

N°53 Mai 2026

ccs.saf-astronomie.fr

ISSN : 2824-0324

Au Sommaire :

- La seconde loi de Kepler et la méridienne de San Petronio
- Le Papophoplon

. Histoire

L'Astronomical Time keeper de James Ferguson

La place d'Abū-Bakr dans l'histoire des astrolabes planisphériques maghrébo-andalous

. Études

Le cadran de Gunter

Réflexions sur une particularité de l'équation du temps

L'astrolabe du « barbier de Bagdad » dans les contes des « Mille et une nuits »

. Descriptions

Un palimpseste gnomonique

Analyse d'un CS horizontal

. Pratique

D'une courbe diurne au tracé du cadran

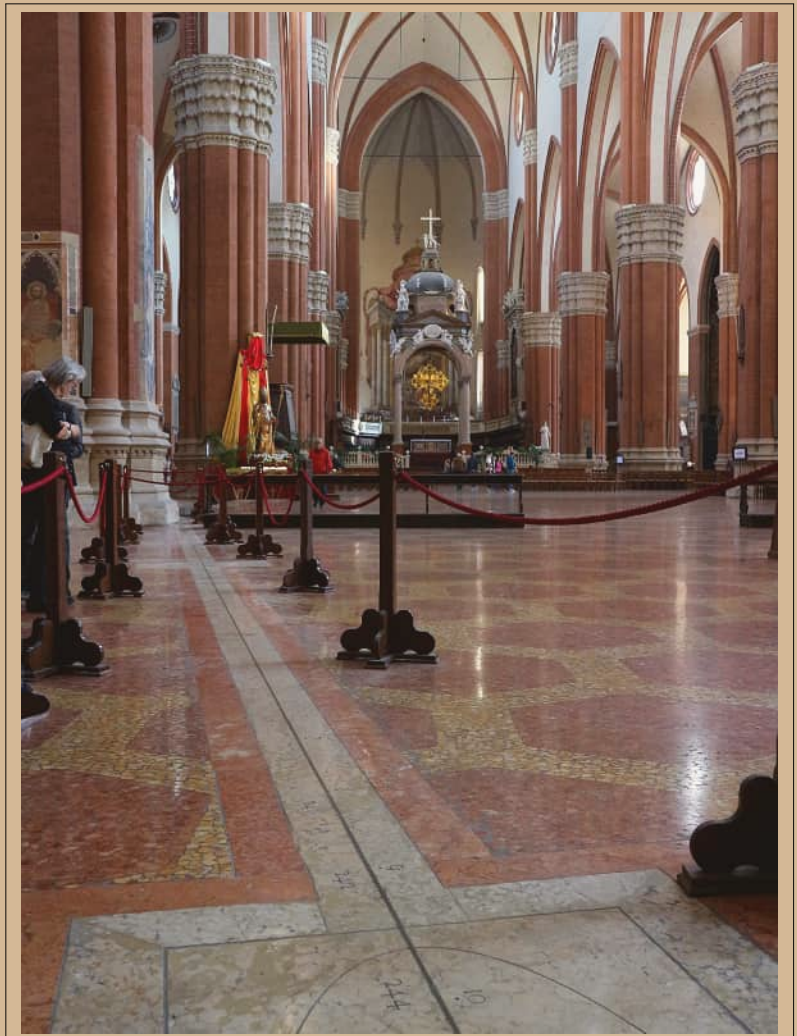
. Informations

Restauration de cadrans, nouveaux cadrans et dernières réalisations

Documents, Livres et logiciels

Questions/réponses gnomoniques

Bulletins des Sociétés étrangères



Software : typography

$\text{\TeX}$ and $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}\text{\TeX}$ are trademarks of the *American Mathematical Society*.

$\text{\LaTeX}$ is a program whose copyright belongs to Leslie Lamport.

Moteur de compilation : LuaHB $\text{\TeX}$, Version 1.24 (TeX Live 2026) — Development id : 7673.

Licence : Ce document est mis à disposition selon les termes de la license CC BY-NC-ND 4.0

Creative Commons — Attribution — Pas d'Utilisation Commerciale — Pas de Modification.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

Copyright © 2026 by CCS.

(Société Astronomique de France)

Première édition, Mai 2026.

ISSN : 2824-0324

All inquiries should be addressed to :

Philippe SAUVAGEOT

sauvageotph@wanadoo.fr

&

Dominique COLLIN

Directeur de la publication, président de la

Commission des Cadrans Solaires.

dominique.collin007@gmail.com



Compilé sous Lua $\text{\LaTeX}$ le 26 mai 2026.

Build n°v1.0334.

Ce document contient [197](#) pages.



Commission des Cadres Solaires

ccs.saf-astronomie.fr

La **Commission des Cadres Solaires** de la **Société Astronomique de France** effectue des recherches, des travaux théoriques et pratiques concernant les gnomons, cadrans solaires, 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 solaires, leurs devises, leur construction et la littérature qui leur est consacrée. Elle participe à la sauvegarde du patrimoine gnomonique français. Elle comprend environ 250 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 (les *Info-mails*).

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 : 52 € pour l'Île de France (75, 77, 78, 91, 92, 93, 94, 95), 44 €/an autres départements, 44 € pour l'Union Européenne et le reste du monde, 15 € pour étudiant (moins de 25 ans joindre justificatif).

Contact : secretariat@saf-astronomie.fr

En page de couverture : La méridienne de la basilique San Petronio à Bologne (Italie). (*Crédit photographique* : CEphoto, Uwe Aranas, sous licence CC BY-SA 3.0 & Rosapicci, sous licence CC BY-SA 4.0.).

En quatrième de couverture : Cadran de Gunter de 1682, tracé pour la latitude de 52° 40' (Royal Museum Greenwich).

Couleurs en page de couverture : package xcolor (option x11names). Pour le bandeau haut et le dos de couverture : [RGB : {212,168,67}] et [HTML {D4B896}] pour le corps de page.

Summaries in French, English, German, Spanish, Italian

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

Sommaire de Cadran Info n°53

Le quadrant de Gunter : Le quadrant de Gunter est un instrument astronomique du XVII ^e siècle qui permet la détermination de l'heure, de l'azimut du Soleil et d'autres paramètres astronomiques. On décrit ici son mode d'utilisation, ainsi que les principes de son tracé.	⊇	David Alberto	19
L'Astronomical Time keeper de James Ferguson : Cet article présente « The Astronomical Time keeper », un instrument original pour déterminer l'heure la nuit, que l'on doit à l'écossais James Ferguson.	⊇	David Alberto	35
Un « palimpseste » gnomonique : Les tribulations d'un bas-relief aux apôtres du XV ^e siècle, transformé en cadran solaire au XVII ^e siècle, puis à nouveau disposé comme sculpture religieuse dans la même église au XX ^e siècle.		Dominique Bénéult & Andréas Borchert	44
Réflexions sur une particularité de l'équation du temps : La courbe de l'équation du temps présente quatre extrêmes. Mais, dans certaines conditions, deux d'entre eux disparaissent pour laisser place à un palier. C'est l'objet de cet article.		Guy Grasic	47
Analyse d'un cadran solaire horizontal : Étude d'un cadran anonyme qui révèle <i>in fine</i> son origine.		Pierre Labat	54
Le Papophoplon : Réconcilier les humains avec l'heure solaire et faire vivre le patrimoine de nos cadrans solaires ! Le Papophoplon est un instrument simple qui donne de manière évidente l'ajustement entre l'heure solaire et l'heure légale pour tous les jours de l'année. Il permet ainsi de « faire parler » les cadrans solaires au grand public, ce qui met en valeur notre patrimoine de cadrans solaires installés. De plus, c'est un outil pédagogique, qui permet une introduction à la gnomonique et la compréhension de quelques notions essentielles de temps et d'astronomie.		Christophe Marion	63
La place d'Abū-Bakr (début du XIII^e siècle) dans l'histoire des astrolabes planisphériques maghrébo-andalous : Les astrolabes maghrébo-andalous sont des instruments de bonne qualité scientifique qui ont des spécificités notables par rapport aux autres astrolabes arabo-musulmans. À l'époque d'activité d'Abū-Bakr, au début du XIII ^e siècle, deux de ces spécificités ont subi une évolution rapide que l'on peut qualifier de rupture. Cet article pose la question de l'implication d'Abū-Bakr dans ces ruptures et conclut qu'il n'était pas seulement un « habile artisan », mais aussi un authentique scientifique.		Éric Mercier	75

Suite page suivante ...

... Suite de la page précédente

L'astrolabe du « barbier de Bagdad » dans les contes des « Mille et une nuits » : Dans le conte du « *barbier de Bagdad* » tiré des « *Mille et une nuits* », un des personnages prétend mesurer des positions planétaires et autres données astrologiques, en utilisant un astrolabe. Il est possible que l'auteur du conte se soit inspiré d'un horoscope (au sens médiéval du terme) pour rédiger cette partie du texte. Des historiens des sciences contemporains ont proposé d'utiliser cet hypothétique horoscope pour dater la rédaction du conte. Je montre que ces tentatives de datation sont fautives, et que cette démarche est probablement vouée à l'échec.

Éric Mercier 85

La seconde loi de Kepler et la méridienne de San Petronio : Cet article examine l'idée répandue selon laquelle Jean-Dominique Cassini aurait démontré la seconde loi de Kepler grâce à la méridienne de San Petronio, et réévalue cette affirmation à partir des sources historiques. Il rappelle le contexte théorique du XVII^e siècle, marqué par la coexistence de plusieurs modèles du mouvement solaire (excentrique simple, équant, ellipse képlérienne) et par la difficulté d'en départager les effets observationnellement. Les mesures du diamètre apparent du Soleil effectuées par Cassini montrent bien une variation de la vitesse de la Terre autour du Soleil, mais elles ne permettent pas de prouver rigoureusement la loi des aires. En revanche, ces observations confirment solidement la « bissection de l'excentricité » et soutiennent un modèle proche de celui à équant. Ce dernier est compatible avec certaines des idées de Kepler sans toutefois valider formellement son modèle elliptique complet. Les auteurs concluent donc que Cassini n'a jamais revendiqué une démonstration de la seconde loi de Kepler, et que les limites instrumentales et théoriques de l'époque rendaient une telle preuve hors de portée.

Denis Savoie & J.F. Consigli 95

D'une courbe diurne au tracé du cadran : Approches de la datation d'instruments de mesure comme les cadrans solaires, astrolabes ... par le style des écritures, l'évolution de la graphie des chiffres...

Gilbert Vincent 120

Informations diverses :

♣ Dernières découvertes ou réalisations :

- Histoire de faucon : Joseph Zagni (CCS)
- Cadran déclinant : Christophe Marion (CCS)
- Cadran analemmatique : Pierre Carillo (CCS)
- Méridienne à Bagnolet : Roland Querry (CCS)
- Canon de lumière : Denis Schneider (CCS)
- Stèle gnomonique à "l'Espace muséographique Georges Baccrabbère" ; analyse du blason côté nord : Denis Schneider (CCS)
- Cadran de Claude Gahon (CCS) : « *Boules de Noël* »
- Cadran de Claude Gahon (CCS) : « *Boîte* »
- Cadran de Claude Gahon (CCS) : « *Color Box* »

♣ Lettres/Courriels gnomoniques :

- Rectification article *Cadran Info* n°52 : Gérard Hory (CCS)
- Cadran en terre cuite : Pierre Causeret (CCS)
- Conservation du patrimoine (suite) : Didier Benoit (CCS)
- Conservation du patrimoine (conclusion) : Bernard Cura (CCS)

Contributions :
D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grasic, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion,
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Querry,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni.

143

Suite page suivante ...

♣ Lettres/Courriels gnomoniques :

- Cadran de poche : Michael Hromek (CCS)
- Projet méridienne : André Goffin (CCS)
- Faux en faux : Éric Mercier (CCS)
- Direction de la Qibla (CCS)
- Ma méthode : Jean-Claude Reita (CCS)
- Cadran solaire et "descriptive" : Jean-Claude Reita (CCS)
- Cadran pour le sultan Mehmet II : Dominique Collin (CCS)
- Site web : Nicola Scarpel (CCS)
- Jeu du chien et du chacal : Jean Scordia (CCS)
- Le 20 mars : Gilles Montambaux et Yves Guyot (CCS)
- Remarques sur l'article CI 52 de la courbe en huit de temps moyen : Guy Grasic et Denis Savoie (CCS) $\supseteq$

♣ Les livres :

- Le soleil dans les livres (Alain Lesage)
- "Compasts" par Erhard Etzlaub

♣ Nous ont quitté : Gérard Baillet

♣ Gnomonique du monde :

- Sommaires des dernières revues ou bulletins.

♣ Solution du mot mystère de *Cadran Info* n°52

♣ Trouvez le mot mystère

♣ Crédits Iconographiques

♣ Index

Contributions :
D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grasic, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion,
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Query,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni.

143

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° 53



Gunter's quadrant : Gunter's quadrant is an astronomical instrument from the 17th century that enables the determination of time, the azimuth of the Sun, and other astronomical parameters. This paper describes its use, as well as the principles of its design.

 $\supseteq$

David Alberto

19

James Ferguson's Astronomical Timekeeper : This article presents « The Astronomical Timekeeper », an original instrument for telling time at night, devised by the Scotsman James Ferguson.

 $\supseteq$

David Alberto

35

Continued on next page ...

... Continued from previous page

A gnomonica "palimpsest" : The tribulations of a 15th-century bas-relief depicting the apostles, converted into a sundial in the 17th century, then reinstated as a religious sculpture in the same church in the 20th century.	Dominique Bénéult & Andréas Borchert	44
Reflections on a particularity of the equation of time : The equation of time curve has four extrema. However, under certain conditions, two of them disappear and give way to a plateau. This is the subject of this article.	Guy Grasic	47
Analysis of a horizontal sundial : Study of an anonymous sundial that ultimately reveals its origin.	Pierre Labat	54
The Papophoplon : Reconciling people with solar time and promoting the heritage of our sundials! The Papophoplon is a simple instrument that clearly shows the adjustment between solar time and legal time for every day of the year. It thus enables sundials to "speak" to the general public, highlighting the heritage of installed sundials. Moreover, it is an educational tool, providing an introduction to gnomonics and an understanding of some essential concepts of time and astronomy.	Christophe Marion	63
The place of Abū-Bakr (early 13th century) in the history of Maghrebi-Andalusian planispheric astrolabes : Maghrebi-Andalusian astrolabes are instruments of good scientific quality with notable specificities compared to other Arabo-Muslim astrolabes. At the time of Abū-Bakr's activity, in the early 13th century, two of these specificities underwent a rapid evolution that can be described as a rupture. This article raises the question of Abū-Bakr's involvement in these ruptures and concludes that he was not merely a "skilled craftsman," but also a genuine scientist.	Éric Mercier	75
The astrolabe of the "Barber of Baghdad" in the tales of the "One Thousand and One Nights" : In the tale of the " <i>Barber of Baghdad</i> " from the " <i>One Thousand and One Nights</i> ", one of the characters claims to measure planetary positions and other astrological data using an astrolabe. It is possible that the author of the tale drew inspiration from a horoscope (in the medieval sense of the term) to write this part of the text. Contemporary historians of science have proposed using this hypothetical horoscope to date the composition of the tale. I show that these dating attempts are flawed, and that this approach is likely doomed to failure.	Éric Mercier	85
Kepler's second law and the meridian line of San Petronio : This article examines the widespread idea that Jean-Dominique Cassini demonstrated Kepler's second law using the meridian line of San Petronio, and reassesses this claim based on historical sources. It recalls the theoretical context of the 17th century, marked by the coexistence of several models of solar motion (simple eccentric, equant, Keplerian ellipse) and the difficulty of distinguishing their effects observationally. Cassini's measurements of the Sun's apparent diameter do show a variation in the Earth's speed around the Sun, but they do not rigorously prove the law of areas. However, these observations strongly confirm the "bisection of the eccentricity" and support a model close to the equant one. This model is compatible with some of Kepler's ideas without, however, formally validating his complete elliptical model. The authors therefore conclude that Cassini never claimed to have demonstrated Kepler's second law, and that the instrumental and theoretical limitations of the time made such a proof unattainable.	Denis Savoie & J.F. Consigli	95
From a diurnal curve to the drawing of the sundial : Approaches to dating measuring instruments such as sundials, astrolabes, etc., through writing styles and the evolution of numeral forms...	Gilbert Vincent	120

Continued on next page ...

Miscellaneous information :

♣ Latest discoveries or achievements :

- A falcon's tale : Joseph Zagni (CCS)
- Declining sundial : Christophe Marion (CCS)
- Analemmatic sundial : Pierre Carillo (CCS)
- Meridian line at Bagnolet : Roland Querry (CCS)
- Light canon : Denis Schneider (CCS)
- Gnomonical stele at the "Espace muséographique Georges Bac-crabère" ; analysis of the north-side coat of arms : Denis Schneider (CCS)
- Claude Gahon's sundial (CCS) : "Christmas Balls"
- Claude Gahon's sundial (CCS) : "Box"
- Claude Gahon's sundial (CCS) : "Color Box"

♣ Gnomonical letters/emails :

- Correction to article *Cadran Info* n°52 : Gérard Hory (CCS)
- Terracotta sundial : Pierre Causeret (CCS)
- Heritage conservation (continued) : Didier Benoit (CCS)
- Heritage conservation (conclusion) : Bernard Cura (CCS)
- Pocket sundial : Michael Hromek (CCS)
- Meridian line project : André Goffin (CCS)
- Fake upon fake : Éric Mercier (CCS)
- Direction of the Qibla (CCS)
- My method : Jean-Claude Reita (CCS)
- Sundial and "descriptive geometry" : Jean-Claude Reita (CCS)
- Sundial for Sultan Mehmet II : Dominique Collin (CCS)
- Website : Nicola Scarpel (CCS)
- The game of the dog and the jackal : Jean Scordia (CCS)
- March 20th : Gilles Montambaux and Yves Guyot (CCS)
- Remarks on article CI 52 on the figure-eight curve of mean time : Guy Grastica and Denis Savoie (CCS)

Contributions :
D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grastica, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion,
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Querry,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni.

143

♣ Books :

- The Sun in books (Alain Lesage)
- "Compasts" by Erhard Etzlaub

♣ Obituary : Gérard Baillet

♣ Gnomonics worldwide :

- Summaries of the latest journals or newsletters.

♣ Solution to the mystery word of *Cadran Info* n°52

♣ Find the mystery word

♣ Iconographic credits

♣ Index

In digital format :

- In "sommaire.pdf", hyperlinks from titles to files in .pdf;

- The Symbol $\supseteq$ indicates that the article is supplemented by a detailed study or software or other documents in the file "annexes".



