d’un gnomon, exactement au centre de la table, en haut.

À Chambolle-Musigny (fig. 7 page ci-contre), un petit cadran gravé dans une pierre sombre et daté 1630 ; caractéristiques de son ancienneté : une gravure rustique, le disque des heures, la graphie du zéro circulaire, 4, 5 penché ou renversé, 8 à tête plate.

3 XVIII^e siècle

Le cadran historique du château de Pommard, daté 1765 (fig. 8 page 140). Une caractéristique décorative du siècle est la contrecourbe aux angles du cadre.



FIGURE 4 – Bloc gnomonique de Blagny.



FIGURE 5 – Cadran de Monthelie.



FIGURE 6 – Cadran méridional du château du Clos de Vougeot.



FIGURE 7 – Chambolle-Musigny ?

Les deux cadrans, de facture simple, de la place du village, sur les Maisons Rebourgeon (fig. 9 page suivante) et Parent-Gros, appartiendraient au même siècle, sinon au XIX^e : l'un deux est gradué en 1/2 heure.

Le cadran du château d'Entre-Deux-Monts (fig. 10 page suivante, construit au XIII^e, remanié au XVII^e s.) : il serait à la transition du XVII^e et du XVIII^e (absence de bandeau, chiffres avant l'extrémité des lignes horaires, division en 1/4 d'heure).

Le cadran biface d'Arcenant (fig. 11 page suivante), mais il pourrait être antérieur d'un siècle : il a sûrement été déplacé de l'angle d'un mur et incrusté sur la façade sud de la maison en creusant les lits de pierre et en économisant un encadrement latéral de l'objet.

Ci-après, le biface du Clos des Carmélites (fig. 12 page suivante), de Longvic, près de Dijon, daté 1597.

Le cadran du château de Meursault, nous souhaitant une finale paradisiaque : SIT ULTIMA CAELO (*Que la dernière soit au ciel!*). Le crépis a en partie disparu, la peinture est délavée, et à l'une des deux barres du II latin a été substitué un 2 arabe (I2). Peut-être daterait-il de la fin du XVII^e siècle, du début du XIX^e ?



FIGURE 8 – Château de Pommard (1765).



FIGURE 9 – Pignon de la Maison Rebourgeon (sur une place de la commune de Pommard : la Maison Parent-Gros était tout au fond de la place).



FIGURE 10 – Château d'Entre-Deux-Monts.



FIGURE 11 – Cadrans biface d'Arcenant.



FIGURE 12 – Cadran biface des Carmélites (Longvic, 1597).



FIGURE 13 – Cadran du château de Meursault.

Sur des linteaux de l'entrée de la cour (fig. 14) sont gravées plusieurs inscriptions, j'en ai relevé une seule : ILLE TERRARUM MIHI PRAETER OMNES ANGULUS RIDET & C HOR . OD . IV (littéralement, dans une syntaxe latine classique, aujourd'hui déroutante : *Ce de terres à moi plus que tous coin plaît*. En bon français ! : « Ce coin de terres me plaît plus que tous ! »). Ce



FIGURE 14 – Gravures sur les linteaux de l'entrée.

vers du poète Horace est tiré du Livre II, Ode II (au lieu de IV), strophe VI, vers 13) : l'auteur éprouve de la nostalgie en évoquant les temps heureux qu'il connut aux bords du tout petit fleuve Galeso qui se jette dans le golfe de Tarente.

La même hésitation pour la datation du cadran de Nuits-Saint-Georges (fig. 15 page suivante), en marbre (?), déclinant ouest, aux chiffres latins, gradué en 1/2 heures.

Celui peint sur un édifice de la rue des Neigeons, à Beaune, presque effacé, décoré d'une tête de Bacchus (?) serait de la même époque (fig. 16 page suivante).

4 XIX^e siècle

Le cadran de l'église de Chambolle-Musigny (fig. 17 page suivante), daté en chiffres romains MDCCCLV (1855), aux traits archaïsants et restauré ; il est orné de monogrammes chrétiens, plus caractéristiques du XVII^e ou du XVIII^e. La devise philosophico-religieuse, LE TEMPS PASSE . . . LAS / NOUS PASSONS, est très ancienne : elle est inspirée par la Bible, dans ses différents Livres : « Les jours que tu m'as comptés sont bien courts, . . . L'homme passe comme l'ombre » (*Psaume 38*) ; « Tous nos jours ont fui . . . , nos années s'écoulent comme un bavardage. . . . Oui, nous passons en hâte, enlevé par le vent » (*Psaume 89*). Remémorez également les célèbres vers de Pierre de Ronsard dans le II. — Sonnet à Marie, 1^{er} tercet : « Le temps s'en va, le temps s'en va, madame Las ! le temps, non, mais nous nous en allons / . . . ». De même, le décor d'un

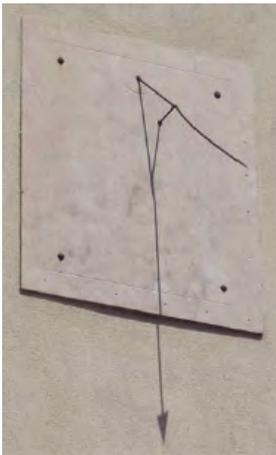


FIGURE 15 – Cadran Nuits-Saint-Georges.



FIGURE 16 – Cadran de la rue des Neigeons, Beaune.



FIGURE 17 – Cadran de l'église de Chambolle-Musigny.

croissant de Lune sur cette église serait inspiré par le Livre : « Il a fait la lune pour marquer le temps » (Ps. 103), « La lune, toujours exacte en son mouvement, montre les temps et indique la durée » (*L'Écclésiastique*, chapitre 43). Dans un hymne de la création, le poète biblique chante : « Le vin réjouit le cœur de l'homme » ! À ce propos, nous contemplâmes deux magnifiques cadrans récents inspirés directement par le jus de la vigne, et qui, étant donnée la température ambiante, fut consommé avec une extrême modération.

Nous attribuons au XIX^e, de par son bon état de conservation et sa ressemblance avec d'autres méridiennes (par ex. celles de J. Chavin en Isère), la méridienne de la place de l'Hôtel de ville de Beaune. Il est possible que l'un des cadrans de Pommard ainsi que celui de Nuits soient du 19^e siècle; de même celui situé sur la maison « Au cadran solaire » de Beaune.

5 XX^e siècle

Plusieurs cadrans de la Maison Bouchard à Beaune (fig. 20 page ci-contre), dont celui portant la devise « IN VINO VERITAS »; ainsi que celui du château Pommard, orné de la même devise (2006). Le cadran octogonal de Bligny-lès-Beaune (fig. 21 page suivante) imite les cadrans horizontaux, à la mode dans les jardins de châteaux du XVIII^e siècle; il a été déplacé, accroché en position verticale avec une rotation à droite de 45° (on a ajouté les points cardinaux); les



FIGURE 18 – Méridienne de la place de l'Hôtel de ville de Beaune.



FIGURE 19 – « Au cadran solaire », Beaune.

heures (de VIII 1/2 h du matin à VIII h du soir) sont devenues inopérantes, elles n'ont pas été regravées ; le style a été remplacé.



FIGURE 20 – Cadran solaire de la maison Bou-chard.



FIGURE 21 – Cadran octogonal de Bligny-lès-Beaune.

Deux décors, une comète et la Grande Ourse, me font penser qu'il s'agit de la comète Halley qui nous a visités en 1986 et qui se trouvait dans le triangle formé par les constellations Lion–Coupe–Sextant et au bout de la ligne étoile Polaire–Grande Ourse–comète de Halley. L'objet pourrait dater des années 80-90.

Bien que gravé sur le pignon cimenté d'un ancien relais de chasse de Marie de Bourgogne (1457-1482) et Anne de Bretagne (1477-1514), le cadran d'Echevonne (fig. 22 page suivante) ne peut avoir été réalisé qu'au XX^e siècle : crépi moderne, chiffres romains entre deux barres horizontales, cadre aux bandeaux multiples. Que venait faire la dernière duchesse de Bretagne en ce coin de Bourgogne ? Il y avait un projet de fiançailles de Maximilien I^{er} d'Autriche, veuf de Marie de Bourgogne, avec Anne de Bretagne (elle n'avait que 5 ans à la mort de Marie). Un mariage eut lieu par procuration, en 1490 (Anne avait 13 ans). Mais le mariage réel fut avec le roi de France, Charles VIII, l'année suivante ; puis après son décès, avec Louis XII, en 1499.



FIGURE 22 – Cadran d'Echevonne.



FIGURE 23 – Cadran – méridienne, cathédrale de Nevers.



(a) Horloge astronomique



(b) Ligne méridienne

FIGURE 24 – Cathédrale de Bourges.

N. B. Il se peut que je me sois trompé dans la localisation de certains des cadrans visités, étant étranger à la région.

En extra, sur le chemin du retour au pays ...

Cathédrale de Nevers : le cadran- méridienne (1781), inscrit de VIII h à I h (fig. 23) ;

— devise inférieure : LUMINIS ASPECTU REDAMETUR LUMINIS AUTOR (Que l'auteur de la lumière soit aimé à la vue de la lumière!) ; ...

— devise supérieure : VIGILATE NAM NESCITIS QUA HORA (Veillez car vous ne savez l'heure!).

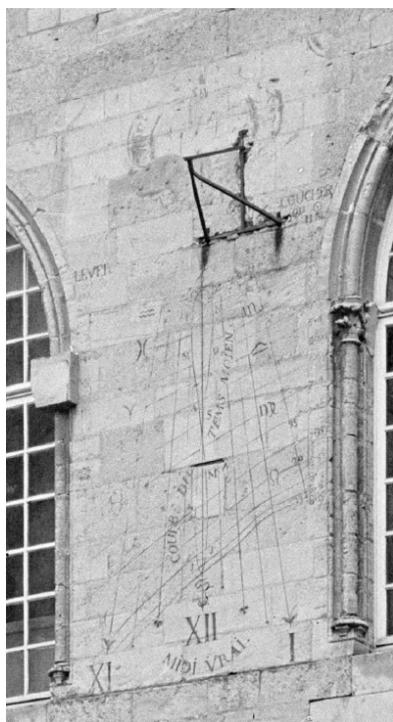
Figures 24(a) & 24(b) : cathédrale de Bourges : horloge astronomique (XV^e siècle) et début de la ligne méridienne (1757), avec l'ovale du solstice d'été sur le 2^e carreau, difficilement visible.



1 Dernières réalisations ou découvertes

— Restauration du cadran du tribunal de grande instance de Laon : Jérôme Bonnin

L'instrument se situe sur la façade sud-ouest de l'aile nord de l'actuel Tribunal de Grande Instance (TGI) autrefois Palais Épiscopal de Laon, entre la troisième et quatrième fenêtre du premier étage côté Est.



(a) État du parement en septembre 2017 avant la mise en place de l'échafaudage (Photo J. Bonnin)



(b) Détail du cadran solaire sur le cliché de 1920. ©MAP

FIGURE 1 – Cadran du TGI de Laon.

Aucunes dates ou nom de cadranier ne sont associés à ce cadran mais il est certain qu'il n'a pas été réalisé en même temps que le palais. Une réalisation au XIX^e siècle semble la plus probable. Toutefois, la graphie du *tems moïen* pose question et pourrait être une piste pour faire remonter l'instrument à la fin du XVIII^e siècle.

Informations indiquées sur le cadran : les indications horaires ; la courbe de temps moyen ; les courbes de déclinaison ; les signes du zodiaque, liés aux courbes ; les indications de lever et de coucher du Soleil en deux colonnes présentes à gauche et à droite du cadran ; les indications de déclinaison du Soleil.

Les propositions de travaux de restauration consistaient en :

- Nettoyer et rejointoyer l'ensemble de la table du cadran, avec changement de pierres
- Regraver légèrement les éléments complètement érodés. Les éléments encore bien lisibles étant repris légèrement à la pointe sèche.
- Restituer toutes les informations disparues en partie haute, en tenant compte que de la réalité archéologique. Il n'est pas envisageable de corriger, du moins au niveau du tracé.
- Rehausser les lignes et indications avec une couleur neutre proche de la couleur encore visible sur certaines lignes.
- Réparer (remplacer) l'ocilleton et le faire concorder au mieux avec le tracé existant.

Lors de l'intervention, plusieurs observations ont été faites amenant à quelques modifications des propositions énoncées.

L'opération de remise en valeur s'est déroulée en trois phases :

1. Une fois le parement nettoyé et préparé pour le rejointoiement par l'entreprise Charpentier PM, reprise de l'ensemble des éléments gravés au ciseau à pierre pour redéfinir correctement les contours.
2. Remise en couleur des gravures du cadran.
3. Restauration du tripode portant l'ocilleton et restitution de ce dernier, le vendredi 12 octobre en collaboration avec Monsieur Lespinasse.

La présentation ci-dessus est issue du « Dossier des Ouvrages Exécutés ». Dans ce rapport rédigé en mars 2019 par Jérôme Bonnin (*Étude et restauration du patrimoine gnomonique*) vous trouverez dans le détail : les recherches historiques ; la description et l'état général du cadran avant restauration (table et style) ainsi que les indications données par celui-ci ; l'analyse gnomonique ; les propositions de remise en valeur du cadran ; les travaux réalisés et observations particulières.

La compréhension du cadran et la manière de lire l'heure complètent le document.

En annexe de la version numérique :

- ◆ Le dossier complet de 33 pages : "DOE LAON.pdf".



FIGURE 2 – Cadran vu de la cour le 18/02/2019 (Photo J. Bonnin).