Verzeichnis von Cadran Info n° :53



Der Gunter-Quadrant : Der Gunter-Quadrant ist ein astronomisches Instrument des xvii ^e Jahrhunderts, das die Bestimmung der Uhrzeit, des Sonnenazimuts und weiterer astronomischer Parameter ermöglicht. Der Artikel beschreibt seine Handhabung sowie die Prinzipien seiner Konstruktion.	$\supseteq$	David Alberto	19
James Fergusons Astronomical Time Keeper : Dieser Beitrag stellt « The Astronomical Time Keeper » vor, ein originelles Instrument des Schotten James Ferguson, das dazu dient, nachts die Uhrzeit zu bestimmen.	$\supseteq$	David Alberto	35
Ein gnomonisches „Palimpsest“ : Die wechselvolle Geschichte eines Reliefs mit Apostelfiguren aus dem xv ^e Jahrhundert : Im xvii ^e Jahrhundert zu einer Sonnenuhr umgestaltet, wurde es im xx ^e Jahrhundert erneut als religiöse Skulptur in derselben Kirche aufgestellt.		Dominique Béneult & Andréas Borchert	44
Überlegungen zu einer Besonderheit der Zeitgleichung : Die Kurve der Zeitgleichung weist vier Extremstellen auf. Unter bestimmten Bedingungen verschwinden jedoch zwei von ihnen und weichen einem Plateau. Dies ist das Thema dieses Artikels.		Guy Grasic	47
Analyse einer horizontalen Sonnenuhr : Untersuchung einer anonymen Sonnenuhr, deren Herkunft sich <i>in fine</i> eindeutig erschließen lässt.		Pierre Labat	54
Das Papophoplon : Menschen wieder mit der Sonnenzeit versöhnen und das Erbe unserer Sonnenuhren lebendig halten ! Das Papophoplon ist ein einfaches Instrument, das für jeden Tag des Jahres anschaulich den Zusammenhang zwischen Sonnenzeit und gesetzlicher Zeit zeigt. Es ermöglicht damit, Sonnenuhren für die breite Öffentlichkeit „sprechen zu lassen“ und trägt so zur Wertschätzung unseres installierten Sonnenuhrbestands bei. Darüber hinaus ist es ein pädagogisches Werkzeug, das in die Gnomonik einführt und grundlegende Begriffe von Zeit und Astronomie verständlich macht.		Christophe Marion	63
Die Stellung Abū-Bakrs (Anfang des xiii^e Jahrhunderts) in der Geschichte der maghrebinisch-andalusischen Planisphären-Astrolabien : Die maghrebinisch-andalusischen Astrolabien sind wissenschaftlich hochwertige Instrumente mit bemerkenswerten Besonderheiten gegenüber anderen arabisch-muslimischen Astrolabien. Zu Beginn des xiii ^e Jahrhunderts, zur Zeit Abū-Bakrs, erfuhren zwei dieser Besonderheiten eine rasche Entwicklung, die man als Bruch bezeichnen kann. Der Artikel untersucht Abū-Bakrs Rolle in diesen Veränderungen und kommt zu dem Schluss, dass er nicht nur ein „geschickter Handwerker“, sondern ein echter Wissenschaftler war.		Éric Mercier	75

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Das Astrolab des „Barbiers von Bagdad“ in den Erzählungen aus „Tausendundeiner Nacht“ : In der Geschichte vom „Barbier von Bagdad“ aus „Tausendundeiner Nacht“ behauptet eine der Figuren, die Positionen der Planeten und andere astrologische Daten mithilfe eines Astrolabs bestimmen zu können. Es ist möglich, dass der Autor des Märchens sich für diesen Teil des Textes von einem Horoskop (im mittelalterlichen Sinne des Wortes) inspirieren ließ. Einige moderne Wissenschaftshistoriker haben vorgeschlagen, dieses hypothetische Horoskop zu verwenden, um die Abfassungszeit der Erzählung zu datieren. Ich zeige, dass diese Datierungsversuche fehlerhaft sind und dass ein solcher Ansatz wahrscheinlich zum Scheitern verurteilt ist.

Éric Mercier 85

Keplers zweites Gesetz und die Meridiana von San Petronio : Dieser Artikel untersucht die verbreitete Vorstellung, Jean-Dominique Cassini habe mithilfe der Meridiana von San Petronio das zweite Keplersche Gesetz nachgewiesen, und bewertet diese Behauptung anhand historischer Quellen neu. Er erinnert an den theoretischen Kontext des XVII^e Jahrhunderts, geprägt von der Koexistenz mehrerer Modelle der Sonnenbewegung (einfacher Exzenter, Äquant, keplersche Ellipse) und der Schwierigkeit, deren beobachtbare Effekte eindeutig zu unterscheiden. Cassinis Messungen des scheinbaren Sonnendurchmessers zeigen zwar eine Variation der Erdgeschwindigkeit auf ihrer Bahn um die Sonne, erlauben jedoch keinen strengen Beweis des Flächensatzes. Dagegen bestätigen diese Beobachtungen überzeugend die „Halbierung der Exzentrizität“ und stützen ein Modell, das dem Äquant-Modell nahekommt. Dieses ist mit einigen Ideen Keplers vereinbar, ohne jedoch sein vollständiges elliptisches Modell formell zu bestätigen. Die Autoren schließen daher, dass Cassini niemals behauptet hat, Keplers zweites Gesetz bewiesen zu haben, und dass die instrumentellen und theoretischen Grenzen der damaligen Zeit einen solchen Beweis unmöglich machten.

Denis Savoie & J.F. Consigli 95

Von der Tageskurve zum Sonnenuhrentwurf : Ansätze zur Datierung von Messinstrumenten wie Sonnenuhren oder Astrolabien anhand des Schriftstils, der Entwicklung der Ziffernformen und anderer graphischer Merkmale...

Gilbert Vincent 120

Verschiedene Informationen :

♣ Neueste Entdeckungen oder Arbeiten :

- Falkengeschichte : Joseph Zagni (CCS)
- Deklinierende Sonnenuhr : Christophe Marion (CCS)
- Analemmatische Sonnenuhr : Pierre Carillo (CCS)
- Meridiana in Bagnolet : Roland Query (CCS)
- Lichtkanone : Denis Schneider (CCS)
- Gnomonische Stele im „Espace muséographique Georges Bacrabère“ ; Analyse des nördlichen Wappens : Denis Schneider (CCS)
- Sonnenuhr von Claude Gahon (CCS) : „Weihnachtskugeln“
- Sonnenuhr von Claude Gahon (CCS) : „Schachtel“
- Sonnenuhr von Claude Gahon (CCS) : „Color Box“

≥

Mitarbeiter :
D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grasic, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion, 143
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Query,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni.

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

♣ Gnomonische Briefe/Korrespondenzen :

- Berichtigung zu *Cadran Info* n°52 : Gérard Hory (CCS)
- Sonnenuhr aus Terrakotta : Pierre Causeret (CCS)
- Denkmalschutz (Fortsetzung) : Didier Benoit (CCS)
- Denkmalschutz (Schluss) : Bernard Cura (CCS)
- Taschensonnenuhr : Michael Hromek (CCS)
- Meridianprojekt : André Goffin (CCS)
- Falsch in falsch : Éric Mercier (CCS)
- Richtung der Qibla (CCS)
- Meine Methode : Jean-Claude Reita (CCS)
- Sonnenuhr und „descriptive“ : Jean-Claude Reita (CCS)
- Sonnenuhr für Sultan Mehmet II. : Dominique Collin (CCS)
- Website : Nicola Scarpel (CCS)
- Das Spiel „Hund und Schakal“ : Jean Scordia (CCS)
- Der 20. März : Gilles Montambaux und Yves Guyot (CCS)
- Anmerkungen zum Artikel CI 52 über die Achtkurve der mittleren Zeit : Guy Grasic und Denis Savoie (CCS)

Mitarbeiter :
D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grasic, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion,
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Querry,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni.

143

♣ Bücher :

- Die Sonne in den Büchern (Alain Lesage)
- „Compasts“ von Erhard Etzlaub

♣ Wir trauern um : Gérard Baillet

♣ Gnomonik der Welt :

- Inhaltsübersichten der neuesten Zeitschriften oder Bulletins.

♣ Lösung des Rätselworts aus *Cadran Info* n°52

♣ Finden Sie das neue Rätselwort

♣ Bildnachweise

♣ Index

In digitaler Version :

- Im „Sommaire.pdf“ gibt es Hyperlinks von den Titeln zu den PDF-Dateien ;
- Das Symbol $\triangleright$ zeigt an, dass der Artikel durch eine detaillierte Studie, eine Software oder weitere Dokumente im „Anhänge“-Ordner ergänzt wird.



Sumario de Cadran Info n° :53



El cuadrante de Gunter : El cuadrante de Gunter es un instrumento astronómico del siglo XVII que permite determinar la hora, el azimut del Sol y otros parámetros astronómicos. Aquí se describe su modo de empleo, así como los principios de su trazado.	▷	David Alberto	19
El Astronomical Timekeeper de James Ferguson : Este artículo presenta «The Astronomical Timekeeper», un instrumento original para determinar la hora nocturna, obra del escocés James Ferguson.	▷	David Alberto	35
Un «palimpsesto» gnomónico : Las tribulaciones de un bajo relieve del siglo XV que representa a los apóstoles, transformado en cuadrante solar en el siglo XVII, y nuevamente dispuesto como escultura religiosa en la misma iglesia durante el siglo XX.		Dominique Bénéult & Andréas Borchert	44
Reflexiones sobre una particularidad de la ecuación del tiempo : La curva de la ecuación del tiempo presenta cuatro extremos. Sin embargo, en ciertas condiciones, dos de ellos desaparecen y dan paso a una meseta. Este es el objeto de este artículo.		Guy Grasic	47
Análisis de un cuadrante solar horizontal : Estudio de un cuadrante anónimo que revela, <i>in fine</i> , su origen.		Pierre Labat	54
El Papophoplon : ¡Reconciliar a los humanos con la hora solar y poner en valor el patrimonio de nuestros cuadrantes solares! El Papophoplon es un instrumento sencillo que muestra de manera evidente el ajuste entre la hora solar y la hora legal para todos los días del año. Permite así «hacer hablar» a los cuadrantes solares ante el gran público, poniendo en valor nuestro patrimonio de cuadrantes solares instalados. Además, es una herramienta pedagógica que introduce a la gnomónica y permite comprender algunas nociones esenciales del tiempo y la astronomía.		Christophe Marion	63
El lugar de Abū-Bakr (principios del siglo XIII) en la historia de los astrolabios planisféricos magrebíes-andalusíes : Los astrolabios magrebíes-andalusíes son instrumentos de buena calidad científica que presentan especificidades notables en comparación con otros astrolabios arabo-musulmanes. En la época de actividad de Abū-Bakr, a principios del siglo XIII, dos de estas especificidades experimentaron una evolución rápida que puede calificarse de ruptura. Este artículo plantea la cuestión de la implicación de Abū-Bakr en dichas rupturas y concluye que no era solo un «hábil artesano», sino también un auténtico científico.		Éric Mercier	75
El astrolabio del «barbero de Bagdad» en los cuentos de «Las mil y una noches» : En el cuento del «barbero de Bagdad» extraído de «Las mil y una noches», uno de los personajes afirma medir posiciones planetarias y otros datos astrológicos utilizando un astrolabio. Es posible que el autor del cuento se inspirara en un horóscopo (en el sentido medieval del término) para redactar esta parte del texto. Historiadores contemporáneos de la ciencia han propuesto utilizar este hipotético horóscopo para fechar la redacción del cuento. Demuestro que estos intentos de datación son erróneos y que este enfoque está probablemente abocado al fracaso.		Éric Mercier	85

Continúa en la página siguiente ...

La segunda ley de Kepler y la meridiana de San Petronio : Este artículo examina la idea extendida según la cual Jean-Dominique Cassini habría demostrado la segunda ley de Kepler gracias a la meridiana de San Petronio, y reevalúa esta afirmación a partir de las fuentes históricas. Recuerda el contexto teórico del siglo XVII, marcado por la coexistencia de varios modelos del movimiento solar (excéntrico simple, ecuante, elipse kepleriana) y por la dificultad de distinguir sus efectos observacionalmente. Las mediciones del diámetro aparente del Sol realizadas por Cassini muestran una variación en la velocidad de la Tierra alrededor del Sol, pero no permiten probar rigurosamente la ley de las áreas. En cambio, estas observaciones confirman sólidamente la «bisección de la excentricidad» y respaldan un modelo cercano al ecuante. Este último es compatible con algunas de las ideas de Kepler sin validar formalmente su modelo elíptico completo. Los autores concluyen, por tanto, que Cassini nunca reivindicó una demostración de la segunda ley de Kepler, y que las limitaciones instrumentales y teóricas de la época hacían que dicha prueba estuviera fuera de su alcance.

Denis Savoie & J.F. Consigli **95**

De una curva diurna al trazado del cuadrante : Enfoques para la datación de instrumentos de medición como cuadrantes solares, astrolabios... mediante el estilo de las escrituras y la evolución de la grafía de los números...

Gilbert Vincent **120**

Informaciones diversas :

♣ Últimos descubrimientos o realizaciones :

- Historia de halcón : Joseph Zagni (CCS)
- Cuadrante declinante : Christophe Marion (CCS)
- Cuadrante analemático : Pierre Carillo (CCS)
- Meridiana en Bagnolet : Roland Querry (CCS)
- Cañón de luz : Denis Schneider (CCS)
- Estela gnomonica en el "Espace muséographique Georges Bacrabère"; análisis del blasón del lado norte : Denis Schneider (CCS)
- Cuadrante de Claude Gahon (CCS) : « *Bolas de Navidad* »
- Cuadrante de Claude Gahon (CCS) : « *Caja* »
- Cuadrante de Claude Gahon (CCS) : « *Caja de colores* »

♣ Cartas/Correos electrónicos gnomicos :

- Corrección del artículo *Cadran Info* n°52 : Gérard Hory (CCS)
- Cuadrante de terracota : Pierre Causeret (CCS)
- Conservación del patrimonio (continuación) : Didier Benoit (CCS)
- Conservación del patrimonio (conclusión) : Bernard Cura (CCS)
- Cuadrante de bolsillo : Michael Hromek (CCS)
- Proyecto meridiana : André Goffin (CCS)
- Falso tras falso : Éric Mercier (CCS)
- Dirección de la Qibla (CCS)

Contribuciones :
D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grasic, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion,
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Querry,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni. **143**

Continúa en la página siguiente ...

♣ Cartas/Correos electrónicos gnomónicos :

- Mi método : Jean-Claude Reita (CCS)
- Cuadrante solar y "descriptive" : Jean-Claude Reita (CCS)
- Cuadrante para el sultán Mehmet II : Dominique Collin (CCS)
- Sitio web : Nicola Scarpel (CCS)
- El juego del perro y el chacal : Jean Scordia (CCS)
- El 20 de marzo : Gilles Montambaux y Yves Guyot (CCS)
- Observaciones sobre el artículo CI 52 de la curva en forma de ocho del tiempo medio : Guy Grasica y Denis Savoie (CCS)

♣ Los libros :

- El sol en los libros (Alain Lesage)
- "Compasts" por Erhard Etzlaub

♣ Nos ha dejado : Gérard Baillet

♣ Gnomonica del mundo :

- Sumarios de las últimas revistas o boletines.

♣ Solución de la palabra misteriosa de *Cadran Info* n°52

♣ Encuentre la palabra misteriosa

♣ Créditos iconográficos

♣ Índice

Contribuciones :
D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grasica, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion,
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Querry,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni.

143

En formato digital :

- en el "sumario.pdf", hipervínculos desde los títulos a los archivos .pdf;
- el símbolo $\triangleright$ indica que el artículo se completa con un estudio detallado o programas informáticos u otros documentos en la carpeta "apéndices".



Sommaro di Cadran Info n° :53



Quadrante di Gunter : Il quadrante di Gunter è uno strumento astronomico del XVII° secolo utilizzato per determinare l'ora, l'azimut del Sole e altri parametri astronomici. In questo articolo vengono descritti il suo utilizzo e i principi della sua costruzione.

 $\triangleright$

David Alberto

19

Il cronometro astronomico di James Ferguson : Questo articolo presenta « Il cronometro astronomico », uno strumento originale per la determinazione dell'ora notturna, creato dallo scozzese James Ferguson.

 $\triangleright$

David Alberto

35

Un « palinsesto » gnomonico : Le tribolazioni di un bassorilievo degli apostoli del XV° secolo, trasformato in meridiana nel XVII° secolo e poi reinstallato come scultura religiosa nella stessa chiesa nel XX° secolo.

Dominique Bénéult

44

Continua alla pagina successiva ...

... Continua dalla pagina precedente

Riflessioni su una particolarità dell'equazione del tempo : La curva dell'equazione del tempo presenta quattro estremi. Tuttavia, in determinate condizioni, due di essi scompaiono per lasciare posto a un plateau. Questo è l'oggetto dell'articolo.	Guy Grasca	47
Analisi di una meridiana orizzontale : Uno studio di una meridiana anonima che ne rivela infine l'origine.	Pierre Labat	54
Il Papophoplon : Riconciliare l'uomo con il tempo solare e dare nuova vita al nostro patrimonio di meridiane! Il Papophoplon è un semplice strumento che mostra chiaramente la differenza tra il tempo solare e l'ora legale per ogni giorno dell'anno. Permette alle meridiane di « parlare » al grande pubblico, mettendo così in luce il nostro patrimonio di meridiane installate. Inoltre, è uno strumento educativo, che offre un'introduzione alla gnomonica e alla comprensione di alcuni concetti essenziali di tempo e astronomia.	Christophe Marion	63
Il ruolo di Abū-Bakr (inizio XIII° secolo) nella storia degli astrolabi planisferici del Maghreb-andaluso : Gli astrolabi del Maghreb-andaluso sono strumenti di buona qualità scientifica che presentano notevoli specificità rispetto ad altri astrolabi arabo-musulmani. Durante il periodo di attività di Abū-Bakr, all'inizio del XIII° secolo, due di queste caratteristiche specifiche subirono una rapida evoluzione che può essere descritta come una rottura. Questo articolo esplora il ruolo di Abū-Bakr in queste rotture e conclude che non era solo un « abile artigiano », ma anche un autentico scienziato.	Éric Mercier	75
L'astrolabio del « barbiere di Baghdad » ne « Le mille e una notte » : Nel racconto del « barbiere di Baghdad » de « Le mille e una notte », uno dei personaggi afferma di misurare le posizioni planetarie e altri dati astrologici utilizzando un astrolabio. È possibile che l'autore del racconto si sia ispirato a un oroscopo (nel senso medievale del termine) per scrivere questa parte del testo. Storici della scienza contemporanei hanno proposto di utilizzare questo ipotetico oroscopo per datare la stesura del racconto. Dimostro che questi tentativi di datazione sono errati e che questo approccio è probabilmente destinato al fallimento.	Éric Mercier	85
La seconda legge di Keplero e la meridiana di San Petronio : Questo articolo esamina l'idea diffusa secondo cui Jean-Dominique Cassini avrebbe dimostrato la seconda legge di Keplero utilizzando il meridiano di San Petronio e rivaluta tale affermazione sulla base di fonti storiche. Richiama il contesto teorico del XVII° secolo, caratterizzato dalla coesistenza di diversi modelli di moto solare (eccentrico semplice, equante, ellisse kepleriana) e dalla difficoltà di distinguerne gli effetti a livello osservativo. Le misurazioni del diametro apparente del Sole effettuate da Cassini mostrano effettivamente una variazione nella velocità della Terra attorno al Sole, ma non consentono una dimostrazione rigorosa della legge delle aree. Tuttavia, queste osservazioni confermano fortemente la « bisezione dell'eccentricità » e supportano un modello vicino al modello equante. Quest'ultima è compatibile con alcune idee di Keplero, pur senza convalidare formalmente il suo modello ellittico completo. Gli autori concludono pertanto che Cassini non ha mai affermato di aver fornito una dimostrazione della seconda legge di Keplero e che i limiti strumentali e teorici dell'epoca rendevano tale dimostrazione impossibile.	Denis Savoie & J.F. Consigli	95

Continua alla pagina successiva ...

... Continua dalla pagina precedente

Dalla curva diurna alla progettazione della meridiana : Approcci alla datazione di strumenti di misurazione come meridiane, astrolabi, ecc., attraverso lo stile delle iscrizioni, l'evoluzione dei numeri...

Gilbert Vincent **120**

Informazioni varie :

♣ Scoperte o risultati recenti :

- Storia del falco : Joseph Zagni (CCS)
- Meridiana declinante : Christophe Marion (CCS)
- Meridiana analemmatica : Pierre Carillo (CCS)
- Linea del meridiano a Bagnolet : Roland Querry (CCS)
- Cannone a luce : Denis Schneider (CCS)
- Stele gnomonica al « Museo Georges Baccrabère », analisi dello stemma sul lato nord : Denis Schneider (CCS)
- Quadrante di Claude Gahon (CCS) : « *Palline di Natale* »
- Quadrante di Claude Gahon (CCS) : « *Scatola* »
- Quadrante di Claude Gahon (CCS) : « *Scatola colorata* »

♣ Lettere/Email gnomonica :

- Correzione dell'elemento *Cadran Info* n°52 : Gérard Hory (CCS)
- Meridiana in terracotta : Pierre Causeret (CCS)
- Conservazione del patrimonio (continua) : Didier Benoit (CCS)
- Conservazione del patrimonio (conclusione) : Bernard Cura (CCS)
- Meridiana tascabile : Michael Hromek (CCS)
- Progetto Meridiano : André Goffin (CCS)
- Falsificazione su falsificazione : Éric Mercier (CCS)
- Direzione della Qibla (CCS)
- Il mio metodo : Jean-Claude Reita (CCS)
- Meridiana e « descrizione » : Jean-Claude Reita (CCS)
- Meridiana per il Sultano Mehmet II : Dominique Collin (CCS)
- Sito web : Nicola Scarpel (CCS)
- Il gioco del cane e dello sciacallo : Jean Scordia (CCS)
- 20 marzo : Gilles Montambaux e Yves Guyot (CCS)
- Osservazioni sull'articolo CI 52 della curva del tempo medio a forma di otto : Guy Grasic e Denis Savoie (CCS)

▷

Contributi :

**D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grasic, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion,
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Querry,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni.**

143

♣ I libri :

- Il Sole nei libri (Alain Lesage)
- « Bussole » di Erhard Etzlaub

♣ Ci hanno lasciato : Gérard Baillet

Continua alla pagina successiva ...

... Continua dalla pagina precedente

♣ Gnomonica del mondo :

- Riassunti delle ultime riviste o bollettini.

♣ Soluzione della parola misteriosa in *Cadran Info* n°52

♣ Trova la parola misteriosa

♣ Crediti immagine

♣ Indice

Contributi :
D. Benoit, P. Carillo,
P. Causeret,
D. Collin, B. Cura,
C. Gahon, A. Goffin,
G. Grastica, Y. Guyot,
G. Hory, M. Hromek,
C. Marion,
É. Mercier,
G. Montambaux,
R. Query,
J.-C. Reita, D. Savoie,
N. Scarpel,
D. Schneider,
J. Scordia, J. Zagni.

▷

143

In Versione digitale :

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



Le quadrant de Gunter

par DAVID ALBERTO

MOTS CLEFS

xvii^e siècle; astrolabe;
cadran solaire de hauteur; Gunter; quadrant;
nocturlabe.

RÉSUMÉ

Le quadrant de Gunter est un instrument astronomique du xvii^e siècle qui permet la détermination de l'heure, de l'azimut du Soleil et d'autres paramètres astronomiques. On décrit ici son mode d'utilisation, ainsi que les principes de son tracé.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

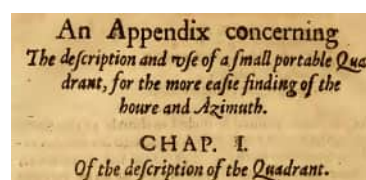
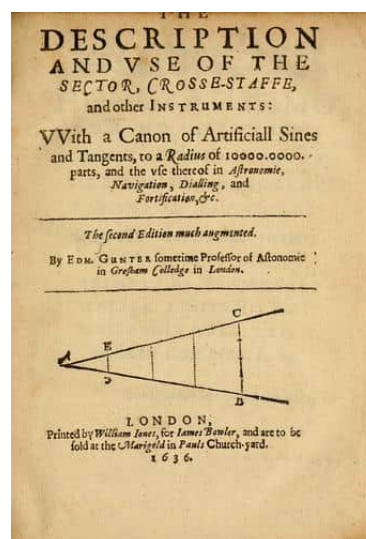
1 Historique

Edmund Gunter (1581-1626), professeur de mathématiques, fut nommé professeur d'astronomie au Gresham College (Londres) de 1619 à sa mort. Il est connu pour ses nombreuses contributions en mathématiques appliquées à travers divers instruments ¹.

En 1623, il publie son ouvrage le plus important (en latin *De Sector et Radio*, en anglais *Description and Use of the Sector, the Crosse-staffe and other Instruments*). L'essentiel de l'ouvrage traite d'instruments mathématiques et de navigation; en appendice, Gunter présente un quadrant original, désigné aujourd'hui comme le quadrant de Gunter. Son livre a connu plusieurs éditions ultérieures. Ses publications furent rassemblées dans *The Works of Edmund Gunter* également réédité plusieurs fois.

Plus tard, on trouve mention de son quadrant dans la traduction anglaise du livre de Nicolas Bion « *Construction and Principal Uses of Mathematical Instruments* » (1723). Plusieurs exemplaires du quadrant, datés des xvii^e et xviii^e s. sont présents dans des collections de musées.

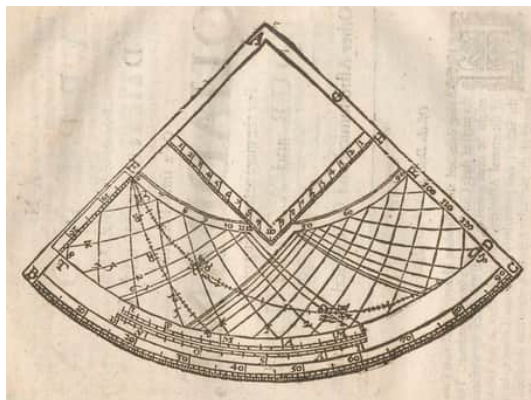
FIG. 1 – Extraits du *Description and Use of the Sector ...* de Gunter. Astronomie, navigation, gnomonique, fortifications ... Les domaines d'application sont variés.



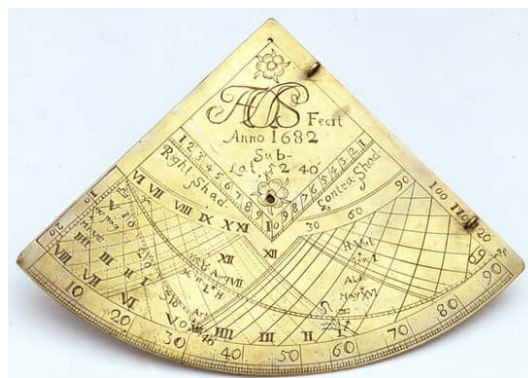
1. Notamment la règle dite de Gunter, qui exploite des échelles logarithmiques pour les calculs en navigation astronomique.

2 Éléments du tracé

2.1 Cercles en projection stéréographique



(a) Le tracé du quadrant de Gunter dans son ouvrage de 1623, tracé pour la latitude de Londres (51° 30').



(b) Quadrant de Gunter de 1682, tracé pour la latitude 52° 40' (Royal Museums Greenwich).

FIG. 2 – Le quadrant de Gunter.

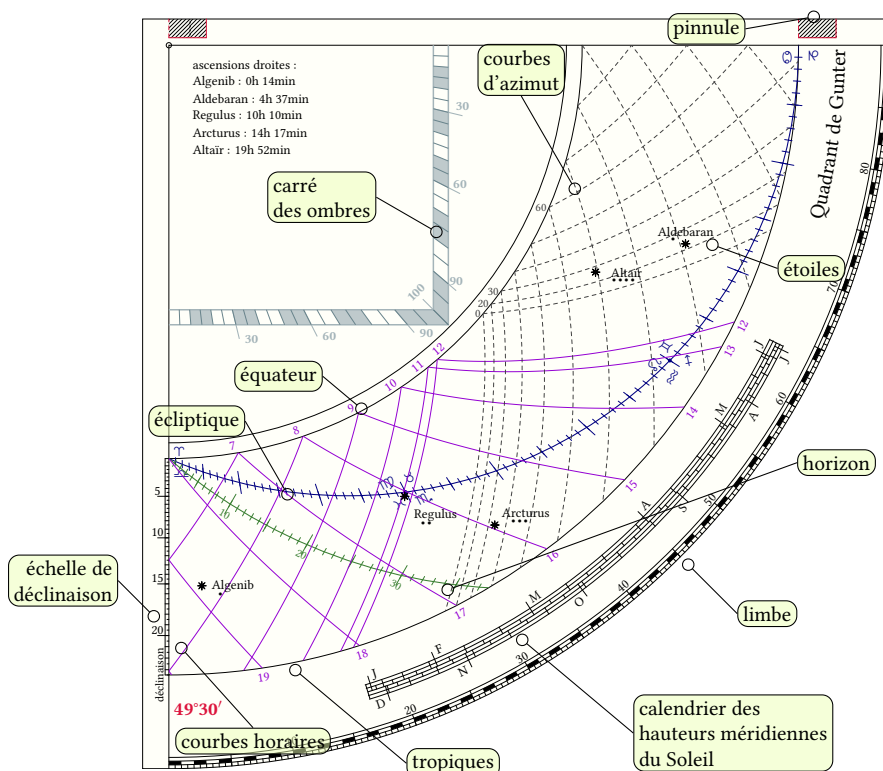


FIG. 3 – Éléments du tracé du quadrant de Gunter, dans une version moderne. Latitude 49° 30' nord. Le nombre de points sous le nom de l'étoile indique dans quel quadrant de l'équateur elle se trouve.

Gunter reprend une disposition déjà ancienne avec un quart-de-cercle gradué de 0 à 90°, un fil lesté attaché en son centre, et des pinnules de visée (bord supérieur). D'autre part, il s'appuie sur certains

éléments de l'astrolabe planisphérique et de sa projection stéréographique dans le plan équatorial, en ne conservant qu'un quart. De l'astrolabe planisphérique on retrouve un arc de cercle pour l'équateur et un autre plus grand pour le tropique du Capricorne, à une différence près : cet arc représente ici les deux tropiques à la fois, ce qui revient à une double projection stéréographique depuis les deux pôles célestes.

De l'équateur aux tropiques, se trouve une échelle de déclinaison (bord gauche)². Deux autres éléments sont empruntés à l'astrolabe planisphérique : un arc gradué représentant l'écliptique, et un arc matérialisant l'horizon local, ce quadrant étant tracé pour une latitude donnée. L'arc d'écliptique ne décrivant pas un cercle entier, le Soleil parcourt cet arc quatre fois sur une année entière (deux allers-retours entre équinoxes et solstices). C'est pourquoi les points de l'écliptique correspondent à plusieurs lieux du Soleil différents. Les autres éléments du tracé diffèrent de celui de l'astrolabe.

2.2 Courbes horaires

Les courbes horaires sont construites de sorte qu'une perle sur le fil lesté indique directement l'heure égale lorsque le Soleil est visé avec les pinnules (sous réserve d'avoir réglé la date au préalable). Ces courbes ne sont pas des projections de cercles de la sphère céleste. Puisque les tropiques du Cancer et du Capricorne sont ici confondus, chaque courbe horaire est constituée de deux branches se rejoignant à l'équateur, l'une pour les déclinaisons positives, l'autre pour les déclinaisons négatives du Soleil. Les branches allant vers la droite, et vers les angles les plus élevés du limbe, correspondent aux déclinaisons positives du Soleil. D'autre part, comme sur tous les cadrans solaires de hauteur, une même courbe horaire sert à la fois pour le matin et l'après-midi (sauf la courbe de midi). Gunter inscrit les heures matinales près de l'équateur et les heures de l'après-midi le long des tropiques.

2.3 Calendrier des hauteurs méridiennes du Soleil

À la latitude d'utilisation, pour chaque date de l'année on peut calculer la hauteur méridienne du Soleil. En tendant le fil sur une date donnée de ce calendrier, le limbe indique la hauteur méridienne du Soleil du jour. Une graduation pour chaque jour n'étant pas possible pour des raisons de lisibilité, le calendrier est gradué les 1^{er}, 5, 10, 15, 20, 25 et 30^e jours du mois. L'échelle n'est pas linéaire ; les dates sont plus resserrées autour des solstices.

2.4 Courbes d'azimut

Les courbes d'azimut sont différentes de celles figurant sur l'astrolabe planisphérique. Leur principe est similaire à celui des courbes horaires : une fois mesurée la hauteur du Soleil, la perle réglée selon la date, cette dernière indique l'azimut du Soleil sur la grille des courbes d'azimut.

Chaque courbe d'azimut est séparée en deux branches se rejoignant à l'équateur, comme pour les courbes horaires et pour la même raison. L'azimut est compté depuis le sud ; selon que le Soleil soit à gauche ou à droite du méridien, l'utilisateur lit un azimut vers l'Est ou vers l'Ouest.

Pour éviter qu'elles ne se superposent à celles des heures, les courbes d'azimut sont disposées en réalité selon l'angle complémentaire de la hauteur (ou distance zénithale), c'est-à-dire que les azimuts pour une hauteur nulle sont en face de la graduation 90°. Par conséquent, les branches correspondant aux déclinaisons positives du Soleil sont celles qui se dirigent vers les faibles angles du limbe. Se reporter section 3 page suivante.

2. Dans l'astrolabe planisphérique, cette échelle se trouve sur l'ostenseur mobile.

3 Utilisation

3.1 Lieu du Soleil pour une date donnée

Le lieu du Soleil est sa position le long de l'écliptique, par rapport au calendrier zodiacal. Dire que le Soleil se trouve à 5° dans les Gémeaux signifie qu'il se positionne à la 5^e graduation de l'écliptique, dans la partie qui commence avec le signe $\var�$ (Gémeaux). La correspondance est simple avec la longitude écliptique du Soleil λ : chaque signe du zodiaque comprend 30°, ainsi le lieu « 5° des Gémeaux » correspond à 30° Bélier + 30° Taureau + 5° = 65° de longitude écliptique depuis le point vernal (début du Bélier $\vargamma$).

Dans le quadrant de Gunter on convertit une date civile en lieu du Soleil en tendant le fil sur la date voulue du calendrier des hauteurs méridiennes, puis en glissant la perle jusqu'à la courbe horaire de midi. Ensuite on déplace le fil pour amener la perle sur l'écliptique ; la position de la perle indique le lieu du Soleil. L'utilisateur doit savoir dans quel sens le Soleil est en train de parcourir l'écliptique à la date choisie.

En rabattant le fil tendu le long du bord gauche du quadrant, la perle indique la déclinaison du Soleil pour la date considérée. L'échelle de déclinaison n'indique pas les valeurs négatives ; là encore, il faut savoir où en est le Soleil de sa course annuelle.

Exemple 1 • Quel est le lieu du Soleil le 10 mai ?

.....
(figure 4 page suivante)

- tendre le fil au-dessus de la graduation du 10 mai sur le calendrier des hauteurs méridiennes.
- glisser la perle sur la ligne midi.
- déplacer le fil pour amener la perle sur l'écliptique.
- lire le lieu du Soleil sur les graduations.

Le point obtenu peut correspondre à 4 lieux différents. Il faut savoir que le 10 mai, le Soleil parcourt l'écliptique dans son premier aller depuis l'équinoxe de mars ($\vargamma$). On lit donc : 19° dans le Taureau ($\var�$).

3.2 Heure solaire

Régler d'abord la date en positionnant la perle le long du fil (section 3.1). Tenir le quadrant verticalement au Soleil, de sorte que la lumière arrive de façon rasante depuis la gauche. Incliner l'instrument jusqu'à ce que l'ombre de la pinnule de gauche arrive sur celle de droite (bord supérieur). Le fil lesté indique alors la hauteur du Soleil sur le limbe, et la perle indique l'heure solaire sur le réseau de courbes horaires.

La lecture de l'heure nécessite deux interprétations. Premièrement, selon que l'on soit le matin ou l'après-midi on lira la valeur adéquate puisque une même courbe horaire vaut pour les deux périodes de la journée. D'autre part, puisque la position de la perle vaut pour quatre dates différentes de l'année (sauf aux solstices : deux dates), la lecture de l'heure doit se faire selon les branches correspondantes : au printemps et en été, on se réfère aux branches horaires allant vers la droite depuis l'équateur, alors qu'en automne et en hiver on lira l'heure selon les branches descendant vers la gauche de l'instrument.

Pour aider à lever l'ambiguïté, on gardera en tête que le Soleil se lève après 6 h et se couche avant 18 h en automne et en hiver. D'autre part, les interprétations possibles sont moins nombreuses pour des hauteurs du Soleil plus élevées. Si la hauteur mesurée est supérieure à la hauteur méridienne au

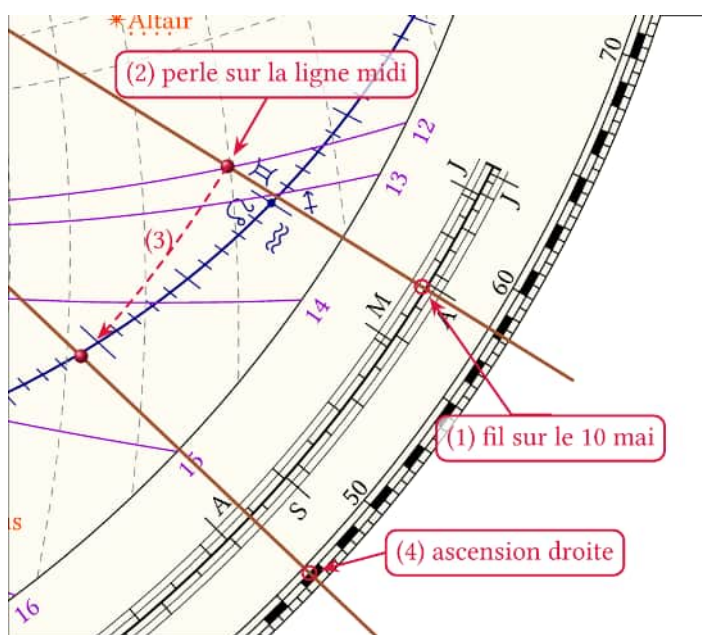


FIG. 4 – Lieu et ascension droite du Soleil pour le 10 mai.

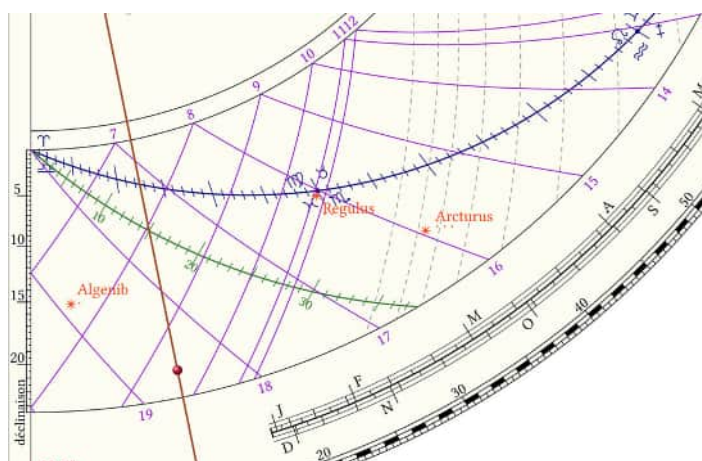


FIG. 5 – Exemple d'interprétation pour la lecture de l'heure. Cette perle indique quatre informations horaires différentes : 5 h 30, 9 h 30, 14 h 30 et 18 h 30. L'utilisateur doit d'une part savoir si la lecture se fait le matin ou l'après-midi, et d'autre part si la période de l'année est printemps/été ou automne/hiver.

solstice d'hiver (extrémité gauche du calendrier), la perle peut éventuellement se trouver en dehors du réseau des branches hivernales des courbes horaires.

3.3 Ascension droite du Soleil

L'ascension droite est lue sur le limbe du quadrant, la perle étant réglée sur le lieu du Soleil (figure 4) et le fil tendu.

En reprenant l'exemple précédent, quand le Soleil se trouve dans 19° du Taureau, le fil indique sur le limbe la graduation 46,5 : c'est l'ascension droite du Soleil pour cette date.

Si la date choisie se trouve entre le solstice de juin et l'équinoxe de septembre, il faut corriger l'angle lu sur le limbe. En effet le Soleil a déjà parcouru 90° sur le limbe de l'équinoxe de mars au solstice de juin, puis parcourt le limbe en sens inverse ; son ascension droite est comprise entre 90° et 180° . Si le fil indique 50° par exemple, l'ascension droite du Soleil vaut en réalité $90^\circ + 40^\circ = 130^\circ$. Une correction similaire est à faire pour les deux autres périodes de l'année (en automne, pour une ascension droite entre 180° et 270° , et en hiver entre 270° et 360°).