— Cadran de Gérard Baillet

Celui-ci nous fait part de sa dernière réalisation. Il s'agit d'un cadran horizontal circulaire de 60 cm de diamètre en lave émaillée réalisé par l'Atelier Saint Martin à Mozac (Puy de Dôme) (cf. fig. 3). Après fourniture d'un plan couleur, il a été reproduit pas « sérigraphie ».

Pour « Les Blanchardières Evailé » (72 120), le cadran indique les : heures solaires, le zodiaque et une mini table d'orientation.



FIGURE 3 – Cadran de M. Baillet.

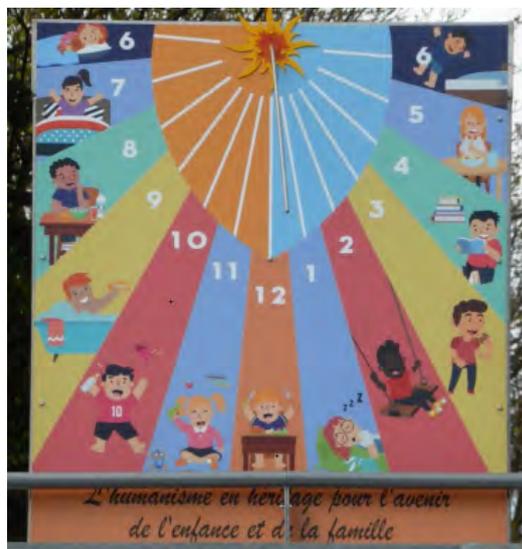


FIGURE 4 – Cadran de M. Kieffer

— le cadran de Maurice Kieffer

M. Kieffer a réalisé un cadran pour la nouvelle pouponnière de l'Ermitage à Mulhouse (cf. fig. 4).

C'est en avril 2013 que Monsieur Jean-Marc Dezeque directeur général de l'*Ermitage*, a proposé à notre collègue d'installer un cadran solaire sur la future pouponnière. La première pierre a été posée en mars 2015.

Après de nombreuses embûches, le cadran a été installé le 8 avril 2019. L'inauguration de la construction a eut lieu 3 jours après.

Le cadran fixé sur un cadre en inox mesure 1200 × 1400. Hélas, il n'a pas été possible de se mettre d'accord sur une solution permettant la visibilité complète du cadran. La barre d'appui vient séparer les *activités de la journées des enfants* de la devise.

— Cadrans de la Manche : Dominique Beneult

À l'occasion d'un de ses nombreux voyages à la recherche de cadrans solaire, Serge Grégori a rencontré à Portbail (50 580) Monsieur Dominique Beneult (beneultdominique@gmail.com). Celui-ci est passionné par ces instruments principalement ceux de sa région.

Il a conseillé de visiter le site : *Conservation des antiquités et objets d'art de la Manche* pour découvrir par « tri objet », 95 cadrans solaires (<http://objet.art.manche.fr/>).

Il nous a permis également de publier ses travaux dans notre revue. Nous le remercions vivement. Ci-dessous la présentation de ceux-ci avec en annexe (version numérique) l'intégralité des documents évoqués.

- Études spécifiques : Chaque étude comporte la description du cadran et la reproduction de chacun dans le cas d'un bloc gnomonique, les relevés, des plans, les calculs et schémas d'ensoleillement, l'usage du cadran, les sources.
 - *Notes gnomoniques sur un cadran solaire polyédrique conservé à la Maison de l'Ange et provenant de la commune de Lieusaint.*

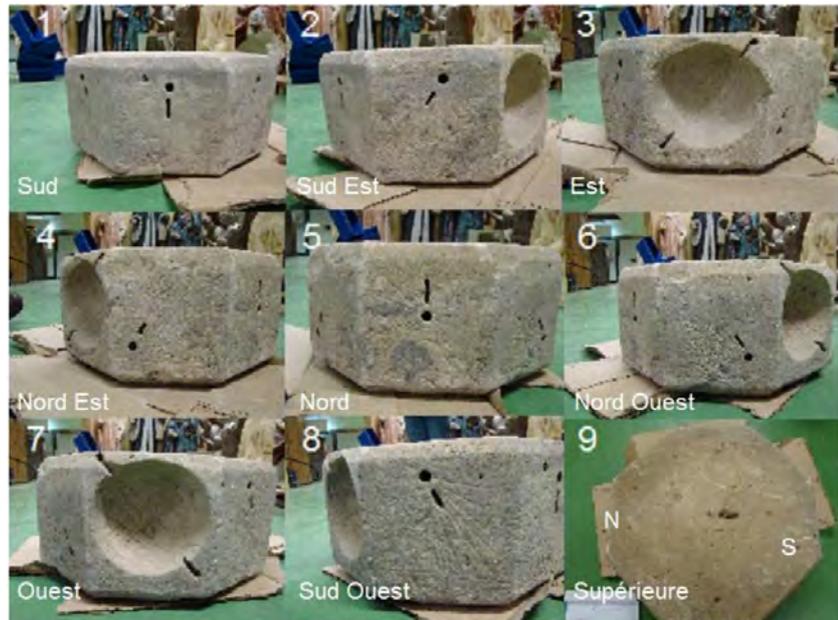


FIGURE 5 – Cadran solaire polyédrique — Lieusaint.

- *Notes gnomoniques sur un cadran solaire polyédrique conservé dans l'église d'Emondeville.*

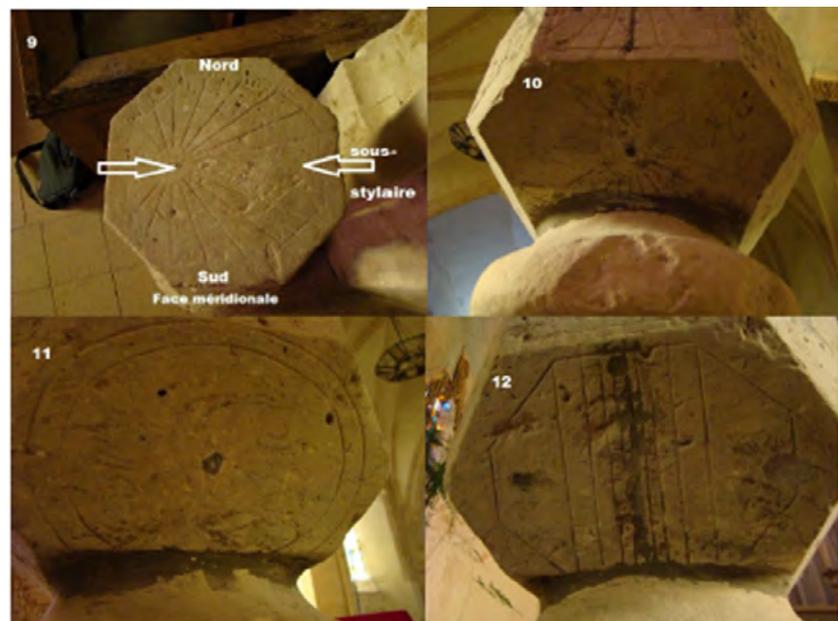


FIGURE 6 – Cadran solaire polyédrique — Église d'Emondeville.

- *Notes gnomoniques sur un cadran solaire polyédrique conservé par la commune de Magneville.*



FIGURE 7 – Cadran solaire polyédrique — Magneville.



FIGURE 8 – Bloc gnomonique — St-Martin-le-Hébert.

◦ *St-Martin-le-Hébert, La Cour, bloc gnomonique.*

— Conférence : Elle a pour titre : « GNOMONIQUE ET CADRANS SOLAIRES MONUMENTAUX DANS LE CONTENTIN. Les oeuvres de Lecoquière (1740-1807) et Dancel (1761-1836). Prêtres et enseignants à Valognes XVIII^e et XIX^e siècles ».

Ce diaporama allie les principes de la gnomoniques et la présentation des cadrans.

En annexe de la version numérique retrouvez tous les documents :

- ◆ Notes gnomonique sur un bloc polyédrique provenant de la Commune de Lieusaint.pdf
- ◆ Notes gnomoniques sur un cadran solaire polyédrique conservé dans l.pdf
- ◆ Notes gnomoniques sur un cadran solaire polyédrique conservé par la Commune de Magneville

- ◆ St Martin le Hébert
- ◆ ConferenceAFBCI 14-02-2019 version française-1.pdf

— Cadran portatif

Le 3 mars 2019, Gilbert Jaunet a trouvé fortuitement et ... par une chance inouïe, un cadran solaire portatif au bord d'un champ à Longué Jumelles dans le Maine et Loire. Ne connaissant pas ce type d'objet, il a fait appel à notre commission.

Le cadran en laiton mesurant 5 cm en largeur et 4 cm de haut, s'apparente par sa conception et sa forme aux cadrans solaires « plan, vertical de hauteur » d'Hevelius (*cf.* fig. 9).

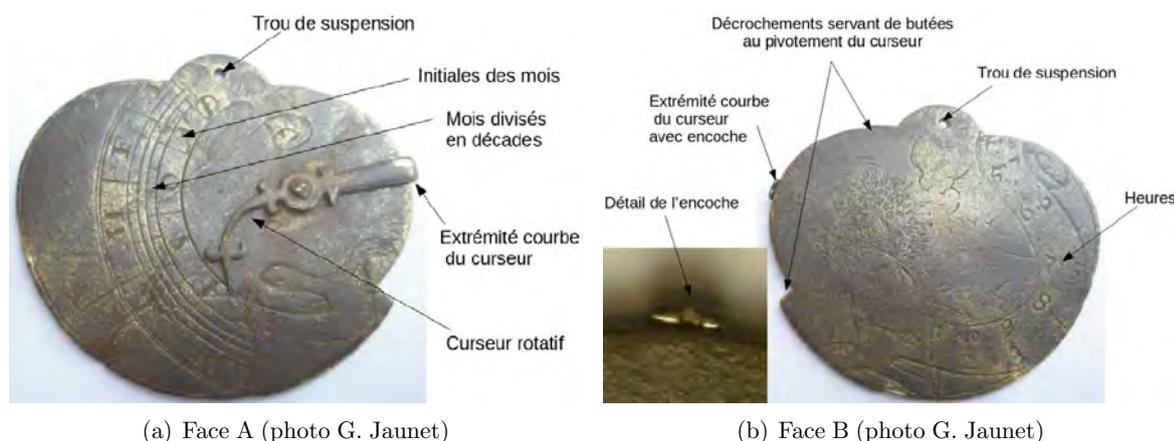


FIGURE 9 – Cadran portatif de hauteur de M. Jaunet.

Une première étude a été réalisée (Courrier.pdf) avec le concours de MM Paul Gagnaire, Bernard Lhéritier, Eric Mercier (Analyse gnomonique du cadran de hauteur de Mr Jaunet.pdf), Yves Opizzo, Denis Savoie et Jean Scordia.

Claude Guicheteau a rappelé son article sur ce type d'instrument (*Le cadran solaire plan, vertical de hauteur d'Hevelius*, Cadran Info n° 36, page 77).

Jean-Claude Berçu a fourni une documentation présentant plusieurs cadrans similaires (Vertical hanging Dial.pdf).

L'instrument a été présenté lors de notre réunion de Beaune. À cette occasion, Brigitte Alix a conseillé de ne pas tenter une restauration (le cadran par lui-même s'est bombé et le curseur est tordu), la tenue du laiton ancien étant imprévisible et peu fiable.

Enfin, à partir de photographies en haute-définition, É. Mercier a pu reprendre une vérification gnomonique de l'objet consistant en une mise à jour de la première étude complétée par les éléments de sa conférence de Beaune (Analyse gnomonique 2.pdf).

Il ressort de ces analyses que le graphisme du cadran est représentatif des XVII/XVIII^e siècles (sans garantie de son authenticité). Son originalité réside dans le fait que l'abaque est décorrélié. En général on trouve à la fois la date et l'heure sur la même face. Ici on a l'abaque horaire sur une face qui dépend d'une échelle mobile de la date (et donc de la déclinaison du Soleil) sur l'autre face. Le cadran est raisonnablement correct sur le plan scientifique, même si quelques petites erreurs se sont glissées lors de sa réalisation.

Il est conçu pour une latitude proche de 45° ce qui ouvre deux hypothèses :

- soit, il a été conçu pour une région située sur la ligne Bordeaux, Turin, Belgrade, Bucarest...

- soit, il est simplement conçu pour une latitude moyenne et arbitraire pour l'Europe (45°).

En ce qui concerne sa datation : il s'agit d'un cadran fonctionnant sur un calendrier Grégorien. La date d'adoption de ce calendrier selon les pays devrait permettre de fixer une limite à la date de fabrication de ce cadran, selon son pays d'origine, tout en sachant, bien sûr, que ce type de cadran semble avoir été inventé vers 1638. En fait, toutes options restent ouvertes à ce stade, il peut aussi bien s'agir d'un instrument du XVII, XVIII ou XIX^e siècle, voire du XX^e siècle.

Nous regrettons bien de ne pouvoir certifier l'ancienneté de cet instrument cependant original.

En annexe de la version numérique retrouvez tous les documents :

- ◆ [Courrier.pdf](#) : première étude décrivant le cadran et son mode de fonctionnement.
- ◆ [Analyse gnomonique du cadran de hauteur de Mr Jaunet.pdf](#) : premiers relevés effectués en avril 2019 à partir de prises de vues pouvant impliquer des imprécisions de calculs. Ce qui s'est avéré le cas.
- ◆ [Analyse gnomonique 2.pdf](#) : à partir de nouvelles photographies, reprise de l'étude précédente, complétée par la présentation faite lors de la réunion de Beaune. Les caractéristiques du cadran ont pu ainsi être déterminées dans ce rapport de juin 2019.
- ◆ [Vertical hanging Dial.pdf](#) : issu du web : présentation de deux cadrans de même principe des XVII et XVIII^e siècles.