La lecture de l'ascension droite du Soleil est peu précise au voisinage des solstices (point de tangence entre l'écliptique et le tropique). Connaître l'ascension droite du Soleil pour une date donnée est utile à la détermination de l'heure avec les étoiles (section 3.6 page ci-contre).

3.4 Azimut du Soleil

Après avoir réglé la date avec la perle (section 3.1 page 22), on mesure la hauteur du Soleil, et on note la valeur. Les courbes d'azimut étant tracées à partir de la graduation 90° du limbe, on doit calculer l'angle complémentaire de la hauteur mesurée (donc la distance zénithale du Soleil), puis tendre le fil au-dessus de la valeur obtenue. La perle indique alors l'azimut sur le réseau des lignes (?? ex. 2).

Attention à l'interprétation de la valeur lue : puisque les courbes d'azimut sont tracées depuis la graduation 90° du limbe, les branches printemps/été sont celles orientées depuis l'équateur vers les plus faibles valeurs sur le limbe, contrairement aux courbes horaires.

Exemple 2 • Quel est l'azimut du Soleil lorsqu'on mesure une hauteur de $17;5$ le 8 avril, à la latitude $49^\circ 30'$?

.....
La perle étant positionnée selon la date :

- tendre le fil au-dessus de la graduation $72;5$ du limbe ($90^\circ - 17;5$).
- sur la grille de courbes d'azimut, la perle indique deux valeurs possibles : 80° sur les branches allant vers la gauche, 55° sur les branches allant vers la droite.
- puisque cette date correspond à la période printemps/été, on choisira l'azimut donné par les branches orientées vers la gauche : 80° .
- si l'on est le matin, le Soleil se trouve à 80° d'azimut vers l'Est ; sinon à 80° vers l'Ouest.

3.5 Heure de lever/coucher du Soleil

En théorie, les heures de lever et de coucher pourraient être lues sur le bord gauche du quadrant (hauteur nulle). La précision est cependant très mauvaise, puisque peu de courbes horaires arrivent sur cette ligne. Sur la courbe de l'horizon la précision est bien meilleure, héritée du tracé de l'astrolabe planisphérique.

Après avoir réglé la perle selon la date, on amène la perle sur la courbe d'horizon avec le fil tendu. La lecture de l'heure de lever ou de coucher se fait sur le limbe, en considérant que la graduation 0° du limbe correspond à six heures (du matin ou du soir), et en appliquant la conversion de l'angle lu en durée avec les correspondances $15^\circ \leftrightarrow 1 \text{ h}$, $5^\circ \leftrightarrow 20 \text{ min}$, et $1^\circ \leftrightarrow 4 \text{ min}$.

Exemple 3 • À quelle heure se lève et se couche le Soleil le 1^{er} novembre, à la latitude $49^\circ 30'$?

-
- régler la perle sur la date du 1^{er} novembre.
 - amener la perle sur l'horizon, fil tendu.

- sur le limbe, le fil indique environ 17° , que l'on convertit en 1 h 8 min ($15^\circ + 2^\circ = 1 \text{ h} + 2 \times 4 \text{ min}$).
- en automne, le Soleil se lève après 6 h, donc ici à 7 h 08 min. Il se couche avant 18 h, donc ici à 16 h 52 min.

On lit simultanément sur l'horizon l'amplitude du Soleil à son lever ou à son coucher (dans l'exemple, environ 22° depuis l'est ou l'ouest, soit un azimut de 68° depuis le sud, le Soleil étant dans l'hémisphère sud à cette date).

3.6 Heure solaire d'après une étoile

Gunter a sélectionné cinq étoiles pouvant servir à déterminer des paramètres astronomiques. Bien qu'elles ne figurent pas sur le tracé de son livre (figure 2 page 20), il explique comment les positionner en fonction de leurs coordonnées équatoriales (voir section 4 page 28). Elles ont toutes une déclinaison positive.

Le début de la procédure est très similaire à celle suivie pour l'heure solaire. Après avoir placé la perle sur le point de l'étoile, on mesure sa hauteur en la visant avec les pinnules et en notant l'angle donné par le fil sur le limbe. Il faut savoir si l'étoile est déjà passée au méridien au moment de la mesure, c'est-à-dire si elle se trouve à l'est ou à l'ouest.

On lit l'heure sur le réseau de courbes horaires, ce qui donne finalement l'angle horaire de l'étoile exprimé en heure ; à partir de là la procédure se distingue de celle du Soleil. La lecture a donné l'angle horaire de l'étoile mais on cherche celui du Soleil. On peut l'obtenir en connaissant la différence d'ascension droite entre l'étoile et le Soleil. L'ascension droite de l'étoile est fixe, et directement lue sur le limbe, en tendant le fil au-dessus de l'étoile. Attention cependant à prendre en compte le secteur équatorial auquel appartient l'étoile : un seul secteur est représenté sur l'instrument, mais l'étoile Arcturus, par exemple, se trouve dans le troisième secteur angulaire à partir du point vernal ; il faut donc ajouter 180° à l'angle lu pour son ascension droite, autrement dit 12 h de temps.

On a déjà vu comment obtenir l'ascension droite du Soleil (section 3.3 page 23). On soustrait l'ascension droite du Soleil de celle de l'étoile, puis on ajoute cet écart à l'heure lue : c'est l'heure solaire.

Exemple 4 • Le 10 juillet à la latitude $49^\circ 30'$, on mesure vers l'ouest la hauteur de l'étoile Arcturus (constellation du Bouvier) : 49° . Quelle heure est-il ?

- la perle étant réglée sur la déclinaison de l'étoile, le fil indique 49° en visant Arcturus ; la perle indique 14 h 15 (heure de l'après-midi puisque l'étoile est vers l'ouest).
- l'ascension droite de cette étoile vaut environ 14 h 16 (lecture sur le limbe : $34^\circ = 2 \text{ h } 16$, à quoi on ajoute $2 \times 6 \text{ h}$).
- à cette date, l'ascension droite du Soleil vaut environ 7 h 25 (le Soleil se trouve dans le second secteur depuis le point vernal).
- la différence d'ascension droite est donc de 6 h 51. Le Soleil passe au méridien avec 6 h 51 d'*avance* sur Arcturus.
- puisque l'étoile est actuellement au méridien de 14 h 15, le Soleil y est déjà passé et se trouve maintenant au méridien de $14 \text{ h } 15 + 6 \text{ h } 51 = 21 \text{ h } 06$. C'est l'heure solaire au moment de la mesure.

3.7 Heure de lever/coucher d'une étoile

En réglant la perle sur une des étoiles du quadrant, et en l'amenant sur l'arc d'horizon, on peut déterminer son heure de lever ou de coucher. Il faut encore une fois tenir compte de la différence d'ascension droite entre l'étoile et le Soleil.

Exemple 5 • Le 20 novembre, à la latitude $49^{\circ} 30'$, à quelle heure se couche l'étoile Arcturus ?

-
- déterminer l'ascension droite de l'étoile (section 3.6 page précédente) : 14 h 16.
- déterminer l'ascension droite du Soleil à cette date : 15 h 46.
- la différence d'ascension droite vaut donc $\Delta\alpha = 14 \text{ h } 16 - 15 \text{ h } 46 = -1 \text{ h } 30$.
- régler la perle sur la position de l'étoile Arcturus, et amener la perle sur l'horizon.
- Sur le limbe, le fil tendu indique la graduation 24° soit $15^{\circ} + 9^{\circ}$, c'est-à-dire que l'angle horaire de l'étoile à son coucher correspond à $18 \text{ h } + 1 \text{ h } + 9^{\circ} \times 4\text{min} = 19 \text{ h } 36$.
- l'heure solaire de coucher d'Arcturus est donc : $19 \text{ h } 36 - 1 \text{ h } 30 = 18 \text{ h } 06$.

3.8 Heure de passage d'une étoile au méridien sud

Le seul paramètre à déterminer est la différence d'ascension droite entre l'étoile et le Soleil à la date considérée. L'heure de passage est indépendante de la latitude du lieu.

Exemple 6 • À quelle heure l'étoile Aldebaran passe-t-elle au méridien sud le 5 janvier ?

-
- ascension droite de l'étoile Aldebaran : 4 h 37.
- ascension droite du Soleil le 5 janvier : 18 h 48.
- La différence vaut $4 \text{ h } 37 - 18 \text{ h } 48 = -14 \text{ h } 11$: Aldebaran est *en avance* sur le Soleil.
- Le Soleil passe au méridien sud à midi ; Aldebaran y passe 14 h 11 avant midi, soit à 21 h 49.

3.9 Hauteur du Soleil sous l'horizon

Le quadrant de Gunter permet de déterminer la hauteur du Soleil sous l'horizon, pour une date et une heure données. On a vu que les branches horaires dirigées vers la droite correspondent aux heures de la période printemps/été, et celles dirigées vers la gauche aux heures d'automne/hiver. Cependant, si on inverse cette correspondance, ces courbes donnent la hauteur atteinte par le Soleil lorsqu'il est sous l'horizon (figure 6 page suivante). Pour trouver la hauteur de nuit à une date de printemps/été, on utilisera donc la branche horaire dirigée vers la gauche.

Exemple 7 • À quelle hauteur sous l'horizon se trouve le Soleil le 10 septembre à 22 h, à la latitude $49^{\circ} 30'$ nord ?

-
- régler la perle à la date du 10 septembre.
- amener la perle sur la branche horaire « 10 » (22 h) dirigée vers la gauche.
- le fil tendu indique, sur le limbe, la hauteur du Soleil sous l'horizon : 29° .

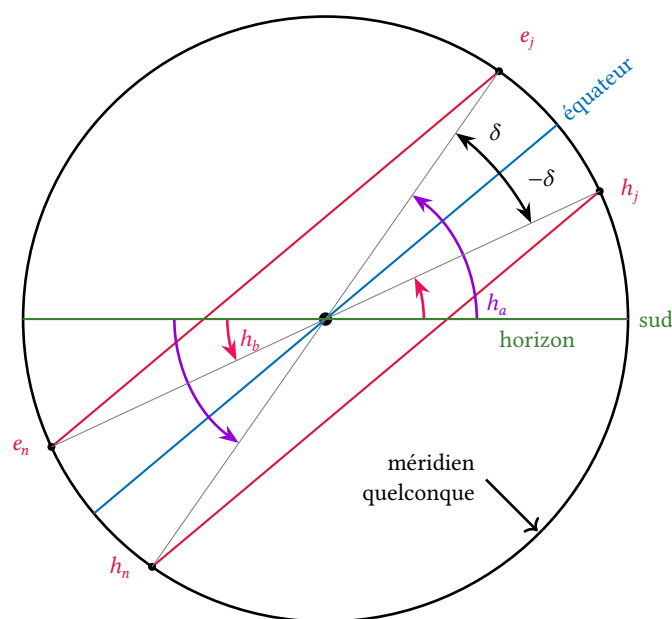


FIG. 6 – Ambivalence des hauteurs entre le jour et la nuit, et entre l’été et l’hiver. Soit un méridien horaire quelconque, et une position e_j du Soleil (de hauteur h_a) pour une date « estivale » (déclinaison positive). Le même jour, douze heures plus tard, le Soleil se trouve sur le même méridien horaire, à une hauteur sous l’horizon plus faible (point e_n , hauteur h_b).

Six mois plus tard, la déclinaison est devenue négative et de valeur opposée. Le Soleil atteint durant la journée un point h_j et douze heures plus tard un point h_n . Il y a égalité entre la hauteur estivale de jour et la hauteur hivernale de nuit (au signe près). De même, la hauteur hivernale de jour est égale à la hauteur estivale de nuit.

3.10 Crépuscule

On définit conventionnellement le crépuscule du matin (ou aube) comme la période où le Soleil se trouve entre 18° sous l'horizon et son lever. Symétriquement, le crépuscule du soir débute au coucher et se termine quand le Soleil se trouve à 18° sous l'horizon.

En adaptant la méthode vue en section 3.9 page ci-contre, on peut trouver l'heure de début de crépuscule du matin, ou de fin de crépuscule du soir.

Exemple 8 • À quelle heure commence le crépuscule du matin le 25 avril, à la latitude $49^{\circ} 30'$?

- régler la perle selon la date.
- amener le fil tendu à la graduation 18° du limbe. On remarque au passage que le Soleil se lève vers 5 h.
- la perle indique l'heure avec les courbes horaires. Puisque c'est le printemps, on utilise les branches dirigées vers la gauche. La perle se trouve entre les courbes 9 h et 10 h, mais qui sont également les courbes 2 h et 3 h. La valeur cohérente est 2 h 30 pour le début du crépuscule du matin.

4 Réalisation du quadrant

4.1 Tracé des cercles en projection stéréographique

On peut fixer comme longueur de référence le rayon R_{eq} de l'équateur, puis en déduire les rayons des autres arcs de cercles résultant de la projection stéréographique. Si l'outil graphique le permet, ces arcs de cercle peuvent être tracés en une seule fois, au lieu d'un tracé point par point (tableau 1). Avec un quadrant de rayon extérieur 20 cm, il est possible de graduer le limbe au demi-degré.

TABLE 1
Expressions des rayons et des coordonnées du centre des arcs de cercles. ε est l'obliquité de l'écliptique (actuellement $23^\circ 26'$), et φ la latitude ([2] et [4])

	rayon	coordonnée du centre (le long du bord supérieur)
tropique	$R_{trop} = R_{eq} \cdot \tan\left(\frac{90^\circ + \varepsilon}{2}\right)$	centre de l'instrument (0,0)
écliptique	$R_{écl} = \frac{R_{trop}}{1 + \sin \varepsilon}$	$x_{écl} = R_{éq} \cdot \tan \varepsilon$
horizon	$R_h = \frac{R_{éq}}{\sin \varphi}$	$x_h = \frac{R_{éq}}{\tan \varphi}$

4.2 Graduations de l'écliptique

Les graduations de l'écliptique indiquent le lieu du Soleil dans le calendrier du zodiaque. Chaque graduation correspond à une valeur de longitude écliptique du Soleil ; pour la positionner et pouvoir faire une lecture sur le limbe, il faut calculer l'ascension droite du Soleil α pour chaque degré de longitude écliptique λ entre 0 et 90° . On fait appel aux formules de passage de coordonnées écliptiques aux coordonnées équatoriales (ascension droite α , déclinaison δ) :

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \cdot \sin \lambda \quad \cos \alpha = \frac{\cos \lambda}{\cos \delta} \quad \text{ou bien : } \tan \alpha = \tan \lambda \cdot \cos \varepsilon^3$$

4.3 Graduations de l'horizon

L'horizon est gradué en azimut compté depuis les points cardinaux est ou ouest, autrement dit en amplitude (ortive ou occase) du Soleil. La graduation maximale, lorsque l'horizon atteint le tropique, est donnée par la relation (1) du tableau 2 page ci-contre appliquée avec $\delta = \varepsilon = 23^\circ 26'$. Pour $\varphi = 49^\circ 30'$:

$$a = \arcsin\left(\frac{\sin 23^\circ 26'}{\cos 49^\circ 30'}\right) \approx 37^\circ 50'$$

Pour chaque degré d'amplitude par lequel passe le fil tendu, la valeur lue sur le limbe est la différence ascensionnelle du Soleil.

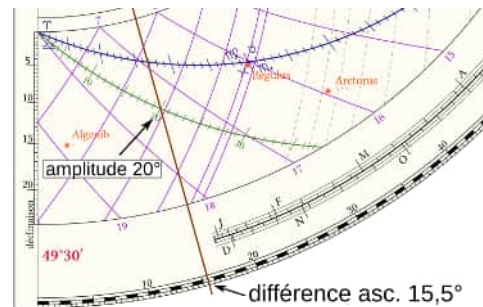


FIG. 7 – Les graduations de l'horizon relient l'amplitude à la différence ascensionnelle, pour une déclinaison allant de 0 à $23^\circ 26'$.

3. α doit se trouver dans le même quadrant angulaire que λ .

La différence ascensionnelle d'un astre est l'angle (sur l'équateur) entre la direction de son lever et le point repérant son ascension droite sur l'équateur (figure 8 et [Annexe 2](#)). Converti en durée, cet angle indique l'écart entre l'heure de lever et 6 h. On peut transposer cette définition à la fin de la journée (différence horaire entre l'heure du coucher et 18 h).

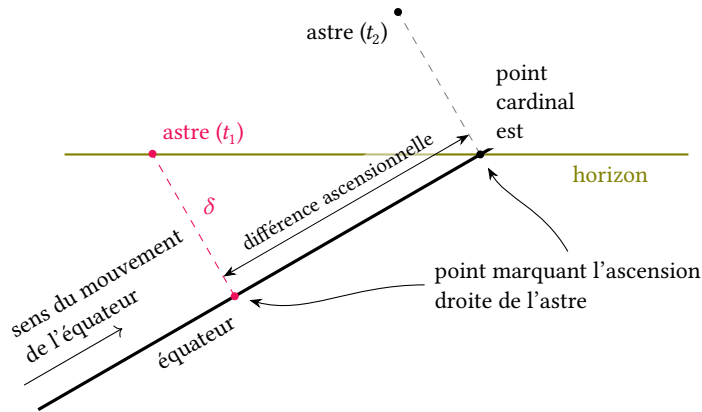


FIG. 8 – Différence ascensionnelle d'un astre. L'astre se lève à l'instant t_1 , mais le point marquant son ascension droite se lève plus tard (t_2). La différence ascensionnelle est l'angle horaire entre ces deux instants. Il serait nul pour un astre de déclinaison nulle, ou pour une latitude nulle (équateur perpendiculaire à l'horizon).

TABLE 2

Formulaire concernant l'amplitude a et la différence ascensionnelle u . L'[Annexe 2](#) de cet article propose une démonstration de ces relations

(1) $\sin a = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$	(2) $\sin u = \tan \varphi \cdot \tan \delta$	(3) $\tan u = \tan a \cdot \sin \varphi$
---	---	--

On construit point par point l'échelle de l'horizon du quadrant de Gunter en calculant, pour chaque degré d'amplitude, la différence ascensionnelle du Soleil, avec une formule appropriée. Morrison ([2]) propose de calculer d'abord la déclinaison avec la relation (1) du tableau 2, puis la différence ascensionnelle avec la relation (2). Mais Gunter ([3]) fournit la relation (3) plus directe :

*As the Sine of 90 gr. to the Sine of the Latitude :
So the Tangent of the Horizon, to the Tangent of
the Ark in the Quadrant, which shall divide the
Horizon.*

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin \varphi} = \frac{\tan a}{\tan u}$$

$$\tan u = \tan a \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

Avec les valeurs numériques de la figure 7 page précédente, on a : $u = \arctan(\tan 20^\circ \times \sin 49^\circ 30') \simeq 15;47$.

4.4 Tracé du calendrier des hauteurs méridiennes

Pour les dates souhaitées, on détermine la déclinaison du Soleil, puis on calcule la hauteur méridienne du Soleil h_m avec $h_m = 90^\circ - \varphi + \delta$. Sur le quart de cercle de l'instrument, l'arc obtenu est centré sur les dates des équinoxes. Le fil tendu passant par la graduation horaire « 12 » sur l'équateur, passe aussi par les dates des équinoxes du calendrier, et indique sur le limbe la colatitude ($90^\circ - \varphi$), ce qui permet de vérifier rapidement pour quelle latitude l'instrument a été tracé.

4.5 Tracé des courbes horaires

Les courbes horaires n'étant pas des arcs de cercles obtenus par projection stéréographique, on doit les tracer point par point, avec la relation $\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos H$.

La hauteur h est celle lue sur le limbe ; la distance entre chaque point de la courbe horaire et le centre de l'instrument est donnée par l'échelle de déclinaison, c'est-à-dire par la relation $r = R_{\text{eq}} \cdot \tan\left(\frac{90^\circ - \delta}{2}\right)$.

L'angle horaire H varie de 0 à H_0 (arc semi-diurne), par incréments de 15° . Pour chaque heure, on calcule la hauteur en faisant varier la déclinaison de 0 à $23^\circ 26'$ pour obtenir les branches printemps/été, puis de 0 à $-23^\circ 26'$ pour les branches automne/hiver.