— Cadran cubique

MM Jean-Claude Berçu, Paul Gagnaire, Jean Scordia, Philippe Sauvageot ont étudié avec Thierry Steffen son cadran cubique et l'ont guidé dans la restauration qu'il avait entreprise.

Il s'agit d'un cadran cubique possédant 4 cadrans verticaux (fig. 10) et un cadran horizontal sur le sommet (fig. 11 page suivante). Sa hauteur est de 51 cm pour une largeur de 25 cm.

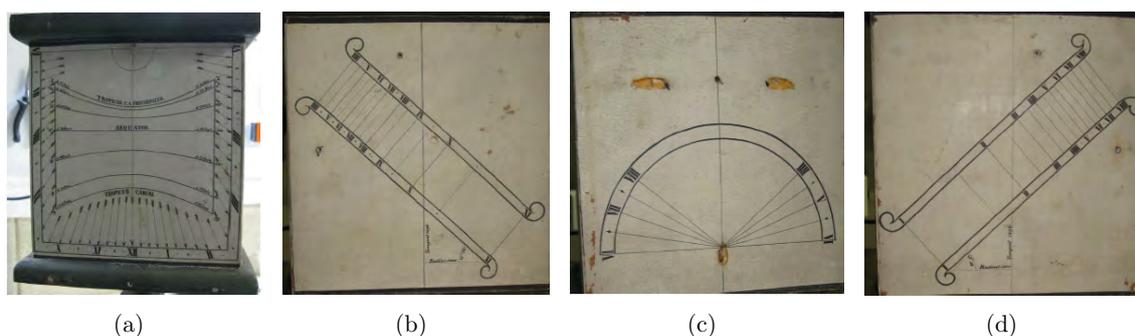


FIGURE 10 – Les quatre faces du cube.

Le cube en bois présente 5 cadrans, peints sur le bois directement. Les plus documentés sont le méridional et l'horizontal. Sur ceux-ci, on note : les heures, les demies, les quarts, les arcs diurnes avec signes du zodiaque et abréviations des mois (en allemand). On peut lire sur les cadrans Est et Ouest, la latitude retenue pour les calculs : 47° 38'.

Le cube a dû être démonté de son pied car la position des cadrans ne correspond plus à l'orientation d'une flèche tracé sur le socle et indiquant le Nord. Le cadran Oriental est face au

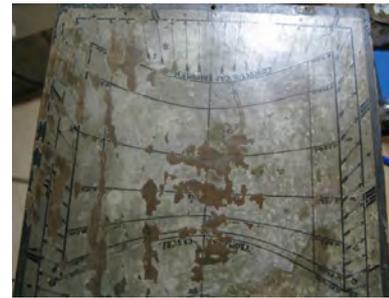


FIGURE 11 – La face supérieure

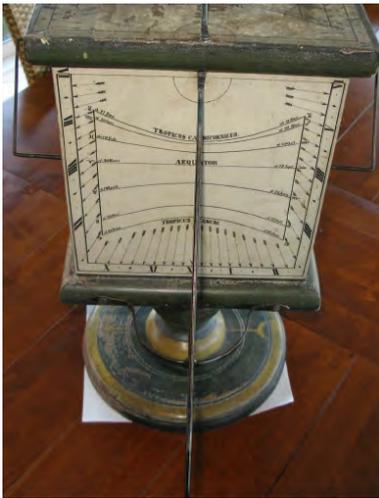
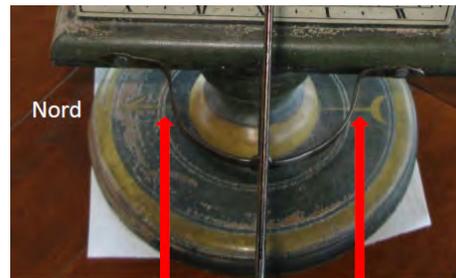


FIGURE 12



Flèche qui indique le Nord

FIGURE 13

Sud, le méridional est face à l'Ouest, le septentrional est face à l'Est, enfin le cadran Occidental est face au Nord ...

Sous le socle, à l'emplacement de la flèche on découvre : cf. fig. 14 & 15.

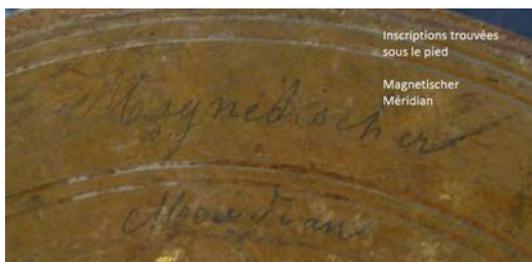


FIGURE 14

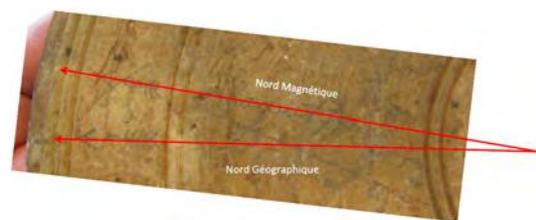


FIGURE 15

Ainsi donc, on peut voir la ligne du Nord géographique (superposé à la flèche supérieure tracée sur le socle) et celle du Nord magnétique décalé d'environ 9° Est. Toutes les deux avec leur indication manuscrite. À partir de l'étude de l'ensemble des éléments : mentions, graphisme, écritures, déclinaison magnétique ... on peut penser que ce bloc gnomonique de culture allemande, soigneusement réalisé remonte au XVII^e. Son inscription sous le socle démontre que son utilisateur employait une boussole pour l'orienter.

Acquis début 2019 à Saint-Blaise dans le canton de Neuchâtel en Suisse ($47^{\circ} 1' 49''$ Nord, $6^{\circ} 59' 24''$ Est) et tracé pour une latitude de $47^{\circ} 38' N$, il serait donc resté sédentaire. Et comme le rappelle M. Steffen : « de 1707 à 1806 nous étions prussiens ».

Ci-dessous le cadran après restauration : avant la mise en place des deux « billes » pour indiquer l'ombre sur les arcs diurnes du cadran vertical et du cadran horizontal (photo : fig. 16) et avec mise en place des indicateurs (photo : fig. 17).

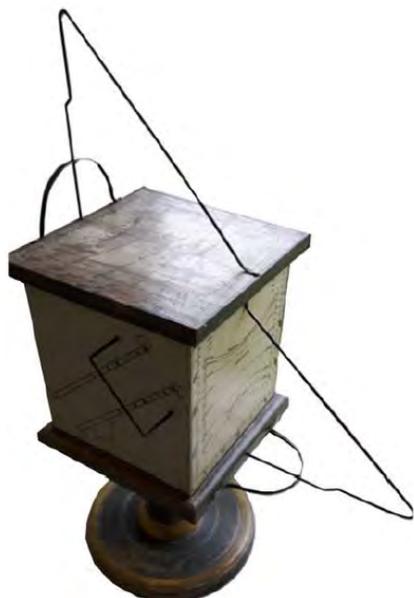


FIGURE 16



FIGURE 17

En annexe de la version numérique :

- ◆ Fiche technique réalisée par Th. Steffen : Cadran solaire cubique fiche.pdf

— Maquette d'analemme

Pour les archives de la CCS, j'ai trouvé un tracé de cadran analemme correspondant à la ville de Sèvres (92 072) (*cf.* fig. 18 page suivante). Si un lecteur peut m'orienter sur l'auteur de cette maquette, je le remercie par avance, Ph. Sauvageot.

Le cadran est tracé au crayon, sur une plaque de fibro-ciment de 400×400 mm. Elle est cassée en deux parties. Celle-ci devait-êtré fixée sur un support (trous). L'axe méridien est en biais, soit parce que la plaque était déjà en place, soit elle a été récupérée, il s'agirait alors de la meilleure exploitation de sa surface. Le cadran a un grand axe de 400 mm pour un petit axe de 300 mm (*cf.* fig. 19 page suivante).

Au dos de la table est mentionné le texte (*cf.* fig. 20 page suivante) :

Le gnomon, attaché par une ficelle à la plaque est constitué d'un trépied munie de vis de réglage et d'une tige métallique porte-ombre (*cf.* fig. 21 & 22 page suivante).



FIGURE 18 – Vue générale de la « table ».



FIGURE 19 – Détails de l'échelle des dates.

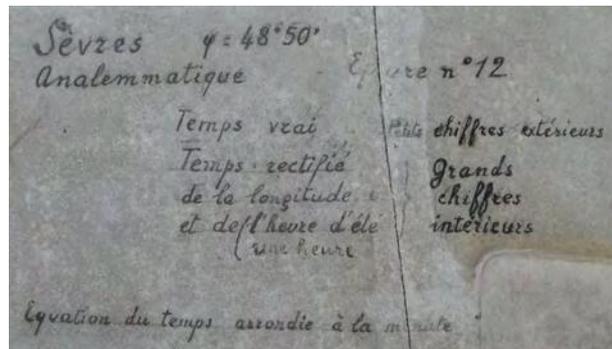


FIGURE 20 – Au dos de la table du cadran analemme.



FIGURE 21 – Vue générale du cadran.



FIGURE 22 – Détails du gnomon mobile.

— Cadran de Claude Gahon : Vague

« Les faux cadrans solaires sur l'eau, mais vrais poissons d'avril 2019 de Joël Robic (son site à la page : <http://www.cadrans-solaires.fr/cadrans-solaires-sur-l-eau.html>), sont devenus pour moi des défis à transformer en véritables cadrans solaires.

Si de toute évidence la solution était dans les plans horaires, il fallait trouver une forme rappelant les photos. Voici donc, dans un premier temps, ma réponse à la barrière flottante qui ondule avec ses cordes d'inclinaisons variables.

C'est donc *Vague* qui est sorti de mes croquis et calculs, où l'on peut voir plusieurs tiges fichées sur une courbe et dont les extrémités forment également comme une onde de vague (bon, ça c'est ce que je crois voir, moi ...).

La plaque support en aluminium peut faire illusion à l'eau (là encore c'est ma vision du problème. ...).

La réalité est que chaque tige est un style incliné selon la latitude de chez moi, correspondant à une heure ronde, et cette heure est atteinte quand l'ombre de ce style passe sur le *clou* central. La longueur du style a été volontairement limitée et calculée en fonction de sa distance au clou, de l'heure qu'il représente et pour que l'ombre minimum d'été passe sur le clou. Il a encore fallu que je ressorte quelques vieilles formules de trigo. ...

Ce principe n'est pas nouveau, il a déjà été utilisé sur des structures monumentales de forme plutôt cylindrique. J'ai aussi repris ce principe dans *Grandes orgues*, *Tjibaou' Sun*, et d'autres.

J'espère que Joël approuvera ma solution, au moins dans son originalité de forme rappelant son modèle. Il reste cependant son 2^e poisson d'avril à explorer, je m'y attaque, mais cela sera (ou ne sera pas) sur une solution similaire avec des lames au lieu de tiges.

Wait and see. »



(a)



(b)

FIGURE 23 – Claude Gahon — Cadran *Vague*.

— Cadran de Claude Gahon : Ressac

« Et voilà ma réponse au deuxième défi du 1^{er} avril de Joël. Pourquoi *Ressac* : d'abord c'est une seconde vague qui suit le précédent défi. Ensuite pour son fonctionnement on utilise un sens de la vague le matin et l'autre sens pour l'après midi. D'où ce va et vient comme celui des vagues.

Domage de n'avoir pas pu le terminer quand il faisait soleil, cela m'aurait permis de le tester et de faire des photos plus explicites sur les marques d'ombres. Mais je vais croire que mes calculs sont bons et que la réalisation les respecte. Dans son principe les lames sont dans les plans horaires relatifs à ma latitude, la lame qui a son intérieur ombré sur toute sa largeur, indique l'heure solaire H gravée sur la lame.

En plus précis : les lames sont numérotées pour les heures H 12 à 24, dans le sens Sud-Nord, elles servent directement pour l'après-midi. Pour le matin, on tourne l'ensemble d'un demi-tour pour que le Sud devienne Nord, la numérotation devient 24 à 12 dans le sens Sud-Nord. Vous suivez ? OK, alors dans cette position la lame numérotée H va indiquer l'heure H - 12 du matin, tout cela à cause de la symétrie des angles horaires. Les photos montrent les deux sens d'utilisation. Avec des cercles complets, il n'y aurait pas eu besoin de faire un demi-tour, mais cela n'aurait pas ressemblé à la photo de Joël Robic.

Les lames sont en aluminium anodisé, les pieds en tube aluminium, le support bois est peint. Une démonstration grandeur nature sera faite lors de la prochaine réunion de notre commission à Chaville. Il ne faut qu'une boîte de L 45 × ℓ 25 et 20 cm de hauteur pour l'envelopper. »



(a)



(b)

FIGURE 24 – Claude Gahon — Cadran *Ressac*.

— Cadran de Claude Gahon : Canicule

« Qui dit canicule dit soleil, voici donc mon soleil tous rayons dehors, réalisé par cette chaleur étouffante durant cet été.

Vous ne découvrirez pas une nouvelle théorie gnomonique car je suis resté dans le classique pour ne pas trop surchauffer mes neurones. C'est donc un pur équatorial, à ceci près qu'il est réversible pour la période hiver, et qui plus est, il tourne sur son axe grâce au vent, ou votre souffle, ou . . . à la main. Il joue ainsi le rôle de *tourniquet* ou de ventilateur bien utile en ce moment. J'aurai pu l'appeler aussi par l'un de ces noms !

Pour la lecture de l'heure, une fois orienté, on arrête son mouvement en bloquant n'importe quelle branche de l'étoile soleil sur une pointe de l'étoile métallique à 4 branches située derrière.

Tout le monde sait que sur un tel cadran le midi est *en bas*, donc il suffit de repérer, par rapport à ce midi, quel secteur peint est concerné par l'ombre de la tige. Un classique disais-je.