Gunter procède par étapes, en s'appuyant sur plusieurs formules qui sont des cas particuliers de la relation précédente ([3]).

4.6 Tracé des courbes d'azimut

Il n'existe pas de relation pour exprimer la hauteur du Soleil en fonction de l'azimut A ⁴. Pour tracer les courbes d'azimut, Gunter indique la procédure suivante. Pour chaque valeur d'azimut :

- on calcule h_0 , la hauteur du Soleil lorsqu'il se trouve sur l'équateur, avec $\tan h_0 = \frac{\cos A}{\tan \varphi}$ (cas particulier de la relation donnée en (4)).
- on calcule un angle intermédiaire x , tel que $\sin x = \cos h_0 \cdot \frac{\sin \delta}{\sin \varphi}$ (voir Annexe 2).
 x est la différence entre la hauteur du Soleil et celle sur l'équateur, prise dans le plan vertical du Soleil.
- on calcule finalement la hauteur h du Soleil :

- $h = x + h_0$ si $A < 90^\circ$
- $h = x - h_0$ si $A > 90^\circ$

Une fois la hauteur calculée, reporter chaque point selon sa distance au centre du quadrant (selon l'échelle de déclinaison), et selon sa hauteur (comptée depuis la graduation 90° du limbe).

Pour la latitude 45° , la courbe d'azimut nul se confond avec la courbe horaire de midi. Pour des latitudes inférieures à 45° , les courbes d'azimut se superposent aux courbes horaires orientées dans le même sens, ce qui rend la lecture difficile. Il est préférable de les représenter de couleurs différentes, ou de ne pas tracer les courbes pour les plus faibles valeurs d'azimut.

4.7 Choix et positionnement des étoiles

Les étoiles sont repérées par leurs coordonnées équatoriales : l'ascension droite est lue sur le limbe, et la déclinaison sur l'échelle de déclinaison sur le bord gauche du quadrant. Étant donné que seul un quart de l'équateur est représenté par le limbe, une étoile d'ascension droite comprise entre 90° et 180° sera placée en comptant depuis la graduation 90° les degrés d'ascension droite au-delà de 90° .

Exemple 9 • Placement de l'étoile Regulus, d'ascension droite $152^\circ 4'$.

.....
 Regulus se trouve dans le second secteur de l'équateur, à partir du point vernal. Son ascension droite dépasse de $152^\circ 4' - 90^\circ = 62^\circ 4'$. À partir de la graduation 90° , on compte $62^\circ 4'$, ce qui fait placer Regulus au niveau de la graduation $90^\circ - 62^\circ 4' = 27^\circ 6'$ du limbe.

4. La relation $\sin \delta = \sin \varphi \cdot \sin h - \cos \varphi \cdot \cos h \cdot \cos A$ est inutilisable pour calculer h directement.

Il faut un repère pour attribuer une étoile à son secteur sur l'équateur. Par exemple, on peut ajouter sous le nom de chaque étoile un nombre de points indiquant le secteur auquel elle appartient. On peut encore inscrire à l'intérieur du carré des ombres l'ascension droite des étoiles choisies, en heures.

Gunter choisit comme première étoile « *Ala Pegasi* », l'Aile de Pégase, aujourd'hui Algenib. Il motive ce choix par la valeur très faible de son ascension droite ($358^{\circ} 34'$), à seulement 6 min du point vernal. Cette valeur facilite la détermination de l'heure puisqu'il faut soustraire l'ascension droite de l'étoile à celle du Soleil (section 3.6 page 25). Du fait de la précession des équinoxes, l'ascension droite d'Algenib est actuellement un peu plus loin de la graduation nulle ($3^{\circ} 30'$ soit 14 min). L'étoile Alpheratz, de la même constellation, s'en rapproche davantage mais sa déclinaison étant supérieure à $23^{\circ} 26'$, elle sort de la zone utile de l'instrument.

Gunter reconnaît que l'étoile Algenib n'est que de seconde magnitude, et propose également quatre étoiles plus brillantes (tableau 3). Elles sont réparties autour de l'écliptique, ce qui permet d'augmenter les chances que l'une d'entre elles au moins soit visible à une date donnée, et de s'assurer qu'elles se positionnent à l'intérieur de la zone utile du quadrant.

TABLE 3
Étoiles choisies par Gunter (coordonnées : [3] et logiciel *Stellarium*⁵)

nom actuel	coordonnées de 1623		coordonnées actuelles	
	α	δ	α	δ
Algenib	$358^{\circ} 34'$	$13^{\circ} 7'$	$3^{\circ} 30'$	$15^{\circ} 18'$
Arcturus	$210^{\circ} 6'$	$21^{\circ} 8'$	$214^{\circ} 12'$	$19^{\circ} 6'$
Regulus	$147^{\circ} 32'$	$13^{\circ} 25'$	$152^{\circ} 24'$	$11^{\circ} 51'$
Aldebaran	$64^{\circ} 18'$	$13^{\circ} 42'$	67°	$16^{\circ} 30'$
Altaïr	$293^{\circ} 34'$	$8^{\circ} 3'$	298°	$8^{\circ} 54'$

4.8 Conversion de l'heure des étoiles avec le nocturlabe

Comme expliqué section 3.6 page 25, la détermination de l'heure par les étoiles nécessite une conversion pour passer de l'angle horaire de l'étoile à celui du Soleil.

Gunter propose une autre méthode pour réaliser cette conversion sans calcul de la part de l'utilisateur. Il s'agit d'utiliser le nocturlabe qu'il conseille de placer au dos de son quadrant. Sur la roue comportant le calendrier du nocturlabe, on aura reporté pour chaque étoile un repère devant la date de son passage au méridien inférieur à minuit, prise comme date de référence. Autrement dit, c'est la date à laquelle l'étoile possède la même ascension droite que le Soleil. Lorsque l'heure de l'étoile est observée pour une certaine date :

- on fait pivoter le calendrier pour amener le repère de l'étoile devant l'heure mesurée.
- on cherche sur le calendrier la date de l'observation : sur la roue des heures, elle indique l'heure solaire.

Exemple 10 • L'étoile Regulus passe au méridien inférieur à minuit le 23 août. Le 22 juin, on observe Regulus avec une heure stellaire de 2 h. Quelle est l'heure solaire à la date d'observation ?

.....
(voir figure 9 page suivante)

5. www.stellarium.org.

- on place le repère de Regulus (23 août) en face de la graduation 2 h de la roue horaire.
- on cherche sur le calendrier du nocturlabe la date d'observation (22 juin).
- en face de cette date, on lit l'heure solaire : 6 h.

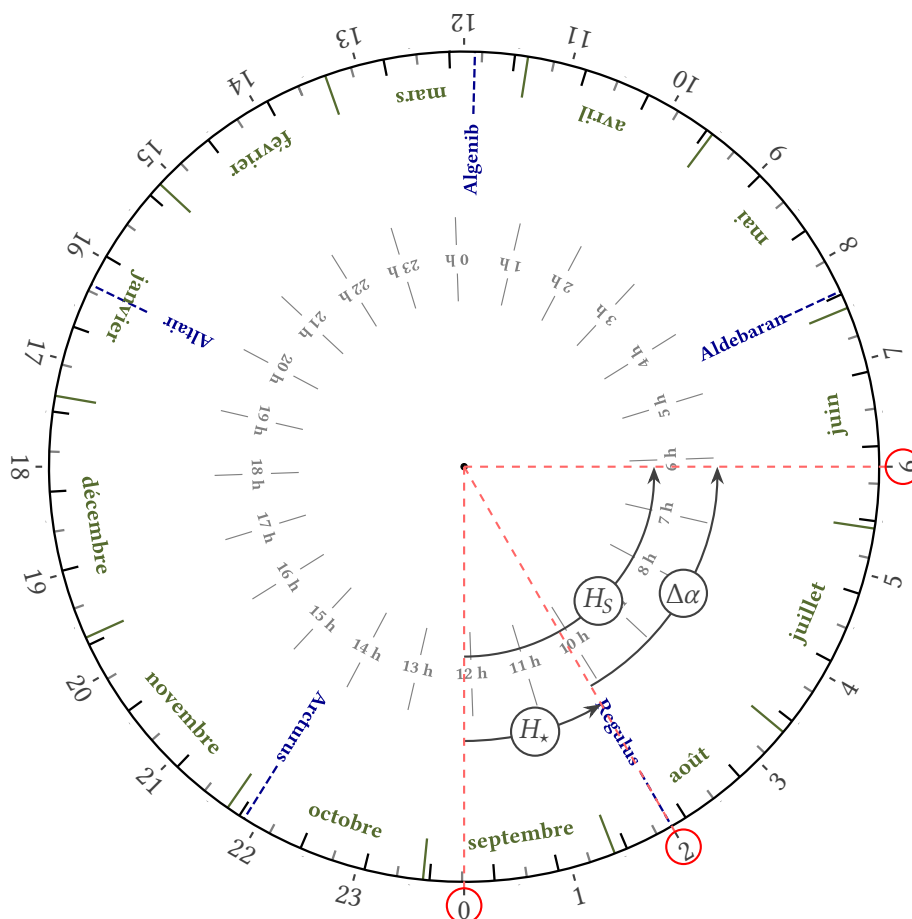


FIG. 9 – Principe de la conversion de l'heure à l'aide du nocturlabe de Gunter . La roue des heures est graduée dans le sens anti-horaire, mais le calendrier du nocturlabe tourne dans le sens horaire, les dates échelonnées selon l'ascension droite du Soleil. Des repères sont positionnés pour l'ascension droite des cinq étoiles (coordonnées actuelles).

Le repère de Regulus est amené en face de l'heure observée pour l'étoile (2 h); la date d'observation (22 juin) indique l'heure solaire : 6 h.

Entre le Soleil et l'étoile, la différence d'angle horaire est égale à la différence d'ascension droite :

$$H_S - H_* = \alpha_* - \alpha_s^6 \quad \text{donc} \quad H_S = H_* + (\alpha_* - \alpha_s)$$

La conversion nécessaire lors de l'observation d'une heure stellaire (H_*) vers une heure solaire (H_S) à une autre date se fait en deux temps :

- conversion des heures : on passe de l'heure de référence (minuit) à celle observée, *pour une même date* (celle de référence). Terme noté H_* .

6. La différence est inversée, comme le sont les échelles d'angle horaire et d'ascension droite.

- conversion des dates : on passe d’une date (celle de référence) à une autre (celle d’observation), pour une même heure. Terme noté $\Delta\alpha = \alpha_{\star} - \alpha_s$.

5 Comparaison avec le quadrant à double limbe

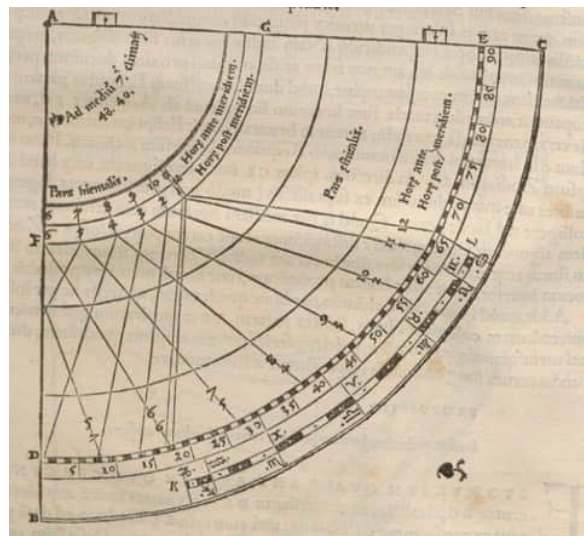
Dans son *Elucidatio fabrica ususque astrolabii* (1513), l’astronome Johannes Stöffler présente un *horarium bilimbatum*, ou quadrant à double limbe (figure 10a). Ce quadrant sera repris par Oronce Fine dans *Protomathesis* (1532) (figure 10b). Son réseau de doubles lignes horaires rappelle celui du quadrant de Gunter. Il résulte lui aussi d’un repli de l’échelle des déclinaisons qui place les deux tropiques sur un même arc plus grand que l’équateur.

Cependant ces lignes sont ici des segments de droite, reliant les points de hauteur du Soleil à l’équinoxe et aux solstices, ce qui rend le tracé bien plus facile à réaliser⁷. Sur le quadrant de Gunter, le tracé point par point des courbes horaires et azimutales exige un grand nombre de calculs trigonométriques, mais pour cela Gunter met à profit une innovation de son siècle : les tables logarithmiques de sinus et de tangentes artificiels⁸, qui sont d’ailleurs insérées dans son ouvrage (figure 1 page 19 : ...*With a Canon of Artificiall Sines and Tangents*). Ces tables donnent les logarithmes des fonctions sinus et tangentes. Grâce à cet outil, un calcul d’angle de la forme $\sin(a) = \frac{\sin(b)}{\tan(c)} \times \tan(d)$ (tableau 2 page 29) se résout avec de simples sommes et différences.

Enfin, contrairement à Gunter, ni Stöffler ni Fine ne vont jusqu’à utiliser les lignes horaires pour la détermination de la hauteur sous l’horizon, et donc n’évoquent pas la détermination de l’heure de début ou de fin du crépuscule.



(a) Quadrant de Johannes Stöffler (1513).



(b) Quadrant d’Oronce Fine (1532).

FIG. 10 – Quadrants à double limbe.

7. Au prix d’une approximation entre les équinoxes et les solstices qui entache la détermination de l’heure d’une petite erreur ([5]).

8. La découverte des logarithmes est due à John Napier en 1614.

6 Conclusion

Le quadrant de Gunter tient à la fois de l'astrolabe et du quadrant horaire. Avec l'astrolabe il partage la projection stéréographique des principaux arcs de la sphère céleste, et la détermination d'un grand nombre de paramètres astronomiques (heure de lever et de coucher, ascension droite, lieu du Soleil, déclinaison, amplitude). Le réseau de courbes horaires fait de cet instrument un quadrant horaire pour les heures égales (dans le sens où la perle indique l'heure au moment de la mesure de hauteur, sans que l'utilisateur n'ait à reporter la valeur lue sur un abaque). La lecture de l'heure à l'aide d'étoiles, les courbes d'azimut et les heures du crépuscule complètent ses fonctionnalités.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez :

- [Gunter_quadrant_annexe1.pdf](#) : le tracé du quadrant de Gunter pour les latitudes entières entre 40° et 60° nord, à imprimer sur papier bristol, avec un verso comportant un nocturlabe fonctionnant comme celui décrit par Gunter.
- [Gunter_quadrant_annexe2.pdf](#) : la démonstration de certaines formules intervenant dans le tracé du quadrant de Gunter.

Merci à Éric Mercier pour sa relecture et ses conseils.

Références

- [1] Éléments biographiques sur Gunter :
<https://thonyc.wordpress.com/2023/01/18/an-inventor-of-instruments/>
- [2] MORRISON, James E., *The Astrolabe*, Janus 2006.
- [3] GUNTER, Edmund. *The Description and use of the Sector, the Crosse-staffe, and other instruments*, 1623.
- [4] D'HOLLANDER, Raymond. *L'astrolabe. Histoire, théorie et pratique*, Institut Océanographique 1999.
- [5] SAVOIE, Denis. Cadran solaire portable à double limbe. *Cadran Info* n°41, mai 2020.



L' *Astronomical Time keeper* de James Ferguson

par DAVID ALBERTO

MOTS CLEFS

Ferguson; XVIII^e siècle;
Étoiles, Nocturlabe; Vol-
velle.

RÉSUMÉ

Cet article présente « The Astronomical Time keeper », un instrument original pour déterminer l'heure la nuit, que l'on doit à l'Écossais James Ferguson.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1 Éléments biographiques

James Ferguson (1710-1776) est né dans une famille modeste de fermiers du nord de l'Écosse. Dans sa jeunesse, il montre un vif intérêt et des aptitudes précoces pour la mécanique, l'horlogerie, l'astronomie et la peinture. En autodidacte, il consacre son temps libre à la fabrication d'instruments (horloges, globes terrestres et célestes), tout en exerçant divers métiers manuels. En 1739, il met au point son *Astronomical Rotula*, un instrument circulaire en papier pour la prévision des dates de nouvelle Lune, de pleine Lune et d'éclipses pour plusieurs années. Cet outil sera imprimé à plusieurs reprises pendant les années qui suivirent, avec une mise à jour suite au passage de la Grande-Bretagne au calendrier grégorien en 1752. Les ventes permirent à Ferguson d'améliorer quelque peu sa situation financière.

En 1746, installé à Londres, il publie une description d'un planétaire de son invention, suivi d'autres textes de vulgarisation dans les domaines de la mécanique, de l'astronomie et de l'électricité. Il produit également des conférences et des publications portant sur divers phénomènes astronomiques à venir tels que les éclipses de Soleil ou le transit de Vénus, en imaginant régulièrement divers instruments servant de support à ses présentations (horloges astronomiques, cadran à marée, divers planétaires...). Les conférences et les inventions se succèdent, lui apportant une notoriété croissante. Il devient *Fellow of the Royal Society* en 1763.

Ses ouvrages les plus connus sont : *Astronomy explained upon Sir Isaac Newton's Principles* (1756), *Lectures on Select Subjects* (1760), *The Young Gentleman and Lady's Astronomy* (1768)¹.

1. Traduit en français : *Astronomie des demoiselles* (1827).

2 Exemple existant

Un exemplaire de l'*Astronomical Time keeper* est présenté dans le catalogue n°VI (avril 2014) de l'antiquaire Daniel Crouch² (figure 1). Dans *Wheelwright of the Heavens* (1988), une biographie de Ferguson, John Millburn écrit avoir trouvé une mention de cet instrument dans un fascicule de Ferguson, mais sans avoir localisé d'exemplaire existant. Celui du catalogue a été vendu. L'*Astronomical Time keeper* – qui n'est pas mentionné dans la biographie écrite par Henderson (point [1] page 43) – n'a sans doute pas eu le succès de l'*Astronomical Rotula*, dont il existe encore plusieurs exemplaires³.

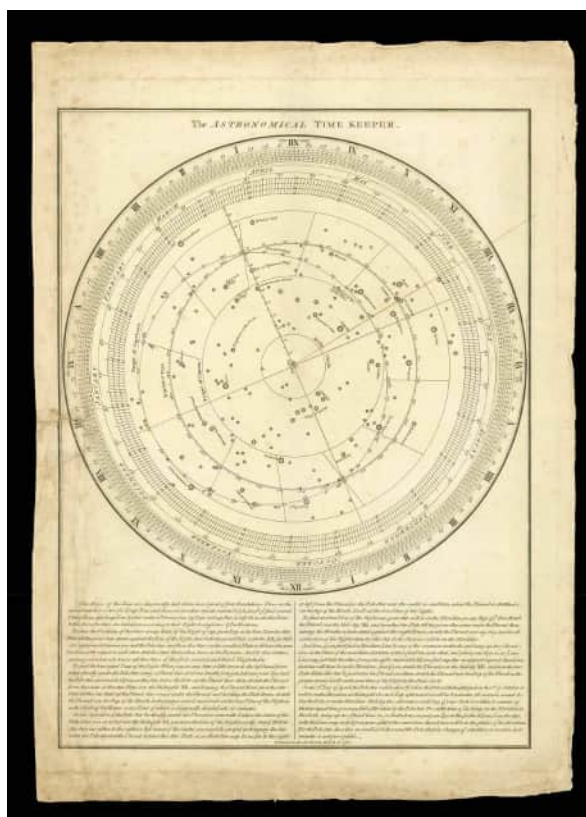


FIG. 1 – Exemplaire de l'*Astronomical Time keeper* issu du catalogue de D. Crouch. Le document mesure 450 × 315 mm. Le mode d'emploi se trouve au bas du feuillet.

3 Description de l'*Astronomical Time keeper*

L'instrument se compose de deux disques de papier concentriques pouvant pivoter indépendamment autour de leur centre. Son usage nécessite un fil fixé en son centre.