Pour la petite histoire, mon étoile est positionnée à l'inverse de ce que j'avais initialement imaginé.

Après avoir *sculpté* les facettes inclinées des branches (voir photos 26(a), 26(b), 26(c)) qui devaient recevoir l'ombre de la tige, je me suis aperçu que dans la plage du rayonnement solaire ($-23,46^\circ$ à $+23,46^\circ$ sur l'axe), ces facettes étaient à l'ombre, ... patatras!!! Erreur de raisonnement dû à mon amateurisme, j'avais pourtant fait des calculs savants pour déterminer les angles des lignes horaires sur les facettes. Je n'ai pas voulu perdre tout mon boulot de sculpteur (très amateur), alors j'ai transformé et utilisé la face *arrière* plane comme table équatoriale. Il reste à mon avis un petit défaut : la tige et l'écrou sont un peu trop épais, l'ombre est ainsi assez imprécise.

Tout petit, il entre dans une boîte L 15 × l 15 × H 25 cm, il est en bois peint et en aluminium.

J'espère qu'il vous amusera, faites le tourner en pensée pour vous rafraîchir.

Nota le cadran est évidemment réglable pour toutes les latitudes, soit en jouant sur la courbure du support, soit plus simplement par le biais de l'articulation qui permet de le basculer en position hiver.

Après avoir basculé le *soleil* en position hiver, il faut évidemment tourner le support de 180° pour que le *soleil* retrouve sa position équatoriale.

Oui, d'accord, si les 2 faces avaient été planes, il n'y aurait pas eu besoin de toutes ces manœuvres, mais dans ce cas cela devenait une copie du cadran étoilé d'Annecy. Ce n'était pas mon but. Et finalement mon *moulinet* a son originalité. »

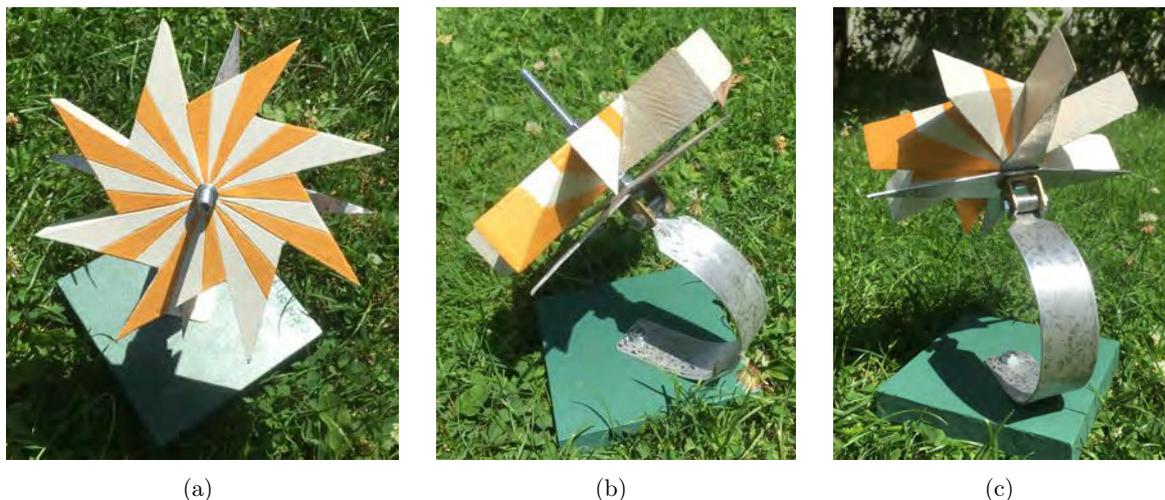


FIGURE 25 – Claude Gahon — Cadran *Canicule* en position Printemps-Eté.

— Cadran de Claude Gahon : Cygne

« Toujours en cette période de canicule (ces réalisations sont réalisées au cœur de l'été 2019) un petit jet d'eau est le bien venu, il vous est offert par *Cygne*, ma nouvelle création. Il vient compléter mon cadran *Soleil d'Eau* pour un ensemble rafraîchissant.

Comme dans plusieurs de mes cadrans, on peut lire l'heure solaire de 2 façons :

- Classique : le cou du cygne sert de style pour la table horizontale (bleue) sur laquelle sont gravées les lignes horaires.

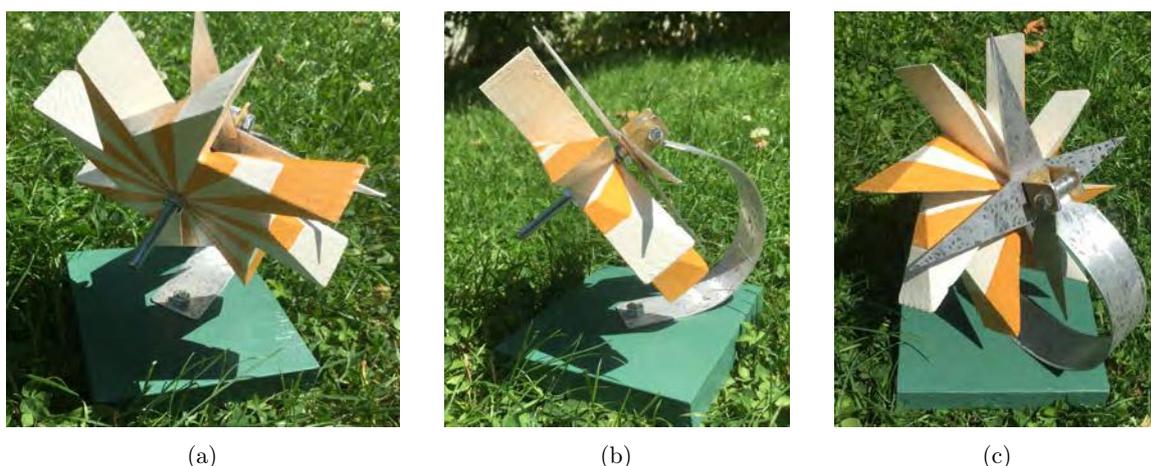


FIGURE 26 – Claude Gahon — Cadran *Canicule* en position Automne-Hiver.

— Originale : un jet d'eau sort par le bec du cygne, on actionne les *manivelles* jusqu'à ce que l'une d'entre elle ait sa pointe dans l'alignement de l'ombre du cou. Cette manœuvre a pour effet de faire pivoter de bas en haut le bec du cygne donc de changer son inclinaison, donc de changer le point de chute du jet d'eau.

Le point de chute est ainsi différent pour chaque heure, il est repéré au sol par une petite pierre qu'il suffit de repérer en heure solaire.

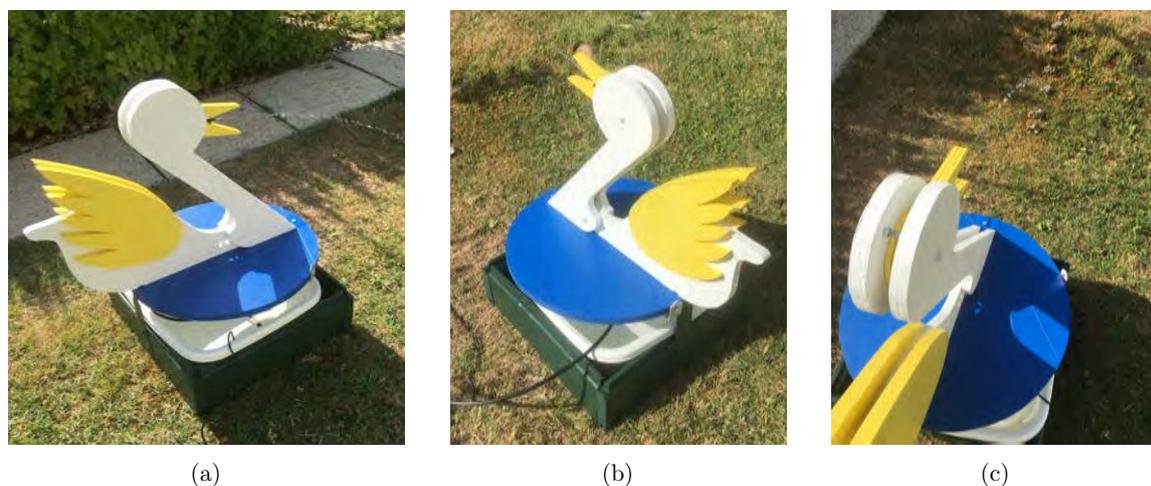


FIGURE 27 – Claude Gahon — Cadran *Cygne*.

Le jet d'eau est assuré par une mini pompe solaire qui puise son eau dans la réserve sous le cygne. On peut évidemment alimenter par le tuyau d'arrosage du jardin ce qui permet de varier la pression et donc l'amplitude des points de chute et améliorer la *précision* si l'on peut parler de précision sur un tel montage !

Amusant non ? Sans doute mais cela m'a donné du fil à retordre pour la conception et la réalisation.

Les manivelles s'entraînent mutuellement et tournent de façon symétrique par rapport à l'axe Nord-Sud de la table bleue, elles décrivent (à peu près) un demi-cercle en aller retour : à l'aller la longueur du jet augmente jusqu'à midi grâce à la manivelle gauche (à l'Est), au retour il diminue jusqu'à 21 h grâce à l'autre manivelle. Ainsi chaque pierre indique à la fois une heure du matin et sa symétrique de l'après-midi. Deux photos vous montrent le mécanisme d'entraînement à l'intérieur du cou et sous le plateau (cf. fig. 28(a) & 28(b)). Il m'a fallu fabriquer des poulies puisque le bec bascule de 45° environ et les manivelles tournent de 170° environ. Les transmissions se font par fils passant dans des anneaux ou trous ce qui n'est pas le top à cause des frottements. Mais cela fonctionne en y mettant un peu de bonne volonté et en *aidant* les manivelles.

Il y a peut être plus simple. Sans aucun doute des améliorations techniques et pratiques peuvent être apportées avec les matériaux. »



(a)



(b)

FIGURE 28 – Cadran *Cygne* — Détails du mécanisme.

2 Courriels gnomoniques

— Informations sur un indicateur de Qibla : Éric Mercier

Suite à l'envoi de photos d'un indicateur de Qibla par notre collègue Thierry Steffen, Éric Mercier, replace cet instrument dans son contexte et apporte quelques informations sur l'objet.

— Généralités : « Déterminer la Qibla, c'est-à-dire la direction de la Mecque, est un problème scientifique complexe car c'est un problème de géométrie sur une sphère (la Terre). Les outils mathématiques nécessaires à la résolution de ce problème sont très élaborés, ils correspondent à tout un chapitre de la géométrie que l'on appelle la *trigonométrie sphérique*. De fait, ce sont précisément des savants arabes, travaillant pour le Calife de Bagdad, qui ont inventé de toute pièce, cette *trigonométrie sphérique* au IX^e siècle, à l'époque de l'âge d'or de la Science Arabe. Il existe d'autres disciplines scientifiques appliquées à la religion, comme celles qui s'intéressent aux astrolabes et aux cadrans solaires (gnomonique), qui servent à déterminer le moment des 5 prières quotidiennes de l'Islam et qui furent maîtrisées par les savants arabes à peu près en même temps. Mais, alors que la gnomonique a imprégné assez significativement la société musulmane; (il suffit pour s'en

convaincre de constater le nombre et surtout la qualité scientifique des astrolabes qui nous sont parvenus), il semble que la science de la Qibla ne fut jamais vraiment intégrée par la société civile et admise par les autorités religieuses. Le fait que, dans tous les pays musulmans, les mosquées, qui sont censés être orientées selon la Qibla, présentent des orientations en grande partie aléatoires suffit à le démontrer.

De fait, la Qibla relève, dans la pratique religieuse ancienne, d'une *astronomie folklorique* pour reprendre l'expression du Professeur King, grand spécialiste de ces questions. Les anciens musulmans croyaient que l'on pouvait déterminer la Qibla selon la direction des vents dominants, de lever de certaines étoiles etc.

Tout cela, pour dire que les *indicateurs de Qibla* ne sont pas vraiment des instruments scientifiques (contrairement aux astrolabes et aux cadrans solaires) et qu'ils échappent à une approche scientifique ce qui les rend difficile à étudier, puisque ce n'est pas la science qui préside à leur conception, mais des croyances souvent non-identifiées. De ce fait, il n'existe aucune étude approfondie sur ces instruments. Ce qui suit repose donc plus sur des impressions basées sur des informations très disparates piochées dans la littérature spécialisée.

Il semble que pendant quelques rares périodes de l'histoire musulmane, les autorités aient essayé d'améliorer le traitement de la Qibla, sans généralement y parvenir d'ailleurs, il s'agit notamment de la fin du XVII^e-début XVIII^e marocain, du début de la période Ottomane (Empire Turc) et de la période Sfavide (XVI-XVIII^e) en Perse.

— Examen de l'instrument :



FIGURE 29 – L'objet est en laiton, diamètre 50 mm, boîte : 170 × 20 mm, poids 495 gr les photos sont de Th. Steffen.

L'instrument que vous avez est clairement "en lien" avec cette dernière période : soit Sfavide s.s., soit dans la tradition de cette période. On sait que cette tradition s'est prolongée au moins jusqu'aux premières années du XX^e.

Pour ma part, je suis complètement incapable d'être très précis sur la datation de votre instrument, mais une datation assez tardive, à cause du dos de l'instrument (voir plus loin), me paraît probable.