2. crouchrarebooks.com

3. Royal Museums Greenwich, National Library of Scotland.

3.1 La roue des heures

Le grand disque mesure environ 27 cm de diamètre ; c'est une roue des heures graduée en chiffres romains en deux fois 12 heures, dans le sens antihoraire, avec les indications « mid-day » et « mid-night » pour les graduations XII. Chaque heure comporte des graduations secondaires tous les quarts d'heure en chiffres arabes. Un système d'échelle diagonale (ligne en dents de scie coupant une série de cercles concentriques, figure 2) permet une lecture à la minute près avec un fil tendu fixé au centre du disque.

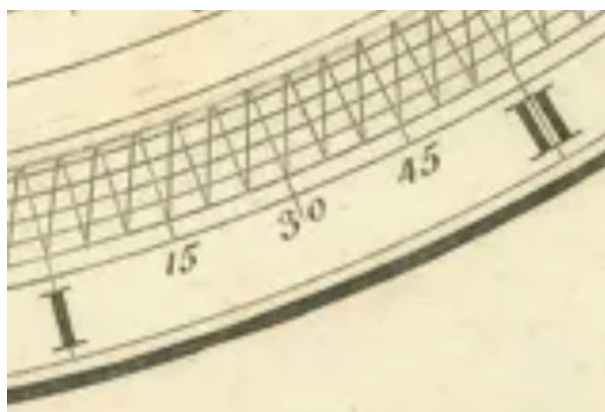


FIG. 2 – Détail de la roue des heures, graduée tous les quarts d'heure, et son échelle diagonale. Chaque dent de la ligne en dents de scie marque 5 minutes. Chaque intersection de cette ligne avec l'un des cinq cercles concentriques marque une minute de temps.

3.2 La roue céleste

La seconde roue, de diamètre 23 cm environ, est une projection sur le plan équatorial de plusieurs cercles de la sphère céleste : le cercle polaire arctique, les tropiques du Cancer et du Capricorne, l'équateur et l'écliptique. Le long d'un rayon de cette roue se trouve une échelle linéaire de déclinaison, allant de 90° au centre jusqu'à -36° . Le cercle équatorial est gradué en ascension droite dans le sens horaire ; les constellations apparaissent dans le sens où elles sont observées dans le ciel. L'écliptique est gradué tous les 10° en lieu du Soleil, avec les symboles du zodiaque en début de signe. Plusieurs dizaines d'étoiles sont positionnées selon leur ascension droite et leur déclinaison. Trois symboles différents sont utilisés, vraisemblablement selon que les étoiles soient de première, de seconde ou de troisième magnitude. Les plus brillantes sont nommées (figure 3).



(a) L'astérisme principal de la Grande Ourse est appelé *Charles's Wain*.



(b) La constellation de Pégase. Les quatre étoiles du carré sont nommées.



(c) La constellation d'Orion, traversée par le cercle équatorial.

FIG. 3 – Quelques constellations.

Cette roue est également pourvue d'un calendrier civil. Ferguson a donné à ce calendrier la forme d'une spirale à 4 tours pour distinguer les années bissextiles des années communes, avec un décrochement entre la fin février et le 1^{er} mars (figure 4 page suivante). À chaque date correspond un

segment oblique, non aligné sur le centre de l'instrument. La date de l'équinoxe de printemps tombe le 21 ou le 22 mars selon le rang de l'année dans le cycle de 4 ans.

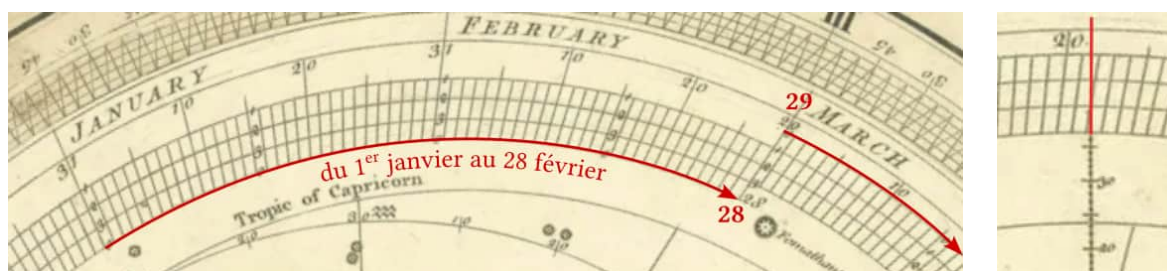


FIG. 4 – Calendrier en spirale, avec le décrochement entre fin février et début mars. Pour l'année bissextile, on suit l'intérieur de la spirale depuis le 1^{er} janvier jusqu'à la graduation du 28 février, puis on passe à la graduation 29, au bout du même segment mais sur l'extérieur de la spirale. À droite : date de l'équinoxe de mars, tombant le 21 ou le 22.

Pour faciliter l'utilisation du calendrier, une série de chiffres (0, 1, 2 et 3) distinguent les 4 boucles de la spirale, tous les 15 jours. « 0 » marque l'année bissextile, « 1 » l'année suivante, etc.

4 Utilisation de l'*Astronomical Time keeper*

Le guide d'utilisation est indiqué par Ferguson au bas du document.

4.1 Détermination de l'heure avec les étoiles

Cet usage remplit la même fonction qu'un nocturlabe, mais selon une procédure différente, car l'*Astronomical Time keeper* n'est pas équipé d'un bras tournant, et il n'y a pas à viser un astre avec l'instrument.

De nuit, tourné vers le nord, l'utilisateur laisse pendre à bout de bras un fil lesté qu'il fait passer par la direction de l'étoile Polaire, en repérant une étoile à gauche du fil sur le point de passer au méridien, identifiée sur le tracé de l'instrument. Quand cette étoile passe derrière le fil, on prend le fil fixé au centre de l'instrument pour le tendre sur la graduation « midnight », et on fait tourner le disque céleste pour amener l'étoile sous ce fil. Alors, en cherchant sur le calendrier la graduation du jour, on lit en face l'heure solaire sur la roue horaire. En s'aidant du fil, l'heure est lue à la minute près grâce à l'échelle diagonale.

4.2 Heure de passage d'une étoile au méridien

Le disque céleste est tourné de sorte que l'étoile choisie soit placée sous le fil tendu passant par la graduation XII (« mid-day »). Alors la date du jour se trouve en face de l'heure de passage de l'étoile au méridien.

4.3 Précision de l'heure lue

Le choix de Ferguson de graduer la roue horaire à la minute près interroge sur la précision fournie par la méthode. Cette dernière assimile la position de l'étoile Polaire à celle du pôle céleste nord. Or à l'époque de Ferguson, l'étoile Polaire est distante du pôle d'environ 2°⁴, contre environ 0,5 de

4. D'après le logiciel *Stellarium*, www.stellarium.org.

nos jours. Pour la détermination de l'heure on suppose que l'étoile servant de repère a un angle horaire de 180° (passage au méridien inférieur), et l'on commet une erreur d'autant plus grande que la Polaire est éloignée du méridien. En plaçant le fil à plomb sur le vertical passant par la Polaire, le fil matérialise un méridien apparent dont l'azimut est commun aux deux étoiles.

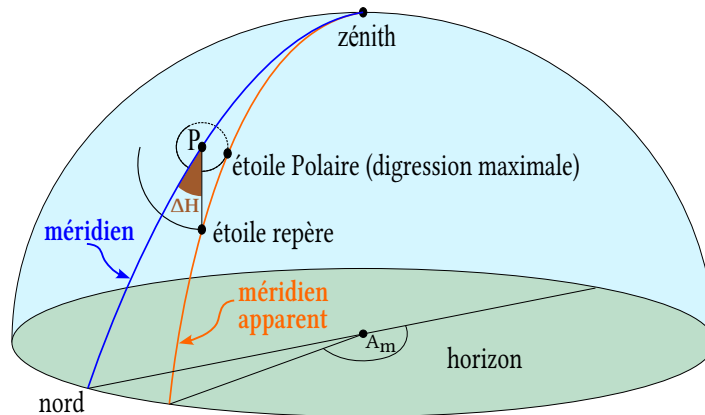


FIG. 5 – Erreur de lecture due à l'excentricité de l'étoile Polaire. Les deux étoiles ont le même azimut A_m ; l'étoile repère possède un écart ΔH par rapport à un angle horaire de 180° supposé.

Pour tenter une estimation de l'erreur de lecture sur l'angle horaire de l'étoile repère, plaçons-nous dans la situation la plus défavorable, où l'étoile Polaire se trouve à sa digression maximale, c'est-à-dire dans un plan vertical tangent au cercle décrit par l'étoile dans son mouvement diurne (figure 5). L'azimut de l'étoile Polaire est alors donné par (point [3] page 43) $A_m = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{\cos \delta_E}{\cos \varphi}\right)$, où $\delta_E \simeq 88^\circ 08'$, déclinaison de la Polaire vers 1770. D'après la méthode de l'*Astronomical Time keeper*, l'étoile repère possède le même azimut A_m ; il s'agit de déterminer son angle horaire et de le comparer à 180° ou 12 heures, pour avoir une estimation de l'erreur de lecture.

TABLE 1
Estimation de l'erreur en minutes, d'après *Stellarium* (année 1770, étoile Polaire en digression maximale)

(a) Latitude $51^\circ 30'$ nord (Londres), azimut $176^\circ 55'$			(b) Latitude 40° nord, azimut $177^\circ 29'$		
déclinaison de l'étoile repère	angle horaire	écart ΔH	déclinaison de l'étoile repère	angle horaire	écart ΔH
$73^\circ 30'$	11h24	36 min	$73^\circ 27'$	11h26	34 min
$56^\circ 29'$	11h39	21 min	$58^\circ 1'$	11h40	20 min
$44^\circ 20'$	11h43	17 min	$52^\circ 20'$	11h43	17 min

Quelques résultats réalisés avec le logiciel *Stellarium* sont présentés dans le tableau 1 pour deux latitudes d'utilisation. Après s'être placé à un instant de digression maximale pour l'étoile Polaire, on a sélectionné une étoile repère d'azimut très proche de cette dernière, et noté son angle horaire. Dans les deux cas, l'erreur de lecture est de l'ordre de plusieurs dizaines de minutes de temps. L'erreur est moindre si l'étoile repère choisie est de plus faible déclinaison, c'est-à-dire basse sur l'horizon, comme le laissait supposer la figure 5. D'autre part, une latitude d'utilisation plus basse a tendance à rapprocher légèrement la Polaire du méridien local, mais cet avantage est contrebalancé par le fait que les étoiles circumpolaires les plus basses sur l'horizon nord ont une déclinaison plus élevée.

Ces résultats peuvent être reproduits en traçant des abaques d'azimut (figure 6). Pour chaque latitude choisie et pour une série de valeurs d'angle horaire proches de 180°, on calcule une série de valeurs d'azimut A correspondantes, avec

$$\tan A = \frac{\sin H}{\sin \varphi \cos H - \cos \varphi \tan \delta_A}$$

δ_A représente la déclinaison de l'étoile repère. On prendra l'angle supplémentaire de la valeur obtenue, pour avoir un azimut proche de 180°. D'autre part on calcule une série de valeurs pour l'écart ΔH entre l'angle horaire et la valeur 180°, exprimé en minutes de temps.

Enfin, on calcule l'azimut A_m de l'étoile Polaire à sa digression maximale (formule ci-dessus), et l'on place la valeur à la base du graphique (ligne verte).

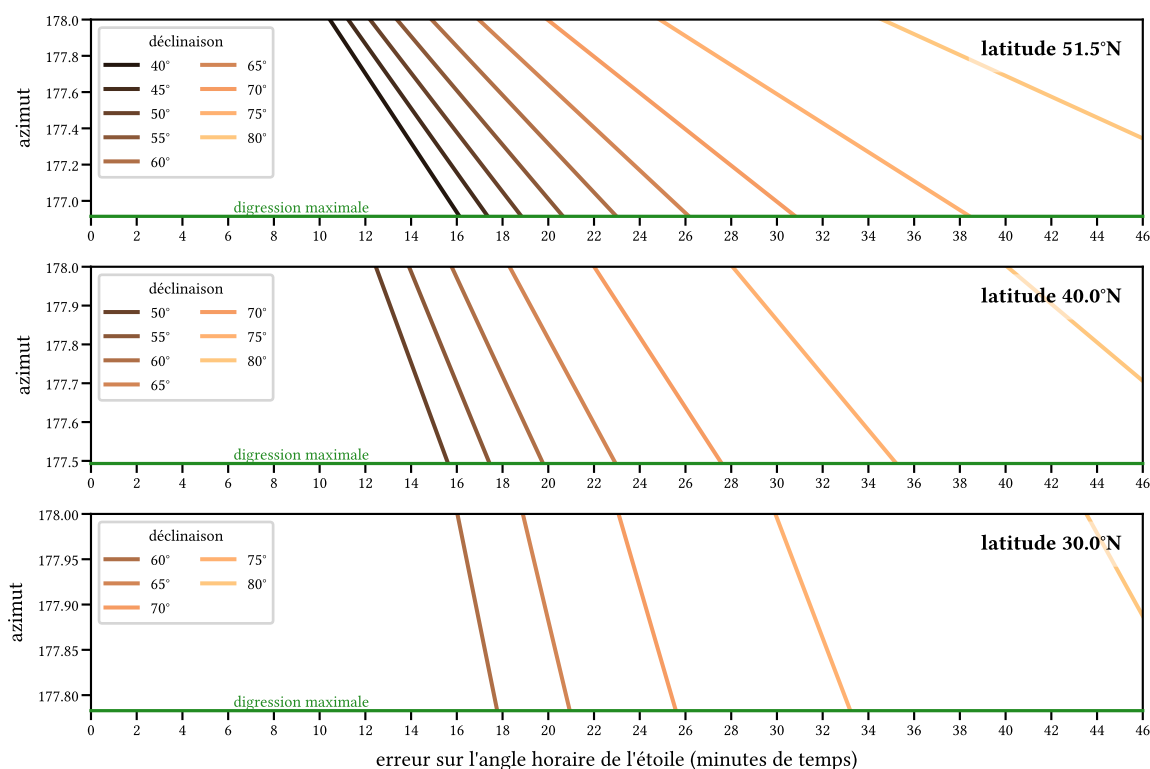


FIG. 6 – Abaques reliant l'azimut des étoiles visées à l'erreur de lecture, pour trois latitudes et différentes déclinaisons pour l'étoile repère. Les courbes se rejoindraient pour l'azimut 180° et un écart nul.

Exemple de lecture : pour la latitude 51,5° N, avec une étoile de déclinaison 40°, l'erreur maximale est de 16 minutes de temps.

L'intersection des courbes avec la ligne verte indique l'erreur de lecture faite sur l'instrument, dans le cas le plus défavorable (étoile Polaire en digression maximale). On retrouve les mêmes valeurs qu'avec *Stellarium*, et un écart supérieur à 15 minutes, voire plusieurs dizaines de minutes. Choisir une étoile repère de faible déclinaison réduit l'écart, mais cela est difficile aux faibles latitudes (étoiles non circumpolaires).

Cet examen montre que l'*Astronomical Time keeper* souffrait d'un manque de précision sur la détermination de l'heure, quand l'étoile Polaire était éloignée du méridien. Ces cas défavorables pouvaient être prédits par l'utilisateur, puisque l'étoile Polaire est visible à un ou deux millimètres du centre de l'instrument original. Dans sa notice d'utilisation, Ferguson prévient que l'heure lue n'est correcte

que si l'étoile Polaire dessinée se trouve exactement sous le fil ou dans son alignement (cas où son ascension droite est égale à celle de l'étoile repère, ou en diffère de 180°). Si la Polaire se trouve à gauche ou à droite du fil, il préconise d'ajuster la roue céleste de sorte que l'étoile repère se trouve du même côté du fil que la Polaire, et éloignée de la même distance :

In this Operation, if the Pole Star be directly under the Thread or even with it above the Center of the Plate, when it is stretched over the Midnight XII, you have the time of the Night exactly. But if the Pole Star then lies either to the right or left hand of the Center, you must be careful in bringing the Star below the Pole toward the Thread, to place the Star-Plate so, as that Star may be as far to the right or left from the Thread as the Pole Star near the center is : and then, when the Thread is stretched over the Day of the Month, it will cut the true Time of the Night.

Cette correction permet de réduire de quelques minutes l'erreur due à l'excentricité de la Polaire. Cependant, l'efficacité de cette correction reste limitée et difficile à apprécier.

D'autre part, Ferguson évoque le cas où l'utilisateur dispose d'un repère méridien local déterminé au préalable. Dans ce cas, en plaçant l'œil dans le plan vertical de ce repère méridien et du fil à plomb, l'instant de passage d'une étoile dans ce plan indiquera l'heure exacte :

And thus, if you first find a Meridian Line by any of the common methods, and place your Eye so, as the one Line may just hide the other from your sight, and watch till you find any Star disappear beyond these Lines, that Star will then be on the Meridian. And if you stretch the Thread over the Midday XII and turn the Star-Plate till the like Star be just below the Thread, and then stretch the Thread over the Day of the Month in the proper spiral, it will cut the true time of the Night in the Hour Circle.

Enfin, Ferguson explique comment déterminer la direction du méridien local. Le 2 avril, l'étoile Polaire passe sous le pôle céleste à minuit, tandis que le 1^{er} octobre à la même heure elle passe au-dessus du pôle. À ces dates, deux fils à plomb masquant l'étoile Polaire indiquent le méridien local. Pour chaque jour suivant, l'étoile Polaire passera au méridien 3 min et 56 s plus tôt.

5 Reconstitution

Une reconstitution de l'*Astronomical Time keeper* est proposée en annexe de cet article. Elle a été réalisée avec l'outil $\text{\LaTeX}$ et ses modules TikZ (dessin) et pgfplots (graphiques).

Les valeurs des paramètres orbitaux ont été actualisées. Le calendrier a été calculé avec l'ascension droite du Soleil pour les années 2024 à 2027 (point [2] page 43). Les étoiles ont été positionnées selon leurs coordonnées équatoriales dans le catalogue Hipparcos. Ferguson indique avoir placé les étoiles de première, seconde et troisième magnitudes. La correspondance entre cette dénomination et l'échelle actuelle de magnitude apparente n'est pas évidente. Le choix a été fait de représenter les étoiles par les symboles suivants : $\odot$ (magnitude apparente inférieure à 1,5), $\star$ (magnitude comprise entre 1,5 et 2,5) et $\star$ (magnitude comprise entre 2,5 et 3,5). En fixant cette limite de magnitude, le nombre d'étoiles représentées sur la reconstitution est assez proche de celui sur la carte originale, avec cependant quelques discordances (des étoiles manquantes, d'autres supplémentaires, magnitudes incohérentes).

L'annexe 1 fournit les deux disques à imprimer sur feuilles au format A3; l'annexe 2 contient les deux disques séparés en 4 quarts chacun, à imprimer au format A4 et à assembler pour former un tracé de diamètre 40 cm.

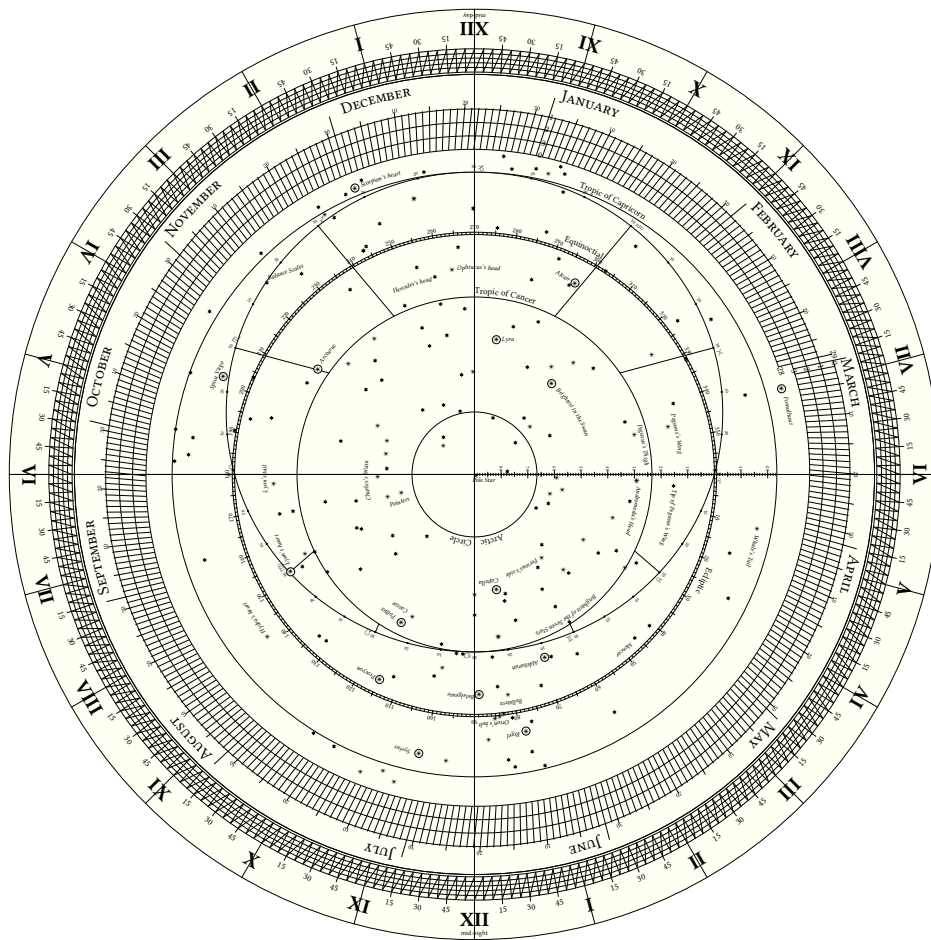


FIG. 7 – Reconstitution du tracé de l’*Astronomical Time keeper*.

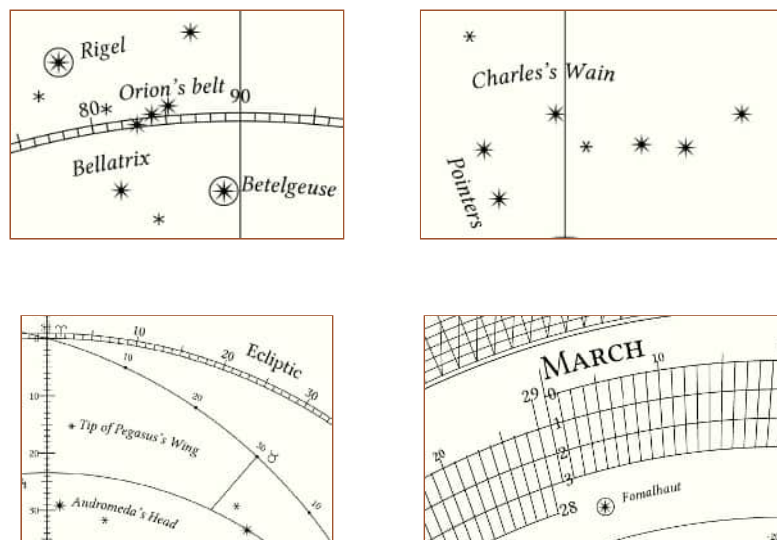


FIG. 8 – Détails de la reconstitution de l’*Astronomical Time keeper*.

Je remercie Denis Savoie pour son aide.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez les annexes :

 [annexe_1.pdf](#).

 [annexe_2.pdf](#).

Références

- [1] HENDERSON E. *Life of James Ferguson, F.R.S.*, 1870.
- [2] MEEUS J. *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs*. Société astronomique de France, 2014.
- [3] D'HOLLANDER R. *L'astrolabe. Histoire, théorie et pratique*. Institut Océanographique, 1999.

de A à Z ...

(...) le site web amateur ou professionnel des membres de la CCS consacré à la gnomonique ou abordant ce domaine



Un « palimpseste » gnomonique

par DOMINIQUE BÉNEULT
& ANDREAS BORCHERT

MOTS CLEFS

Bas-relief; palimpseste;
réemploi.

RÉSUMÉ

Les tribulations d'un bas-relief aux apôtres du XV^e siècle, transformé en cadran solaire au XVII^e siècle, puis à nouveau disposé comme sculpture religieuse dans la même église au XX^e siècle.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

La petite église Saint-Brice de Beuzeville au Plain¹, dans la Manche contient un tel objet, fruit de vicissitudes historiques et de transformations inattendues. Tel qu'il est exposé actuellement dans la nef, c'est un fragment de bas-relief sévèrement amputé de sept de ses apôtres², cf. Fig. 1. Du point de vue de l'histoire de l'art, il a été décrit et étudié par Madame Élisabeth Raffray³.

La découpe étrange de cet avers est semblable à celle de nombreux cadrans solaires du XVII^e siècle⁴ présents dans la région et incite à examiner le revers qui porte effectivement un cadran solaire méridional vertical daté 1693 dont le gnomon est manquant (cf. Fig. 2).

Le bas-relief / cadran retrouvé a été réinstallé dans l'église en 1970 après des travaux (cf. Fig. 3). Quelle était la position d'origine du cadran ? Ouest-France du 1^{er} août 1970 fournit une précision⁵ : « dans un des angles ... ».

Et le *Réveil de Cherbourg Saint-Lô* du 14 août 1970 : « Au-dessus du portail de la nef ... ».

L'église Saint-Brice est orientée N62°E, elle n'a donc pas de mur susceptible de porter un cadran méridional.

Il s'agit donc de retrouver une surface Est-Ouest, « au-dessus du portail de la nef » et « dans un angle ».

1. Canton de Sainte-Mère-Église (50 523).

2. Classé Monuments Historiques par arrêté du 28 février 1967 : <https://pop.culture.gouv.fr/notice/palissy/PM50000084>.

3. Élisabeth Raffray, « L'Art de la Fin du Moyen-Âge (1380-1520) dans les diocèses de Coutances et d'Avranches », ouvrage collectif, Collecta Patrimoine, *Les Cahiers Culturels de la Manche*, Saint-Lô, p. 80–81.

4. Conservation des antiquités et objets d'art de la Manche : <http://objet.art.manche.fr/>, consulté le 13/04/2026.

5. Je remercie E. Marie et B. Canu de m'avoir orienté vers la presse régionale de 1970.



FIG. 1 – Fragment de bas-relief, avers, avec les apôtres Pierre, André, Jacques le Majeur, Jean et Thomas.



FIG. 2 – Fragment de bas-relief, revers, portant le cadran solaire.

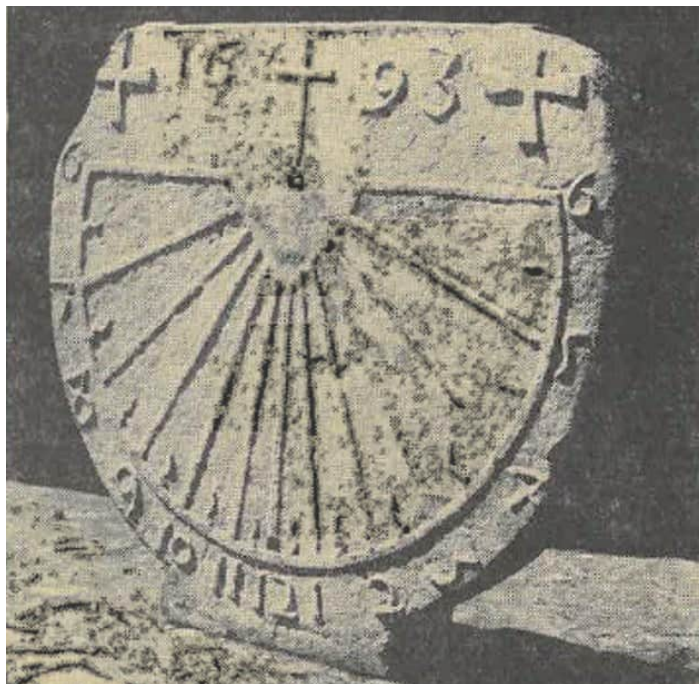


FIG. 3 – Le cadran au démontage en 1970.

L'examen du mur pignon entre le chœur et la nef montre que les pierres entre surmont et sablière sont taillées selon l'angle adéquat : c'est donc la position gnomonique très probable du cadran méridional vertical (cf. Fig. 4 & 5).



FIG. 4 – Mur pignon du chœur, nef à gauche, chœur et portail du chœur à droite.



FIG. 5 – Mur pignon du chœur entaillé entre chaperon et sablière.

Étant donné l'ambiance religieuse du règne de Louis XIV, il est fort douteux qu'on ait sacrifié un retable aux apôtres pour en faire un cadran solaire ; il est plus probable que le retable était suffisamment endommagé en 1693 pour que le clergé en autorise le réemploi, d'ailleurs invisible pour les fidèles dans la position que nous avons déterminée.



Réflexions sur une particularité de l'équation du temps

par GUY GRASICA

MOTS CLEFS

Courbe en huit; équation du temps; excentricité; obliquité; périhélie.

RÉSUMÉ

La courbe de l'équation du temps présente quatre extrémums. Mais, dans certaines conditions, deux d'entre eux disparaissent pour laisser place à un palier. C'est l'objet de cet article.

© 2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Lors de l'étude sur la forme que prend dans le ciel la courbe en huit du temps moyen en faisant varier l'excentricité de l'orbite, j'ai remarqué que celle-ci présentait une pointe bien prononcée à proximité du solstice d'été. J'ai voulu savoir quelle en était la raison et je me suis aperçu que cela correspondait à un palier de l'équation du temps qui restait constante pendant quelques jours. Les deux extrémums secondaires avaient disparu. Dans le ciel la courbe en huit du soleil s'était transformée en une courbe en forme de patatoïde.

La figure 1 montre l'évolution de la courbe de l'équation du temps en fonction de l'excentricité de l'orbite. Pour une excentricité nulle l'équation du temps présente quatre extrémums ayant la même valeur absolue, deux positifs et deux négatifs. Avec une excentricité non nulle on voit l'apparition de deux extrémums principaux et deux secondaires. En augmentant l'excentricité, les extrémums principaux augmentent tandis que les deux extrémums secondaires diminuent jusqu'à disparaître. La courbe de l'équation du temps présente donc ce palier pour une valeur de l'excentricité de 0,045.

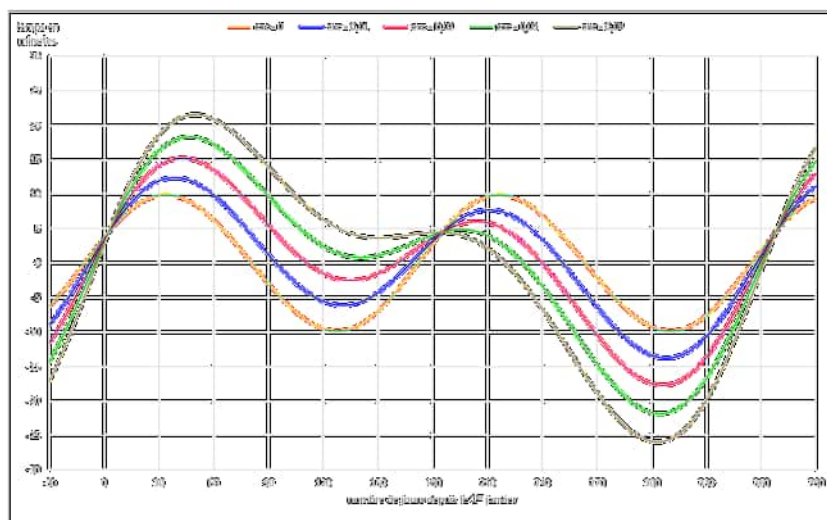


FIG. 1 – Courbe de l'équation du temps en fonction de l'excentricité de l'orbite.

La figure 2 montre les courbes de l'équation du temps et de ses deux composantes, l'équation du centre et la réduction à l'équateur, lorsque l'excentricité est égale à 0,045. Durant la période du palier les variations de l'équation du centre et de la réduction à l'équateur se compensent. En termes mathématiques on dit que leurs pentes ont la même valeur absolue et sont de signes opposés.

La figure 3 est un zoom sur le palier. On voit que l'équation du temps reste pratiquement constante pendant une dizaine de jours. Sa variation est de l'ordre de la seconde.

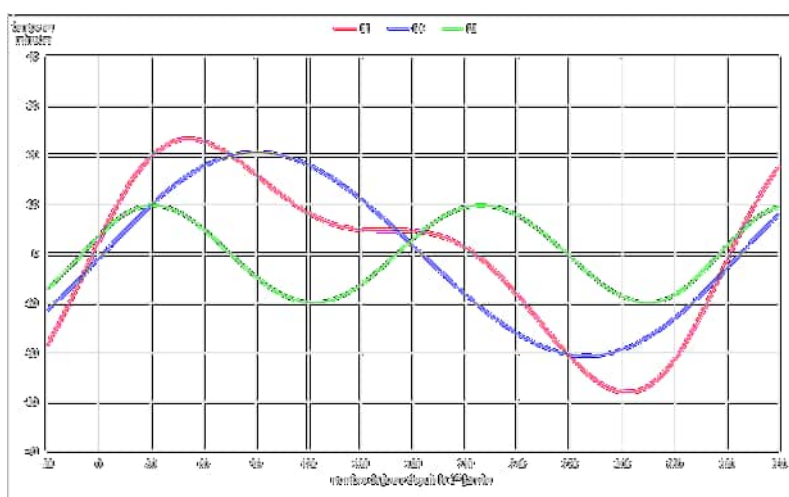


FIG. 2 – Courbe de l'équation du temps pour une excentricité de 0,045.

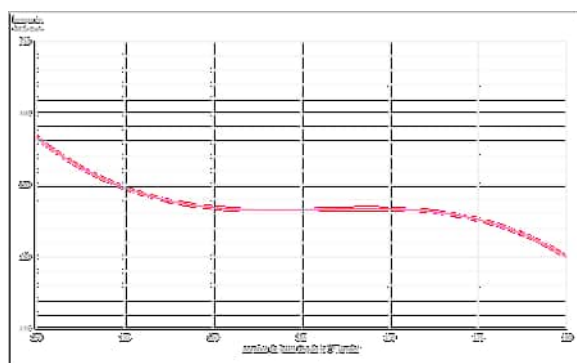


FIG. 3 – Palier de l'équation du temps pour une excentricité de 0,045.

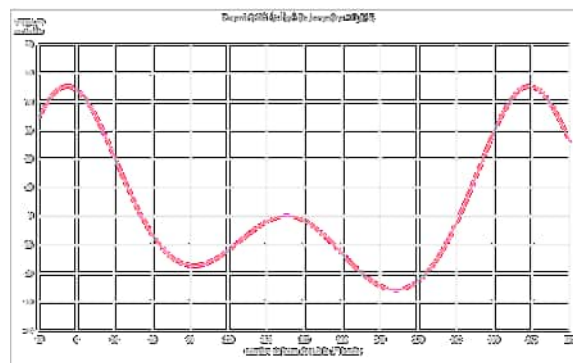


FIG. 4 – Variation de la durée du jour : écart entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen. Excentricité de l'orbite terrestre = 0,045.

La figure 4 montre l'écart entre la durée du jour vrai et celle du jour moyen. Au palier de la courbe de l'équation du temps correspond un extrémum de la courbe représentant la variation de la durée du jour. Cet extrémum a une valeur nulle : la durée du jour vrai est égale à celle du jour moyen, soit 24 heures.

La figure 5 page suivante montre la variation de la forme de la courbe en huit décrite par le soleil en fonction de l'excentricité. Afin de rendre le graphique plus lisible, seules les courbes correspondant à trois valeurs de l'excentricité ont été représentées.

La figure 6 page suivante montre la courbe décrite par le soleil pour une excentricité de 0,045. Ce n'est plus un huit. La table 1 page suivante présente, en fonction de l'obliquité, les différentes valeurs de l'excentricité qui provoquent le palier de l'équation du temps.

Si l'obliquité est doublée alors l'excentricité est multipliée par quatre ($4 = 2^2$). Si l'obliquité est triplée alors l'excentricité est multipliée par neuf ($9 = 3^2$). Ceci est logique car le terme principal de l'équation du centre est fonction de l'excentricité et celui de la réduction à l'équateur est fonction du carré de la tangente de l'obliquité.

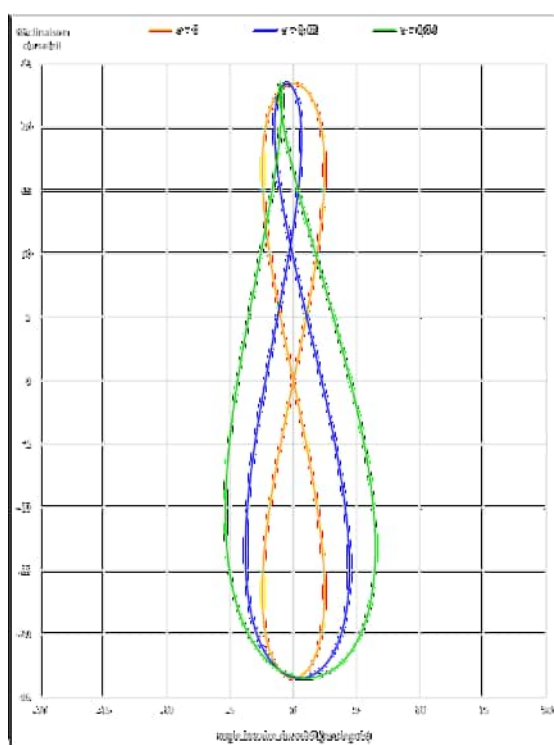


FIG. 5 – Forme de la courbe en huit en fonction de l'excentricité.

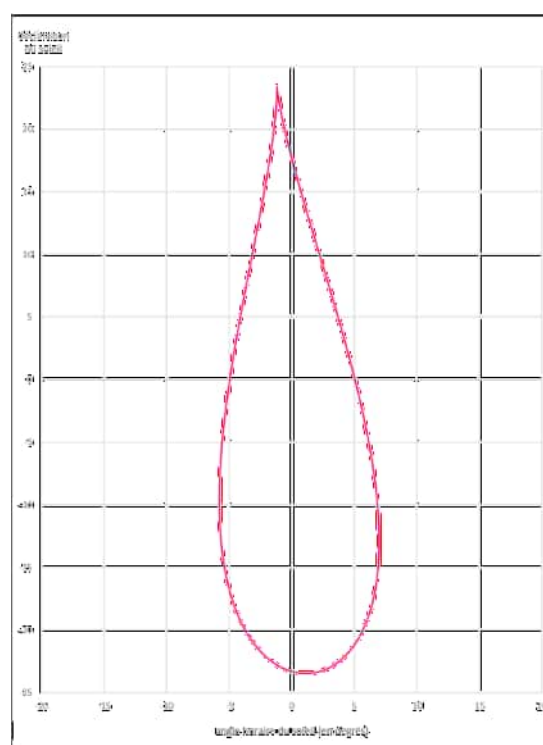


FIG. 6 – Forme de la courbe en huit pour une excentricité de 0.045.