Normalement, sur ce type d'instrument il y a une liste de ville, avec en regard l'orientation de la Qibla qui est donc, non pas calculée par l'instrument, mais fournie. Je ne l'identifie pas dans le cas présent, je l'attendais au dos de l'instrument, mais peut-être est-elle sur un éventuel couvercle qui manque ??? Une fois connue la valeur, il suffit de mettre la petite aiguille mobile en face de la graduation équivalente, et après avoir orienter l'instrument à l'aide la boussole, l'aiguille matérialise la Qibla.

En plus de cette fonction, on note sur votre instrument la présence du triangle rabattable, qui ressemble à un style de cadran solaire, mais cela n'en est pas un du fait de l'absence d'indication horaire. Ce genre de dispositif est très classique sur ce genre d'instrument, on peut même dire systématique, mais on ignore la fonction ... peut-être tout simplement indiquer midi (quand son ombre est réduite à l'épaisseur du triangle).

On note également des figures entourées d'un petit cercle, l'ensemble suit précisément l'ordre du zodiaque, mais avec deux figures supplémentaires aux extrémités. Je n'ai aucune idée de la fonction de ces 14 signes, qui, à priori, n'ont rien à voir avec la Qibla.

Voilà ce que je peux vous dire ».

— Du plan au cadran : Maurice Kieffer



Dessiner un cadran solaire ou encore plus simplement le tracer à l'aide d'un logiciel est une chose. Le réaliser concrètement, lorsque l'on est ni peintre, ni graveur, en est une autre. C'est suite à une demande de ce type que M. Kieffer rappelle sa méthode de réalisation de cadrans. Utilisée depuis une dizaine d'années, il nous l'a commentée lors de présentations, il en fait ici une synthèse. Sa solution est de faire appel à un "imprimeur" qui propose du "DIBOND", comme

support. Ce matériaux est surtout employé pour des panneaux publicitaires (Voir le site <http://www.display.3acomposites.com/fr/produits/dibond/proprietes.html>)

1. Réalisation du plan. « Après avoir déterminé la longitude, la latitude ainsi que la déclinaison de la table comme pour tout cadran, on peut utiliser le logiciel de son choix.

Pour ma part j'utilise mon tableur personnel *Excel* pour les calculs et je trace (ou plutôt je traçai) les plans avec le logiciel *Autocad*. Celui-ci étant devenu payant depuis quelques années, je suis passé sur *DraftSight*. Attention lui aussi le sera en 2020.

Puis je communique à mon imprimeur le plan à l'échelle 1 (il accepte les fichiers en .dwg, en .dxf ou en .pdf). À noter que pour le décor je le fais chez l'imprimeur. Il a un logiciel beaucoup plus performant que le mien.

Avant de donner le feu vert pour l'impression laser, je vérifie 3 points pour être sûr qu'il n'y a pas eu distorsion lors des différentes manipulations. L'impression laser se fait sur du dibond mat (et non brillant). Il est très important après impression d'appliquer un film anti-UV.

2. Installation du cadran. Si le crépis ou le mur peint est lisse on peut fixer le cadran directement sur le mur. Une cale intermédiaire en PVC d'épaisseur 15 mm permet de fixer le style et le panneau en sandwich.

Si non il faut fixer un cadre inox en carré de 25/25 sur le mur (relever la déclinaison de ce panneau pour refaire le tracé).

3. Quelques remarques : Le point fixe de la table est au niveau du pied du style, les autres points de fixations doivent avoir du jeu pour la dilatation (En Alsace -30° à $+50^\circ$ soit 80° de différence). J'ai calculé l'écart de dilatation entre la table et la position de l'œilleton mais il est insignifiant.

Choisir les épaisseurs des traits suivant la distance de lecture (éviter le jaune).

L'état du mur il faut prévoir un support métallique non corrosif. En observant tous ces consignes on obtient une précision de lecture de quelques secondes.

4. Les prix. Ils sont variables en fonction du travail de l'imprimeur concernant les couleurs de fond, le décor, la devise etc. Ils peuvent varier du simple au double. Pour ma part je donne un fichier terminé et le prix au m^2 est d'environ 300 € TTC pour le Dibond d'épaisseur 3.

S'il faut un cadre en Inox, il faut faire des demandes de prix aux métalliers des environs ainsi que pour le style ».

En annexe de la version numérique :

- ◆ Un diaporama (CS sur dibond.pps) montre les différentes étapes de réalisation et de fixation décrites ci-dessus, ainsi que différents cadrans de M. Kieffer.

— Une machine pour observer les astres au méridien ? Jean-Claude Berçu

C'est Jean-Paul Cornec qui pose la question : « Récemment je regardais les ventes sur eBay, rubrique "cadran solaire". Comme le fait souvent ce site, il m'a suggéré d'autres ventes dont celle-ci provenant du eBay allemand (<https://www.ebay.de/itm/ASTRONOMIE-Orig-Kupferstich-um1790-Maschine-MERIDIAN-Durchgang-Sterne-beobachten/233222416160?hash=item364d23a720:g:lBoAAOSwDJ9c1G5J> ou <https://tinyurl.com/y3yblg7u>). Il s'agit d'une gravure d'origine française présentant une "*Machine pour observer le passage des Astres par le Méridien*". Sur le cadran représenté il est écrit "*cadran équinoxial vertical*" (*sic*) avec des graduations correspondant à une lecture de l'heure avec un style horizontal suivant le mois.

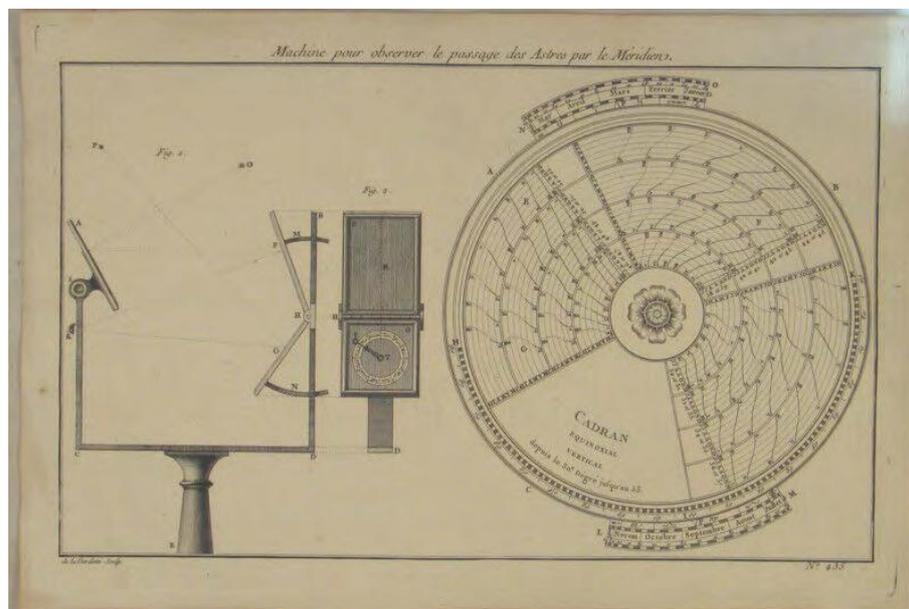


FIGURE 30

Je ne vois pas très bien l'usage du dispositif de gauche, où il y a manifestement des miroirs; ni s'il y a un lien entre ce dispositif et le cadran. Est-ce que quelqu'un à la CCS connaîtrait l'origine de cette gravure et l'usage du dispositif? J'ai cherché sur internet mais je n'ai rien trouvé ».

Voici les 3 étapes de recherches de Jean-Claude et la conclusion de Jean-Paul.

« Peut-être une première piste: Genssane auteur d'un article sur cette machine (voir PJ: "*Genssane.pdf*"). Comme il était membre de l'Académie des Sciences, je vais essayer de chercher dans les Cr. de l'Académie des sciences au 18^e siècle. À suivre. . . Il semblerait que ce Genssane — si c'est bien lui — a présenté seulement le dessin d'une machine à l'Académie des sciences. Mais la légende sur le dessin correspond au texte de l'Académie des sciences (PJ: "*Genssane 2.pdf*").

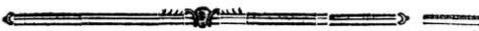
On dirait bien que la description de la machine (PJ: "*Genssane 3.pdf*") est celle qui correspond au dessin puisqu'on parle de miroir. À noter: signatures de Cassini de Thury et Maraldi. . . C'est sérieux! Pensez-vous que le dessin sur ebay puisse correspondre à cette "*machine*"? »

MACHINES
 E T
INVENTIONS
 APPROUVÉES
 P A R
L'ACADÉMIE ROYALE
DES SCIENCES,
 DEPUIS SON ÉTABLISSEMENT
 jusqu'à présent; avec leur Description.
Deffinées & publiées du consentement de l'Académie, par M. GALLON.
 TOME SEPTIEME.
 Depuis 1734 jusqu'en 1754.



 A PARIS,
 Chez ANTOINE BOUDET, rue Saint-Jacques.
 M. DCC. LXXVII.
 AVEC PRIVILEGE DU ROI.

(a)

RECUEIL DES MACHINES. 55

INSTRUMENTS 1736.
 ASTRONOMIQUES N°. 435.
 DE M. DE GENSSANE.

Nous avons examiné, par ordre de l'Académie; plusieurs instrumens présentés par M. de Genssane, savoir un Planisphere, un Cadran vertical universel, & une machine pour observer le passage des étoiles par le méridien.

Le planisphere est composé de huit platines de carton, qu'on peut faire en cuivre, dont le premier, qui est le plus petit, représente le globe de la terre, qui tourne sur son axe en vingt-quatre heures; le second carton représente le mouvement de la lune, & porte une aiguille de cuivre comme un index pour marquer le lieu de la lune dans le Zodiaque, & son passage par le méridien; le troisieme carton marque le mouvement du soleil; le quatieme représente le mouvement des nœuds de la lune & sa latitude; le cinquieme est une portion de spirale pour marquer l'âge de la lune: sur le fixieme carton sont marqués les mois & les jours. L'Auteur veut faire servir le septieme à marquer la différence des jours vrais & des moyens, par des divisions inégales qui correspondent aux divisions du fixieme carton. Enfin sur le huitieme carton, qui est divisé en 360 degrés, sont tracées les principales étoiles fixes dont sont composés les signes & les constellations du Zodiaque. L'Auteur se propose de donner à toutes ces pieces le mouvement qui est propre à chacune par des rouages concentriques, qu'il a exécutés en bois en attendant qu'il

(b)

FIGURE 31

« Un grand merci Jean-Claude pour ces recherches rapides et efficaces.

Le document *Genssane3* décrit parfaitement les deux objets présentés sur la planche: le cadran et la "*machine*" à repérer le passage au méridien.

Pour le cadran il y a donc trois cartons mobiles les uns par rapport aux autres. Cela n'apparaissait pas trop sur le dessin. Son usage n'est pas évident et n'est pas décrit.

Le châssis à repérer le passage des astres au méridien me semble se révéler être un lointain cousin du nocturlabe par la visée de la Polaire et correction de la date et du sextant par la réflexion sur les miroirs! »

En annexe de la version numérique :

◆ Les trois pièce jointes : "*Genssane.pdf*", et "*Genssane 2.pdf*", "*Genssane 3.pdf*".

— Que penser de ce cadran ?



FIGURE 32

Vu dans la vitrine d'un antiquaire par un membre de notre commission, celui-ci demande des informations. De type breton c'est Jean-Paul Cornec qui répond, conforté par Pierre Labat :

« Cela me semble être un cadran tout à fait authentique. D'après l'inscription du bas: par joachim jounier du bovi (??) de beganne, il provient de Béganne (56) où trois autres cadrans "Jounier" sont connus datés de 1785, 1831 et 1841 (photos ci-après).

Il est dans le même style de gravure avec des motifs et une structure semblable. On retrouve un soldat napoléonien à gauche.

À la base la gravure me fait d'ailleurs penser à une Légion d'honneur, que ce soldat aurait reçue. Les cadrans aux coins cassés sont habituels. Soit le démontage s'est en effet mal passé, soit le cadran est tombé. La plaque de schiste me paraît assez mince. La maison a peut-être été démolie aussi. Sa gravure a un contenu original mais ce n'est pas une œuvre d'art.

Après consultation des sites internet adéquats l'auteur de ce cadran devait habiter le lieu-dit La Bouie (orthographié alors BOVI) au sud du bourg actuel. Le nom Joachim Jounier doit être Joachim Vincent Jounier (1792-?) fils d'Étienne dont le nom apparaît sur le cadran de 1785. À remarquer aussi les deux animaux en haut du cadran: Le *Tarsier* et Le *Margay*. L'un est un primate d'Asie du Sud-est et l'autre un chat sauvage d'Amérique du Sud. Que venaient-ils faire sur un cadran du Morbihan en 1811? »



(a)



(b)



(c)

FIGURE 33

« Merci beaucoup pour votre aide . . . Toutes ces gravures font penser à une personne qui aurait beaucoup voyagé: Les animaux *tarsier* et *marginay*, mais aussi la tête de profil en haut à droite me fait penser à une tête d'amérindien ou est-ce la lune? et l'animal en bas à droite un lion??? Il n'en a pas trop la tête mais une crinière, les griffes et la queue. . . à moins que ce soit un cheval et seule la tête et la crinière peut y faire penser! On retrouve d'ailleurs le lion dans le cadran de 1831. Le cerf en bas à gauche est-ce un signe de protestantisme? Idem on le retrouve dans le cadran de 1831. Est-ce le propriétaire du cadran ou Joachim Jounier qui aurait voyagé? En tant que soldat qui aurait eu la Légion d'honneur?

Ou, Béganne étant sur le bord de la vilaine Vilaine, on embarquait à Redon pour des voyages lointains. . .

Quant aux objets: marteau, pince, râteau à foin, écorceur d'arbres, échelle, broc à eau, lance. . . une allusion au métier ou à l'activité du propriétaire?

Et le triangle qu'on retrouve sur les cadrans de 1841 & 1831 juste une décoration ou un symbole?

À la place de la cassure au-dessus de la croix y avait-il un coq comme dans les cadrans de 1785 et 1841? Ce n'est effectivement pas une oeuvre d'art mais un cadran naïf attachant. »

— De Jean Fort

Quittant son appartement parisien à 97 ans, Monsieur Jean Fort nous a fait don de ses archives.

Membre de la SAF depuis 1956, il avait reçu en 2016 la *médaille du Soixantenaire*. Passionné par tout ce qui touche à l'astronomie il adhère encore dernièrement aux commissions *histoire*, *Soleil* et bien sûr *Cadrans solaires*.

J. Fort a participé également à l'élaboration du livre *Paroles de Soleil* réalisé collégalement sous le pilotage d'Olivier Escuder. Ses études : *l'Histoire de l'Astronomie — Cours Université de Lille, les cadrans cruciformes, la restauration de cadrans . . .* sont à retrouver dans notre bibliothèque.

Les cartons reçus contenaient des documents :

- d'astronomie en général (6 cartons) : des livres, des notes, des photocopies d'articles, concernant, l'histoire, le cosmos, les instruments. . . Ils seront examinés par l'équipe de la bibliothèque de la SAF.
- de gnomonique (2 albums et 2 cartons) : des revues *Cadran info*, des photocopies d'articles, quelques livres connus, des diapos et photos.

Les documents seront archivés chez Ph. Sauvageot (suivant le principe décrit dans *Organisation et offres de la CCS*). Les titres des ouvrages inédits seront mentionnés dans notre *tableur biblio*, les plus pertinents et facilement numérisables seront diffusés principalement par *info-mail*.

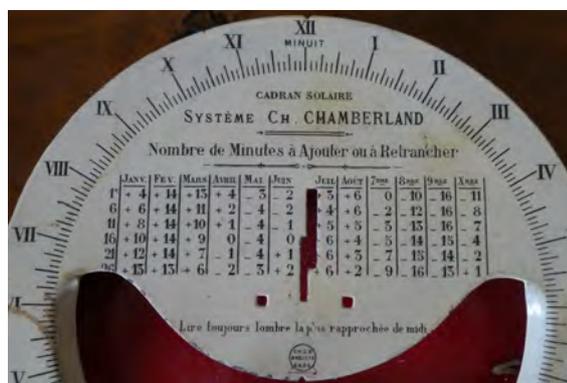
À signaler dans sa boîte d'origine, un cadran solaire de "*Ch Chamberland*". Photo [34\(a\)](#) & [34\(b\)](#) [page suivante](#) montrant les 3 pièces constitutives.

Le livret (non retrouvé) qui devait accompagner le cadran est présenté ci-après (*cf.* fig. [34\(c\)](#), [34\(d\)](#) & [34\(e\)](#) [page suivante](#)). Il est issu du site de la BNF et mentionné dans notre *tableur biblio*.

Serge Grégori et Didier Baret étudieront les photographies, diapositives, négatifs et les archiveront. Ils feront des numérisations.



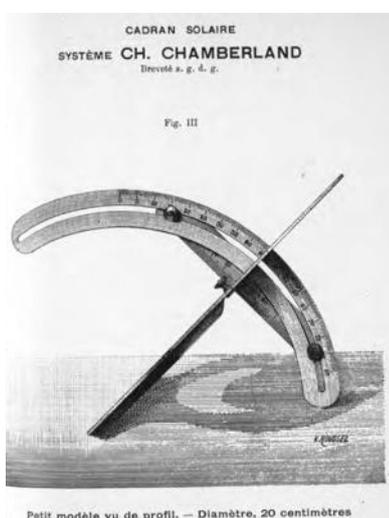
(a)



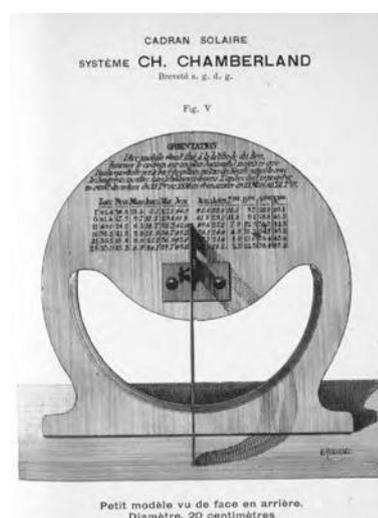
(b)



(c)



(d)



(e)

FIGURE 34 – Cadran « Ch. Chamberlain » (source : Jean Fort)

Merci à Monsieur Fort pour sa confiance, merci également à sa fille qui a assuré durant le mois d'août la livraison des cartons.

Contacté par téléphone, Monsieur Fort de sa voix forte et assurée, dont beaucoup se souviennent : « salut tous les membres de la commission. Il est prêt à qui lui demanderait de conseiller toutes initiatives pour mieux faire connaître les cadrans solaires, dans les médias, les mairies par conférences et/ou expositions ».

3 Études

La méridienne du château « Le Pre d'Auge » (Calvados 14 340)

Michel Tribehou, Chemin des Vatines — Le Pré d'Auge — est passionné par le patrimoine de sa commune. De ce fait il a étudié et rapporté l'histoire de : *800 ans de potiers*,

l'église Saint-Ouen ainsi que la fontaine et du chêne Saint-Méen, qui serait millénaire, dit-on (<https://micheltribehou.wixsite.com/lepredauge>). Bien sûr le *château de La Rivière du Pré d'Auge* n'échappe pas à ses recherches. Celui-ci étant doté d'une méridienne sur son aile gauche, il a fait appel à notre commission pour sa description.

- Historicité :

M. Tribehou nous indique que cette méridienne est de 1779. L'information se trouve dans la *Statistique monumentale du Calvados* de l'historien et archéologue Arcisse de Caumont (1801–1873). Dans le tome 5 publié en 1867, l'historien consacre un paragraphe au château, il écrit (*cf.* fig. 35) :

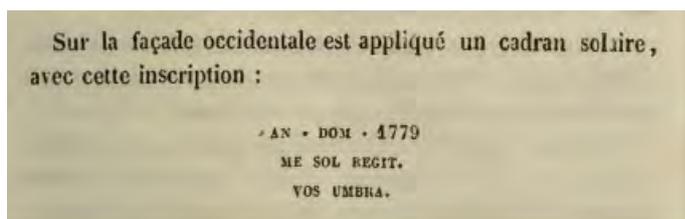


FIGURE 35 – Extrait de *Statistique monumentale du Calvados*, Tome 5, 1967, Arcisse de Caumont.

Dans un article publié il y a une vingtaine d'années, on lit également (*cf.* fig. 36) :

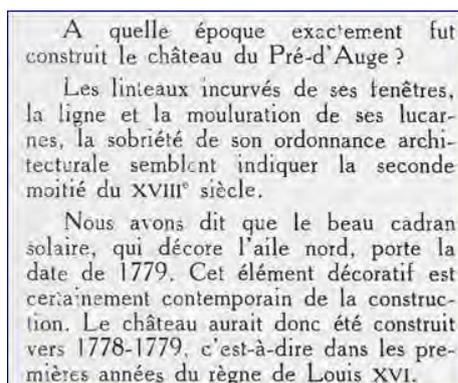


FIGURE 36

- Description du cadran :

En 1992 une étude avait été réalisée par Philippe Sauvageot et adressée à Monsieur de Russé, alors propriétaire du château. Le document, mis à jour et complété par Paul Gagnaire à partir de photographies reçues en février de cette année, est à retrouver en annexe.

La méridienne verticale est de *temps vrai*, d'environ 3,50 mètres de haut et de 64 centimètres de largeur. Le côté inférieur se trouve à 1,40 mètres du sol. Le mur est orienté vers le Sud-Est d'un angle de 31°. L'œilleton percé dans un grand disque de métal verdâtre est fixé à l'extrémité d'une barre ondulée, consolidée par deux jambes d'appui de grosseurs apparemment inégales dont la plus grêle semble descendue.

Elle est limitée par les amorces des arcs diurnes qui matérialisent le chemin parcouru par la tache de lumière, chaque jour. Ceux-ci, descendant en oblique, de gauche à droite, sont identifiés par trois inscriptions en écriture cursive, de haut en bas : Solstice d'hiver, Équinoxes, Solstice d'été. En outre, chaque trait-frontière des signes est annoté du symbole du signe ou des deux symboles des signes, lorsqu'ils sont symétriques.

Les noms des mois sont inscrits en petites capitales et l'on distingue une graduation des jours 10, 20, 30. À peu de distance de la droite verticale de midi, on peut lire, fractionnées

de haut en bas, en cinq groupes de lettres, les deux inscriptions :

SI GNES DAS CEN DANS
 SI GNES DAS CEN DANS



(a) Méridienne de temps vrai dans son ensemble



(b) Détail de l'oeilleton et de son support

FIGURE 37 – La méridienne du château « Le Pre d'Auge » (Calvados 14 340).

Deux erreurs sur les préfixes ont été mal corrigées et le trigramme médian porte encore, bien visibles, les surcharges de lettres. Sur la méridienne, il faut lire les signes ascendants à gauche et les signes descendants à droite. À noter que les inscriptions mentionnées par Arcisse de Caumont, en particulier la devise ne sont plus visibles. Cette dernière est traduite par M. Tribehou.

**ME SOL REGIT
 VOS UMBRA**

**Le soleil est ma règle
 L'ombre est la vôtre**

Les nombreuses informations données sur le cadran poussent à s'étonner que le cadranier anonyme n'ait pas réalisé une méridienne de Temps Moyen. Force est de constater que la séquence des signes du zodiaque, sans le croisement imposé par le huit, ne conviendrait pas à une méridienne de ce type.

En annexe de la version numérique :

- ◆ le fichier "MAJ-méridienne Prè-2019 Diff CI 40.pdf" avec en fin du documents les questions ou points restant à vérifier.

4 Gnomonique du monde

Sommaires des dernières revues ou bulletins :

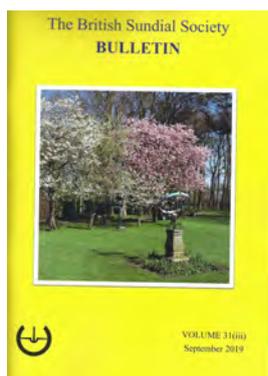


BULLETIN, Volume 31, N° 2, juin 2019 (sur papier) de **THE BRITISH SUNDIAL SOCIETY, BSS**

[sundialsoc.org.uk]

1. Editorial. 2. 3D Reconstructions of Ancient Sundials with Multiple Faces : Part 1 – *Ortwin Feustel*. 6. Spotted in a Shop window. 7. The Abhayagiri Monastery Sundial at Anuradhapura, Sri Lanka – *Martin Jenkins*. 10. In the Footsteps of Thomas Ross. Part 27 : The Ladyland Sundials, *Dennis Cowan*. 13. A Renaissance Navicula – *John Davis*. 16. Postcard Potpourri 47. Dean Row Chapel, Wilmslow – *Peter Ransom*. 17. A Study of the Shortest Day – *Alastair Hunter*. 19. BSS 30th Birthday Cake. 20. A Solar Transit on the Meridian Line, Basilica of San Petronio, Bologna – *Douglas Bateman*. 26. Holiday Picture :

Pitié-Salpêtrière Hospital, Paris. 27. Obituary – *Anton Schmitz*, *Martin Jenkins*. 28. Sundial Exhibition in Wrocław, Poland – *John Davis*. 29. Minutes of the 30th BSS Annual General Meeting, Bath, 27 April 2019. 30. Newly Reported Dials, 2018 – *John Foad*. 34. On the Steps of the Pump Room, Bath. 35. A Tea Plantation Sundial in Munnar, Kerala State, India – *Martin Jenkins*. 38. BSS 30 th Anniversary Conference : Bath, 26-28 April 2019.



BULLETIN, Volume 31, N° 3, Septembre 2019 (sur papier) de **THE BRITISH SUNDIAL SOCIETY, BSS**

[sundialsoc.org.uk]

1. Editorial. 2. Sundials in the Zuylenburgh Collection in Utrecht – *Douglas Baleman*. 7. Brushing up on your Latin. . . Inscriptions – *David Brown*. 10. Mnajdra Solar Temple, Malta – *Julian Lush*. 12. Gnomons of Portable Dials – *Mike Cowham*. 14. Ali Set for the Rocky Mountains – *Frank King*. 15. A Sundial by Thomas Hart – *Sue Mansion*. 19. Postcard Potpourri 48. Dial House, Marlow, Buckinghamshire – *Peter Ransom*. 20. The Shortest Day Revisited – *Fiona Vincent*. 21. A Richard Melvin Sundial – *Jan Bulson*. 22. 3D Reconstructions of Ancient Sundials with Multiple Faces : Part 2 – *Ortwin Feustel*. 27. The Cross Dials and Mottoes of the

Reverend Robert Essington – *Christine Northeast*. 33. Reader's Letter – *Karney*. 34. In the Footsteps of Thomas Ross. Part 28 : The Lee Castle Sundial – *Dennis Cowan*. 36. Spot the Sundial – *Frank King*.



La BUSCA de PAPER N° 92, printemps 2019 (sur papier et CD) de la **SOCIETAT CATALANA DE GNOMONICA, SCG**

[www.gnomonica.cat]

Reflexion — Es fa llarg esperar, per *Liz Castro*. Editorial. Els rellotges de sol de la Torre dels Vents d'Atenes, per *P. Albèri Auber*. La Pasqua de l'any 2019, per *E. Farré*. Barcelona, rellotge de sol, per *J. Galves*. Reforma Horària. Aplicació als rellotges bisuperficials del mètode de càlcul per a bifilars, per *J. Elorz*. Dos bons amics se n'han anat, per *C. Bou*. Fons documental de la SCG. Taller de bricolatge (13). Rellotge cilíndric vertical, per *F. Clarà*. Sant Cristòfol de Vespella, Gurb, per *P. Novella*. Fe d'errates n. 91 de la Busca de Paper. Correus de socis i amics : *P. Closas i R. Anselmi*. Una interessant cullera-rellotge de sol del segle XVI, per

R. Kriegler. Abstracts. Resúmenes. Filatèlia (II) de la col·lecció *F. Rocha, Eivissa*. Portada : Torre dels Vents, Atenes (foto *J. Ruy Pedroso*).



La BUSCA de PAPER N° 93, été 2019 (sur papier et CD) de la SOCIETAT CATALANA DE GNOMONICA, SCG

[www.gnomonica.cat]

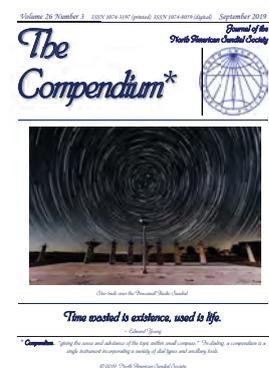
Reflexions, per *Pau Vidal*, p. 3. Editorial, p. 3. Eclipsi de sol i viatge a Xile, per *E. Farré*, p. 4. Col·laboracions : una guia, p. 7. El rellotge monumental de Bitola/Monastir, per *L. Fera i C. Bou*, p. 8. L' hora en català, per *E. Farré*, p. 10. Un rellotge agnomònic, per *J. Olivares*, p. 13. 19a Festa delle meridiane, Aiello del Friuli, per *L. Fera*, p. 14. Els rellotges dels astronautes (I), per *E. Farré*, p. 18. Hora, per *L. Schmitz*, p. 22. Reposició del quadrant solar històric de la Seu de Mallorca, per *R. Soler i Gayà*, p. 24. Treballs guanyadors del Concurs Sant Jordi 2019 : Poesia : El Vell quadrant, per *J. Girbau*, p. 28. Narrativa : Empaitant el temps (conte), per *Ma. R. Boyer*, p. 28. English abstracts, p. 29. Resúmenes español, p. 30. Filatelia (III), de la col·lecció F. Rocha, Eivissa, p. 31.



THE COMPENDIUM, Vol. 26, N° 2, juin 2019 (sur papier et CD) de la NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY, NASS

[www.sundials.org]

Sundials for Starters – Sunrise and Sunset, *Robert Kellogg*, p.1. The Van Vleck Observatory Sundial – My Design Process, *Robert Adzema*, p.4. Tres Riches Heures, *Mark Montgomery*, p.10. An Hours to Sunset, Solar Declining Dial using a mirror in a box, *Steve Lelievre*, p.14. The Roman Sundial own as the Ham of Portici, *Gianni Ferrari*, p.19. The Tower of the winds, Part 2, *Paolo Albèri Auber*, p.33. The Tove's Nest, p.40. Digital Bonus, p.40. Photo of a sundial at a residence in the Gavilan Hills, Costa Rica, *back cover*.



THE COMPENDIUM, Vol. 26, N° 3, sept. 2019 (sur papier et CD) de la NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY, NASS

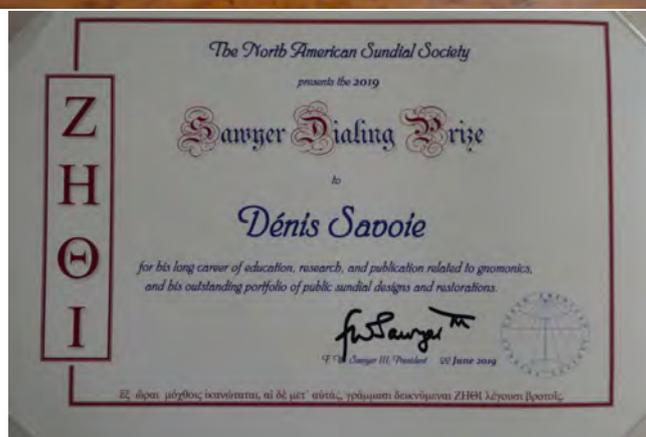
[www.sundials.org]

A "Radio Sundial" for the Jansky Very Large Array in New Mexico, *Sullivan, Goss, Raj*, p. 1. NASS Sundial Registry as a Map, *Kellogg and Lelievre*, p. 17. An unusual ancient sundial with hollow semi-cylindrical and hemispherical faces, *Ortwin Feustel*, p. 19. The Heliodon and the Torquetum, *Albinson and Berggren*, p. 27. KEPLERUHR : The Johannes Kepler Sundial in Grieskirchen, Austria, *Kurt Niel*, p. 36. The Tove's Nest, p. 40. Digital Bonus, p. 40. Breaking News – 2020 Conference Location, p. 40.

Lors de la réunion annuelle de la NASS en juin 2019 à Denver, Colorado, Fred Sawyer a annoncé que le « Prix Sawyer du Cadran 2019 » a été décerné à Denis Savoie pour sa longue carrière d'enseignant, de chercheur et ses publications en gnomonique ainsi que son remarquable répertoire de réalisations et restaurations de cadrans solaires publics.

Dans sa réponse en retour (lue par Bob Kellogg), Denis a remercié ses maîtres : Robert Sagot, Bruno Morando et Alain Segonds et son ami et assistant Marc Goutaudier. La présentation a continué avec la revue de quelques unes des réalisations préférées de Denis — une belle sélection des cadrans solaires publics impressionnants et remarquables qu'il a créés.

N'ayant pu se déplacer pour recevoir son prix, Denis recevra des mains de Philippe Sauvageot lors de la réunion de la CCS le 16 novembre prochain : son diplôme et un colis qui reste un secret à ce jour.

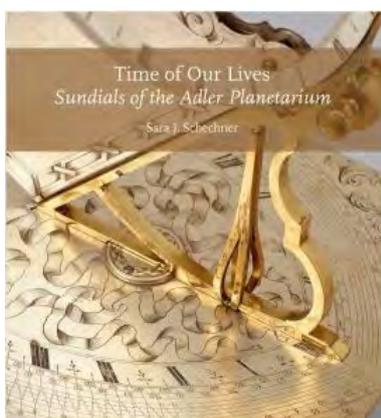


En annexe de la version numérique :

- ◆ Le diaporama qui a servi à l'annonce du prix lors de la réunion de la NASS.

Livre : *Time of Our Lives : Sundials of the Adler Planetarium.*

La NASS signale également :



« Le planétarium Adler a récemment publié le catalogue tant attendu (volume 1) de ses cadrans solaires : *Le temps de nos vies : cadrans solaires du planétarium Adler* de Sara J. Schechner.

Il s'agit d'un magnifique catalogue illustré de 488 pages contenant 268 cadrans (datant du XV^e au XX^e siècle) de la collection la plus complète de cadrans solaires et d'instruments de mesure du temps de l'Amérique du Nord.

L'auteur, Sara Schechner est membre de longue date de la NASS et occupe désormais le poste de conservateur David P. Wheatland de la collection d'instruments scientifiques historiques de l'Université Harvard.

Outre des descriptions détaillées et des illustrations de cadrans, le catalogue comprend plusieurs essais de Sara qui offrent un aperçu des techniques de production anciennes, des modes, de la hiérarchie sociale des utilisateurs et de l'impact des autorités civiles et religieuses dans de l'histoire du cadran solaire ».

Informations complémentaires :

<https://adlerplanetarium.ordercompletion.com/a561/time-of-our-lives-sundials-of-the-adler-planetarium.html>

(Se renseigner sur les frais d'expédition vers l'Europe).



OROLOGI SOLARI N° 18, avril 2019, de la CGI — Co-ordinamento Gnomonico Italiano à télécharger sur le site : [\[www.orelogisolari.eu\]](http://www.orelogisolari.eu)

8. Un orologio solare realizzato all'interno di un cono, *Arioni John*. 18. I cerchi di ora antica sulla sfera non sono cerchi massimi. La dimostrazione di Clavio con AutocadLT, *Albéri Auber Paolo*. 24. Piccoli orologi solari compositi, *Anselmi Riccardo*. 27. La macina del tempo, *Baggio Francesco*. 31. Una app per gnomonisti... apprendisti orologiai, *Casalegno Gianpiero*. 39. Definizione dell'orientamento di una parete piana, *Caviglia Francesco*. 42. Una riflessione dietro l'altra : il bispecchio, *Ferro Milone Francesco*. 52. E prima di Foster?, *Gunella Alessandro*. 55. L'analemma

solare e la Cattedrale di Maiorca, *Pol i Llompert Josep Lluís, Ruiz-Aguilera Daniel*. 59. Un orologio portatile romano, *Quadri Ulisse*.

RUBRICHE : 64. Rassegna riviste di gnomonica. 74. Notizie gnomoniche. 77. Pubblicazioni. 79. Quiz : *Nicelli Alberto*. 81. Effemeridi : *Albéri Auber Paolo*.



OROLOGI SOLARI N° 19, août 2019, de la CGI — Co-ordinamento Gnomonico Italiano à télécharger sur le site : [\[www.orelogisolari.eu\]](http://www.orelogisolari.eu)

6. Le linee orarie negli OS antichi non sono rette su piano. Un caso da esaminare, *Albéri Auber Paolo*. 16. Conservare la memoria umana dei Seminari, *Azzarita Francesco*. 18. Pasquale Monti costruttore di meridiane, *Coco Nicola*. 26. Il restauro funzionale della meridiana di Ferrara, *Comitato di redazione*. 29. Lapidari e orologi solari romani — Revisioni e aggiornamenti (1a parte), del *Favero Enrico*. 37. False meridiane, *Ferrari Gianni*. 47. Ricordando lo gnomonista, *Giovanni Flora, Flora Giuseppe, Francesco, Silvano e Lucia*. 51. Costruzione e impiego di un MODULO per una « dialling scale », *Gunella Alessandro*. 56. Giovanni Battista Benedetti :

« De gnomonum umbrarumque solarium usu », *Gunella Alessandro*. 58. « Conversi ad Dominum » — Orientazione astronomica di alcuni luoghi e chiese storiche di Cremona e Brescia, *Margotti Mario*.

RUBRICHE : 72. Itinerari gnomonici. 80. Rassegna riviste di gnomonica. 97. Gnomonica nel web. 98. Quiz.



SONNE + ZEIT n° 57, juin 2019 (sur papier) du Groupe de travail pour les cadrans solaires de l'ÖSTERREICHISCHE ASTRONOMICAL SOCIETY

P.4 – **Eine koreanische Sonnenuhr.** Ein interessanter Einblick in eine uns weitgehend fremde Kultur. *Klaus Göller*, Wien. P.7 – **Zur Geschichte der tragbaren Sonnenuhren.** Der Artikel beschreibt die geschichtliche Entwicklung der tragbaren Sonnenuhren. *Helmut Sonderegger*, Feldkirch. P.19 – **Losung der letzten Nachdenkaufgabe.** Am Nordpol einfach, auf hohen Breiten garnicht einfach! *Kurt Descovich*, Wien. P.20 – **Die Sonnenuhr des Elia Barchetti.** Der Autor entdeckte eine bemerkenswerte Tischsonnenuhr aus dem Jahre 1827. *Armin Denoth*, Innsbruck. P.23 – **Zum Nachdenken.** Elne etwas an den Haaren herbeigezogene Aufgabe über eine doppelte Tageslänge im hohen Norden, *Kurt Descovich*, Wien. P.24 – **Sonnenuhrbilder.** Zwei hübsche Sonnenuhrbilder von fleißigen Fotografen sind uns wieder zugegangen. P.24 – **Hermann Mucke, Astronom und Volksbildner.** Nachruf für einen herausragenden Menschen. *Walter Hofmann*, Wien.



Bulletin 2019.3, n° 130, septembre 2019 (sur papier) de la Nederlandse Zonnewijzerkring et de la Zonnewijzerkring Vlaanderen

Editorial, p. 3. From the NL Board – *Secretariat*, p. 4. Sundial exhibition in Wroclaw – *Editors*, p. 5. 'De Zonnewijzerkring' on Facebook – *Astrid van der Werff*, p. 6. Graduates put their pen to paper – *Editors*, p. 6. The excursion to Franeker – *Peter Smit*, p. 7. Return to Jaipur – *Joris Willems*, p. 9. Sundial ignorance – *Henk Moraal*, p. 15. A passer-by gets hooked – *Pieter van den Berg*, p. 16. Sundial awareness – *Hans Schipper*, p. 17. Interesting and useful – *Ab Alexandre*, p. 18. In memoriam Reinhold Kriegler and Gianni Ferrari – *Frans Maes*, p. 19. The meridian line of's-Hertogenbosch – *Frans Maes / Harry Kelder*, p. 20. Another navicula turned up – *Frans Maes / John Davis*, p. 22. This can only be done near the equator – *Frans Maes*, p. 24. A homemade heliochronometer, part 3 : Effect of atmospheric refraction – *André Reekmans*, p. 25. Foster-Lambert sundials, part 2 – *Han Hoogenraad*, p. 28. Starred sundial found in Finland – *Frans Maes*, p. 30. The 'Swiss pocket knife' from Museum Boerhaave – *Frans Maes*, p. 31. Puzzle : qibla and Eise Eisinga – *Frans Maes*, p. 32. Information on the Netherlands' and Flemish. Sundial Societies, p. 35.

Frans Maes secrétaire de la *De Zonnewijzerkring* informe de la reprise de cours de gnomonique dispensés par lui-même.

« Le cours prend la forme d'une auto-étude guidée. Auto-apprentissage signifie que vous recevez une leçon par courrier électronique toutes les deux semaines. Au total, il y a 13 leçons. Chaque leçon se termine par un certain nombre de *questions d'autoévaluation*, avec lesquelles l'élève peut vérifier s'il a compris la matière. Cela peut être vérifié sur la base des réponses disponibles sur le site Web du cercle. Ensuite, il y a une *question d'introduction* à laquelle la réponse doit être envoyée. Cela sert principalement à suivre les progrès: pas de réponse, pas de nouvelle leçon. L'enseignant est bien sûr disponible pour des questions. Le cours se termine par un test final. Le cours commence le 1^{er} octobre et dure jusqu'à la mi-avril ».

Pour tout renseignement :

cursus@zonnewijzerkring.nl ou penningmeester@zonnewijzerkring.nl

↔ 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 le poids.)

Réalisation : **Dominique Collin** (mise en forme & traitement \LaTeX) et **Philippe Sauvageot**.

Informations arrêtées en septembre 2019.



CADRAN-INFO

publié par la Commission des Cadres Solaires (CCS) de la Société Astronomique de France (SAF) est une revue spécialisée dans l'étude et la présentation des instruments de mesure du temps tel que : les cadrans solaires, les astrolabes et nocturlabes.

CADRAN-INFO regroupe la majorité des présentations faites lors des deux réunions annuelles de la CCS ainsi que des articles reçus en cours d'année. La revue est adressée gracieusement aux associations gnomoniques avec lesquelles nous sommes en relation en Allemagne, Angleterre, Autriche, Belgique, Canada, Espagne, Hollande, Italie, Japon, USA, Suisse.

CADRAN-INFO est devenu au cours des années UNE référence en matière d'études, de techniques, de méthodes, pour certaines totalement inédites. La liste des articles publiés depuis l'origine est fournie sur demande.

CADRAN-INFO paraît en mai et en octobre sous forme : papier (N&B ou en couleurs), numérique avec annexes en bonus (CD ou téléchargement).

Pour toute commande, abonnement. . . si vous êtes membre de la CCS contacter Ph. Sauvageot sinon adressez-vous au secrétariat de la SAF :

secretariat@saf-astronomie.fr

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 articles¹ sont à envoyer à Ph. Sauvageot par mail ou sur CD-Rom/DVD PC (sous format : .doc, .docx, .odt, Excel *ET* sous PDF), éventuellement sur papier.

1. Police : « **Times New Roman** », taille : 12, interligne : simple, marges : 2,5 cm avec en-tête et pied de page. Pour les formules ne pas utiliser « symbole » mais insertion « caractères spéciaux » sous Times New Roman.

- Aberration, 74, 87, 88
 al-Zarqali (1029–1087), 120
 Alphonsines (tables), 13
 Analemme, 42
 Anaximandre, 36
 Année
 Anomalistique, 84, 89
 Civile, 85
 Tropicque, 85, 89
 Anomalie moyenne, 70, 71, 76, 77, 85, 89
 de la Lune, 72, 86
 du Soleil, 72, 74
 Arzaquiel, *voir* al-Zarqali
 Ascension droite, 87
 Astrolabe
 Classique, 121
 de La Hire, 120, 121
 de Rojas, 121

 Baillet, Gérard, 147
 Baret, Didier, 165
 Bedos de Celle, 43
 Beneult, Dominique, 147
 Berçu, Jean-Claude, 162
 Berthault, P.-G., 128
 Bigourdan, Guillaume, 122
 Bion, Nicolas (1652–1733), 121
 Blaise, Pierre, 119
 Blazy, Olivier (photographe), 51–53
 Bobyne, Pierre (1593–1668), 116, 120
 Bonaparte, Napoléon, 128
 Bonnin, Jérôme, 145
 Bosse, Abraham (1602/04–1676), 118
 Bret, Patrice, 131, 133, 134, 136
 Bretagnon, Pierre, 76, 83, 84, 89

 Cadran solaire
 à Chambre obscure, *voir* Méridienne
 à heures duodécimales, 126
 à Réflexion, 20–35
 Analemme, 48
 Azimutal, 59
 Biface, 139
 Bloc gnomonique, 147–150
 Canonial, 37
 Chambre méridienne, 114
 de Beaune, 137–144
 Faux-style, 117
 Horizontal, 106
 Horizontal (épure), 93
 Incliné et déclinant, 20
 Luni-solaire, 47
 Sous-styloire, 118, 123
 Vertical, 59
 Vertical déclinant (épure), 94
 Vertical de hauteur d'Hévélius, 150
 Caire, Le, 127, 136
 Camus, Jean-Louis (Maire de Mézières-en-Brenne), 19
 Cassini, Jacques (1677–1756), 115
 Cassini, Jean-Dominique (1625–1712), 115
 Caumont, Arcisse de (1801–1873), 167
 Chasles, Michel (1793–1880), 120
 Clavius, Christopher (1538–1612), 116
 Collin, Dominique, 20
 Conté, N.-J. (1755–1805), 126–128, 132–134, 136
 Corneq, Jean-Paul, 164
 Cuoq, Joseph, 130

 D'Hollander, Raymond, 120
 Dancel (1761–1836), 149
 Daniel (prophète), 51
 Danjon, André, 69, 74, 76, 83, 89
 Déclinaison
 du Soleil, 111, 117
 Delambre, Jean-Baptiste, 122
 Desargues, Girard (1591–1661), 118
 Descamps, Pascal, 115
 Dewachter, Michel, 128
 Diodore d'Alexandrie (II^e av. J.-C.), 119
 Dumoulin, Christian, 71, 77

 Échelle des hauteurs égales, 111
 Église
 Mézières-en-Brenne (36), *voir* Méridienne
 Molines-en-Queyras (05), 59, 66
 Élie, Gérard, 67
 Équation
 du Centre, 70, 71, 74–76, 84, 85
 du Temps, 40, 41, 69, 73, 76–78, 89
 Équinoxiale, 123
 Escuder, Olivier, 165
 Excentricité, 74, 77

 Faisceau lumineux
 Cylindrique, 20
 Flot de rayons lumineux, 20
 Fontenelle, Bernard Le Bouyer (1657–1757), 117
 Fort, Jean, 165, 166
 Francou, Gérard, 84
 Frisius, Gemma (1508–1555), 121

 Gagnaire, Paul, 167
 Gahon, Claude, 155–157
 Goethe, 44
 Gotteland, Andrée, 115
 Grégori, Serge, 165
 Graeve, J. De, 107

 Hasan Kachef (palais d'), 128, 133
 Heure
 Astronomique, 135
 Babylonique, 44, 135
 Décimale, 126, 136
 Italique, 44, 135
 Républicaine, 46
 Sidérale, 46
 Temporaire, 45

 Ibn Touloun, (Mosquée), 128

 Jabarti, Abd-al-Rahman, 126, 128–130, 133, 134, 136
 Jomard, É., 128
 Jounier, Joachim Vincent (1792–?), 164

 Képler, Johann, 41
 Kieffer, Maurice, 147, 161

 La Hire, Philippe de (1640–1718), 115–123
 La Roche Guyon (Château du Duc de la Rochefoucault), 114
 Labat, Pierre, 164
 Laissus, Y., 128
 Lalande, Joseph Jérôme Lefrançois de, 119

- Langlois, Claude, *voir* Méridienne, [114](#)
 Le Maire, Jacques, [106](#)
 Le Roy, Julien (1686–1759), [106](#), [114](#)
 Lecoquièrre (1740-1807), [149](#)
 Leek, John, [117](#)
 Logiciel
 Shadows, [16](#)
 Longitude
 Apparente, [88](#)
 Vraie, [88](#)
 Longitude moyenne, [77](#), [85](#), [89](#)
 de la Lune, [72](#), [86](#), [87](#)
 du Noeud ascendant de la Lune, [72](#),
 [86](#), [87](#)
 du Soleil, [72](#), [73](#)
- Marcel, Joseph, [128](#)
 Maronne, Sébastien, [119](#)
 Massé, Yvon, [62](#), [63](#), [120](#)
 Meeus, Jean, [69](#), [73–75](#), [80](#), [83](#), [87](#)
 Mercier, Éric, [159](#)
 Méridienne, [111](#), [113](#)
 Église de Mézières-en-Brenne, [13–](#)
 [19](#)
 château Le Pré d’Auge (Calvados,
 14 340), [167](#)
 Chambre obscure, [114](#)
 de l’Observatoire de Paris, [115](#)
 de la Basilique de San Petronio
 (Bologne, It.), [115](#)
 Frontiscipe de « La Gnomonique »,
 Bedos de Celle, [43](#)
 Hôtel de la Monnaie (Paris), [43](#)
 Musée de Châtillon-sur-Seine, [97](#)
- Michel, Henri, [121](#)
- Miroir
 de Première surface, [20](#)
 Incliné et déclinant, [20](#)
 Monge, Gaspard (1746–1818), [92](#)
 Moreux, (abbé), [91](#)
 Murs, Jean de, [13](#)
 Musée
 Arts & Métiers (Paris), [106](#)
 Châtillon-sur-Seine, [97](#)
 de Champollion et des Écritures du
 Monde (Figeac), [136](#)
 de la Vie Wallonne (Liège), [135](#)
 des Beaux Arts (Tours), [107](#)
 Museum of Fine Arts (Boston), [135](#)
 National Maritime Museum
 (Greenwich), [122](#)
- Neugebauer, Otto, [119](#)
 Nouet, N.-A., [128–131](#), [133](#), [134](#)
 Nutation en longitude, [74](#), [86](#)
- Obliquité, [71](#), [77](#)
 Œilleton, [30](#)
 Œilleton, [14](#), [16](#), [111](#), [167](#)
 Ozanam, Jacques (1640–1718), [115](#), [119](#),
 [122](#)
- Paltrinieri, Giovanni, [115](#)
 Pardies, Ignace Gaston (1636–1674), [116](#)
 Parisot, Jean-Paul, [71](#), [77](#)
 Picard, Jean (1620–1682), [115](#), [117](#), [120](#)
 Plin (L’Ancien), [107](#)
 Poulle, Emmanuel, [13](#), [121](#)
 Projection stéréographique, [120](#)
 Protain, J.-C., [132](#)
- Qasim Bey, (Palais de), [133](#), [134](#)
 Qibla, [159](#), [161](#)
- Réduction à l’équateur, [71](#), [85](#), [86](#)
 Robic, Joël, [155](#), [156](#)
 Rojas Sarmiento, Juan de, [121](#)
 Rozier–Côte d’Aurec, [51](#)
- Saint Pétersbourg, [113](#)
 Saint-Benoît de Nursie (480-547), [37](#)
 Sainte Marie Magdeleine, Pierre de, [67](#)
 Sainte Marie Magdeleine, Pierre de
 (1609–16??), [116](#)
 Saphaea, [121](#)
 Sauvageot, Philippe, [165](#), [167](#)
 Savoie, Denis, [13](#), [76](#), [134](#), [136](#), [170](#)
 Sawyer, F.W., [107](#)
 Soleil
 Diamètre apparent, [20](#)
- Tache lumineuse, [20](#)
 Thabit Ibn Qurra, [118](#)
 Toroïde, [30](#)
 Tribehou, Michel, [166](#)
 Turner, A., [107](#), [114](#), [116](#)
- Verdier, Thierry, [117](#)
- Warusfel, André, [119](#)
- Zarbula, [59](#), [62](#), [66](#), [67](#)
 Ziggelaar, August, [116](#)

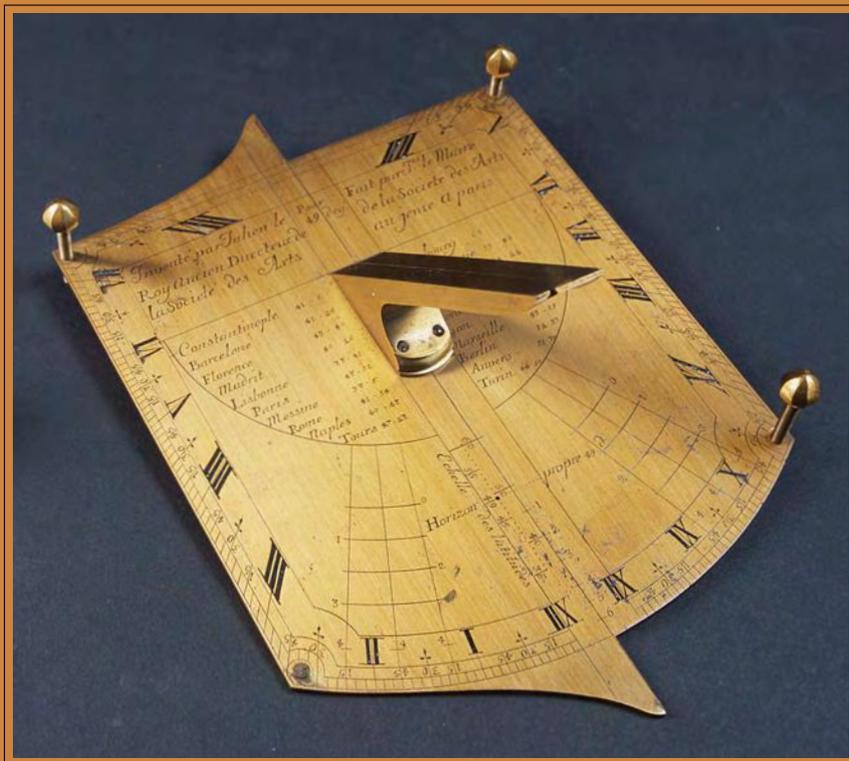


Photo fournie par D. Savoie

Compas solaire de Julien Le Roy (~ 1740)
(Musée des Arts et Métiers, Paris)