TABLE 1
Relation entre obliquité et excentricité
pour un palier de l'équation du temps

Obliquité	Excentricité
10°	0,008
15°	0,018
20°	0,032
25°	0,051
30°	0,075

TABLE 2
Éléments saisonniers de l'année 2000

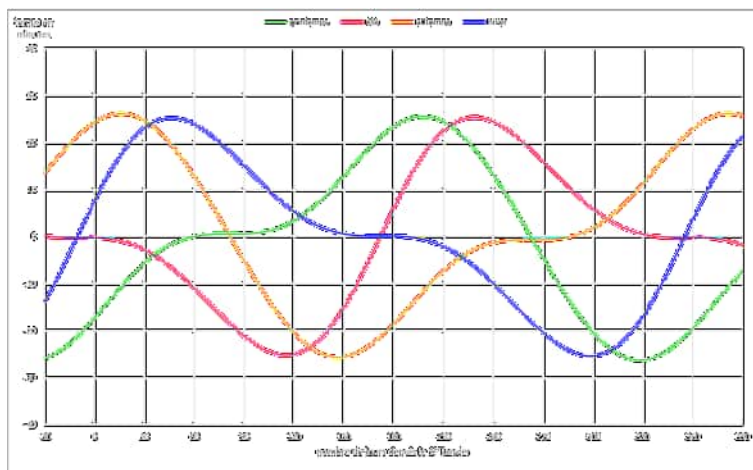
Saison	Date	Heure	Anomalie moyenne
Printemps	2000-03-20	07 h 35 min 14 s	282;316 75
Été	2000-06-21	01 h 47 min 42 s	190;891 38
Automne	2000-09-22	17 h 27 min 35 s	98;584 82
Hiver	2000-12-21	13 h 37 min 25 s	10;035 99

Un autre paramètre intervient dans la forme de l'équation du temps : l'instant du périhélie. Actuellement il se produit environ 14 jours après le solstice d'hiver. Pour voir son influence j'ai choisi quatre instants particuliers : les équinoxes et les solstices. Pour effectuer le calcul de l'équation du temps dans ces conditions il faut agir sur la formule de l'équation du centre en modifiant le premier terme de l'anomalie moyenne. Celui-ci indique la position du périhélie (valeur correspondant à l'époque notée J2000,0). Il est égal à 357;529 11 ce qui correspond à un périhélie intervenant le 4 janvier 2000 à 0 h 10 min UTC. La table 2 donne les valeurs prises pour le premier terme de l'anomalie moyenne en fonction de la date des saisons. Les dates des saisons sont fournies par le formulaire de calcul d'éphémérides *Saisons* disponible sur le site Internet du LTE (Laboratoire Temps Espace). Chaque date est transformée en jour julien et retranchée à la valeur du jour julien de l'époque notée J2000,0. La différence trouvée est ensuite convertie en degrés pour calculer le premier terme de l'anomalie

moyenne. Le calcul de l'équation du temps est effectué en faisant varier l'excentricité afin d'atteindre la valeur optimale qui engendre un palier. Avec un périhélie se produisant aux instants des saisons, la courbe de l'équation du temps présente un palier pour une excentricité de 0,043, légèrement plus faible que la valeur indiquée précédemment. La raison en est donnée un peu plus loin.

La figure 7 montre l'équation du temps lorsque le périhélie se produit pour chacun de ces quatre instants. En regardant sa forme on remarque deux choses :

- Lorsque le périhélie se produit à un équinoxe, l'équation du temps présente un palier lors de cet équinoxe.
- Lorsque le périhélie se produit à un solstice, l'équation du temps présente un palier au solstice opposé.



La figure 8 montre l'écart entre les durées du jour vrai et du jour moyen en fonction de l'instant du périhélie. Pour chaque courbe l'extrémum principal correspond à l'instant du périhélie. Il est positif lorsque le périhélie correspond à un solstice. Il est négatif lorsque le périhélie correspond à un équinoxe.

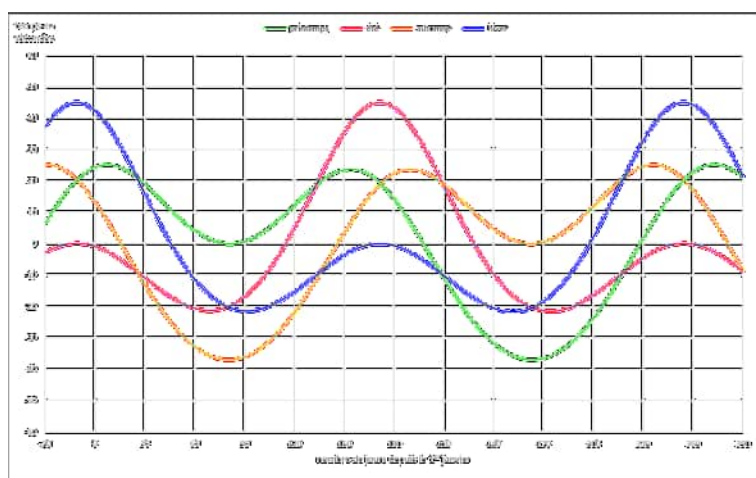


FIG. 8 – Écart entre les durées du jour vrai et du jour moyen en fonction de l'instant du périhélie.

forme d'un huit et présente une pointe au moment du solstice opposé.

La figure 10 montre la courbe de la méridienne du temps moyen, tracée sur un cadran solaire, en fonction de l'instant du périhélie.

Au-delà des cas particuliers du périhélie se produisant au même moment que les saisons, il serait intéressant de connaître l'évolution du palier dans un cas plus général. Dans un premier temps j'ai étudié le cas où le périhélie glisserait de l'équinoxe de printemps au solstice d'été. Entre ces deux instants l'ascension droite du soleil varie de zéro à six heures et j'ai réalisé les calculs en la faisant varier par tranche d'une heure. Pour chaque valeur de l'ascension droite le formulaire de calcul

La figure 9 page suivante montre la courbe du temps moyen décrite par le soleil en fonction de l'instant du périhélie. On y voit les conséquences de la position du palier de l'équation du temps :

- Lorsque le périhélie se produit à un équinoxe, la courbe du temps moyen a la forme d'un huit allongé et elle est rectiligne au moment de cet équinoxe.
- Lorsque le périhélie se produit à un solstice, la courbe du temps moyen n'a plus la

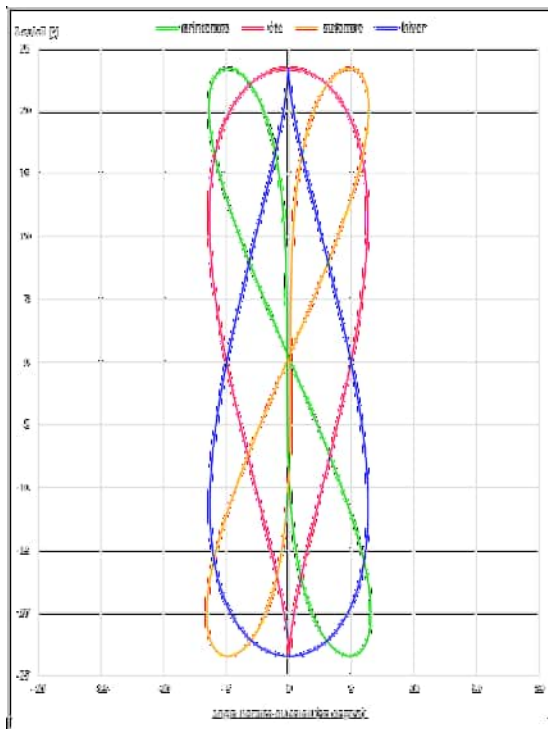


FIG. 9 – Courbe du temps moyen en fonction de l'instant du périhélie.

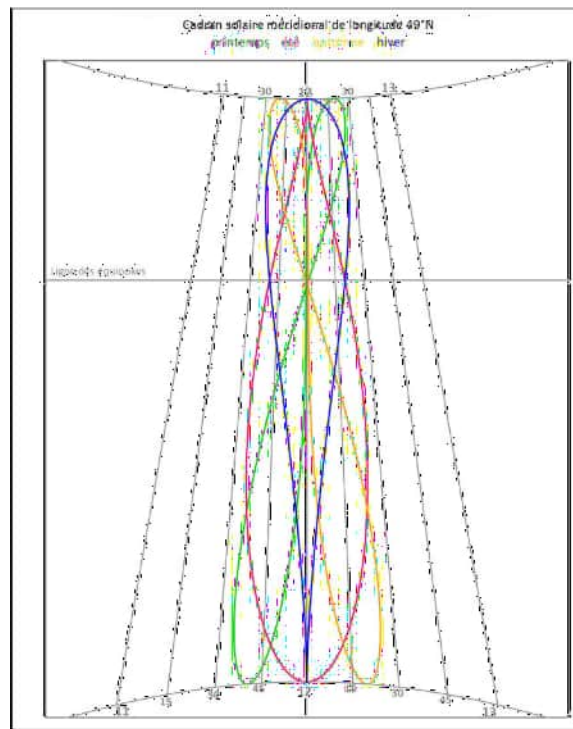


FIG. 10 – Méridienne du temps moyen, tracée sur un cadran solaire, en fonction de l'instant du périhélie.

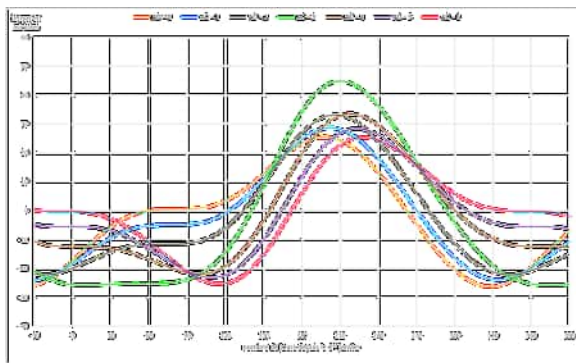


FIG. 11 – Courbe de l'équation du temps présentant un palier en fonction de l'instant du périhélie.

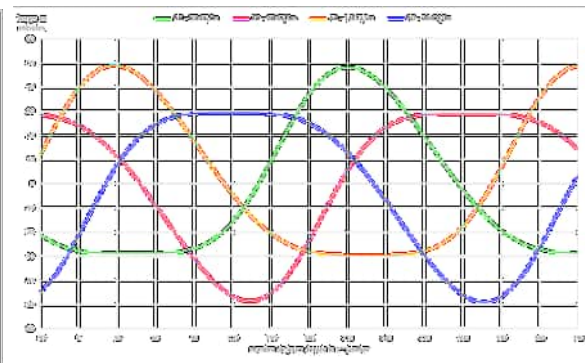


FIG. 12 – Courbes de l'équation du temps en fonction de l'instant du périhélie.

d'éphémérides *Observation des planètes* du LTE m'a donné une date et heure de l'événement. J'ai ensuite calculé l'anomalie moyenne et l'excentricité comme indiqué plus haut.

La figure 11 page suivante montre les courbes de l'équation du temps ainsi obtenues. À la courbe de plus grande amplitude correspond la plus grande valeur de l'excentricité. Cela se situe à un instant où le périhélie est situé environ à mi-chemin entre l'équinoxe et le solstice. D'autre part il n'y a pas de glissement du palier mais un transfert de l'équinoxe de printemps vers le solstice d'hiver. Lors de la bascule le palier est plus fortement marqué. Ce phénomène est reproductible pour chaque variation du périhélie entre les différents solstices et équinoxes. De plus la position du périhélie où se produit la courbe de plus grande amplitude n'est pas exactement à mi-chemin entre solstice et équinoxe. J'ai donc, dans un deuxième temps, recherché l'instant du périhélie et la valeur de l'excentricité qui

correspondent à cette courbe de plus grande amplitude qui a aussi la propriété d'avoir le palier le plus important. J'ai fait les calculs pour les quatre positions particulières entre les instants de deux saisons consécutives. Les résultats de cette recherche sont résumés dans la table 3 ci-dessous où sont indiqués les paramètres correspondant à la courbe de l'équation du temps qui présente le palier le plus fortement marqué. Les calculs ont été réalisés pour l'année 2000 et ont été effectués avec un pas de 0,5 minute pour l'ascension droite et un pas de 0,000 5 pour l'excentricité de l'orbite. La valeur de l'excentricité, pour avoir un palier de l'équation du temps, est conditionnée par la position du périhélie. Elle varie de 0,043 à l'instant des saisons jusqu'à un maximum de 0,085 entre deux de ces instants.

La figure 12 page précédente montre les courbes de l'équation du temps ainsi obtenues avec dans chaque cas un palier fortement marqué pendant lequel l'équation du temps est constante.

TABLE 3
Éléments orbitaux des planètes

Ascension droite	Instant du périhélie	Anomalie moyenne	Excentricité de l'orbite
03 h 06,0 min	05-09,285 38	233°065 74	0,084 0
08 h 56,5 min	08-04,731 06	147°872 46	0,084 5
14 h 53,5 min	11-07,955 12	53°021 65	0,085 5
21 h 04,0 min	02-03,078 39	327°889 88	0,085 5

FIG. 13 – Courbes de la variation du jour vrai en fonction de l'instant du périhélie.

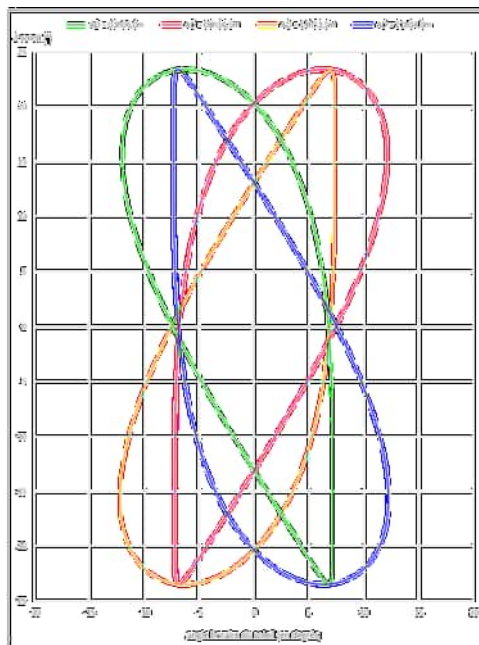
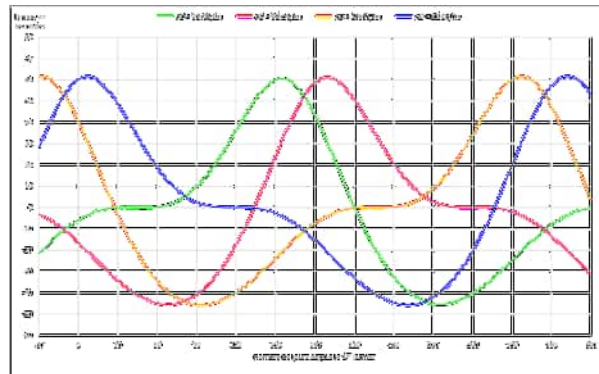


FIG. 14 – Courbes du temps moyen en fonction de l'instant du périhélie.

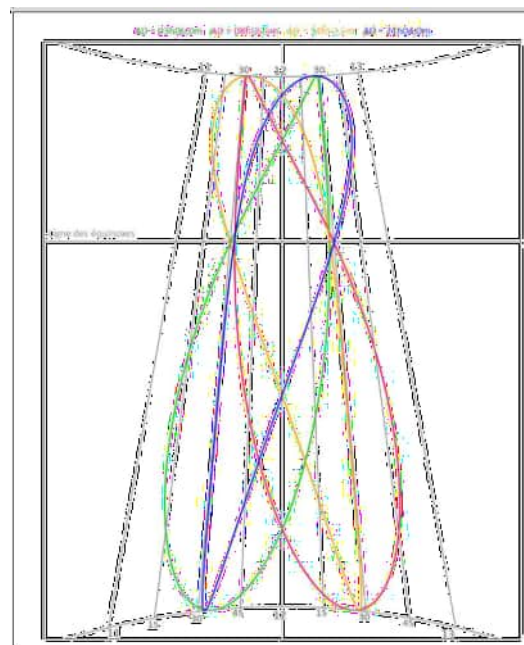


FIG. 15 – Courbes de temps moyen, tracées sur un cadran solaire, en fonction de l'instant du périhélie.

La figure 13 page précédente montre l'impact sur les courbes de la variation du jour vrai. Au moment du palier de l'équation du temps la différence entre la durée du jour vrai et celle du jour moyen est nulle : le jour vrai est égal à 24 h 00 min 00 s.

La figure 14 montre les courbes du temps moyen décrites par le soleil en fonction de l'instant du périhélie.

La figure 15 montre les courbes de la méridienne du temps moyen, tracées sur un cadran solaire, en fonction de l'instant du périhélie.

Cette étude a permis de mettre en évidence un cas particulier de l'équation du temps. Mais il faut savoir garder les pieds sur Terre, tout cela n'est que de la théorie. Et sait-on jamais, peut-être qu'un jour on découvrira, dans une lointaine galaxie, une exoplanète sur laquelle se présente cette caractéristique particulière de l'équation du temps. L'espoir fait vivre dit-on, et pour connaître cette découverte il faudra vivre très vieux, et même beaucoup très vieux. Comme le Grand Schtroumpf en quelque sorte.



de A à Z ...

(...) le site web amateur ou professionnel des membres de la CCS consacré à la gnomonique ou abordant ce domaine



lescadransdepdro :

Les cadrans solaires de Pedro - Los relojes de sol de Pedro

34 publications 69 followers 127 suivi(e)s

• Conception autodidacte - Concepción autodidacta

CARRILLO Pierre : [Les cadrans solaires de Pedro](#) - [Los relojes de sol de Pedro](#)
(@lescadransdepdro) • Photos et vidéos Instagram

Analyse d'un cadran solaire horizontal

par PIERRE LABAT-SÉGALEN¹

MOTS CLEFS

Cadran horizontal ; Blason ; Étude.

RÉSUMÉ

Étude d'un cadran anonyme qui révèle *in fine* son origine.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

L'origine du cadran solaire est inconnue. Il a été acheté par une personne (pas de référence) il y a environ 25 ans.

Récemment il a été confié à un antiquaire de Saint-Malo et mis aux enchères en salle de ventes à Rennes en fin 2024.

1 Présentation

C'est un cadran horizontal en schiste ardoisier de 220 × 245 mm ; épaisseur 8 mm ; masse : 800 g.

Un nettoyage a été nécessaire pour observer l'ensemble des tracés. Il est resté 2 mois dans un bain d'eau avec des morceaux de zinc dégraissé, afin d'éliminer les mousses et autres dépôts. Aucune date de création, aucun nom de graveur et de propriétaire. Le dos du cadran est vierge.

1.1 Le style

C'est une sorte de moignon mobile autour de son axe (Fig. 2). Il est déformé et cassé. Il a été démonté pour être refait.

En fer, il est formé d'une tôle triangulaire pleine cassée dans sa partie supérieure. Elle est assemblée incorrectement sur un axe traversant la table.



FIG. 1 – Cadran nettoyé.

1. Personnes ayant également participé à cette étude : Paul Gagnaire, Michel Lalos[†] (via le site web maintenu par Mme Lalos), Michel Manguin, Jean Scordia.



FIG. 2 – Le style.

L'ensemble tourne $\pm 10^\circ$. Il était fixé au plomb.

Est-ce le style d'origine ? Sans doute non, on ne peut imaginer un cadran de cette qualité avec un style de ce type.

1.2 La table

Elle comporte plusieurs trous :

- Sur la ligne de 6 h : 2 trous de diamètre 8 mm, certainement pour la fixation sur un support.
- Au-dessus sur la couronne : 2 trous de diamètre 3 et 2 mm (utilité inconnue).
- Au-dessus du chiffre 12 : un trou de diamètre de 3,5 mm (utilité inconnue).
- Au centre : un trou ovale irrégulier de $8,5 \times 6$ mm pour l'implantation du style. Il est chanfreiné sur la face arrière.

Le coin côté 5 h du matin est manquant, petit triangle de 11×11 mm.

Les blasons et le médaillon en forme de cœur sont poncés et les monogrammes, que l'on suppose être IHS, sont bouchardés.

L'ensemble des écrits et des représentations est en relief : le travail est remarquable, il est de très grande finesse. La hauteur du relief est de 1,2 mm en moyenne.

2 Étude de la table

2.1 Tracés horaires

Gravure : lignes horaires en creux du centre du cadran au bandeau interne des écrits. Elles sont chiffrées dans un bandeau. Les demies sont courtes. Les chiffres sont en relief. Une étoile à 5 branches est gravée entre chaque chiffre.

Chiffres : arabes de 5 H à 12 H à 7 H. Suivant l'avis de Jean Scordia :

« le cadran serait de la moitié du XVII^e siècle, peu avant ou après 1650. On observe que le 5 n'a pas encore le petit trait (queue) en haut et que le 8 n'est ni fermé ni barré horizontalement en haut [cf. Fig. 3] ».

Ci-dessous des exemples de 5 et 8 dans le livre sur les « *Cadrans Solaires de Bretagne* » aux éditions Skol Vreizh, 29 600 Morlaix.

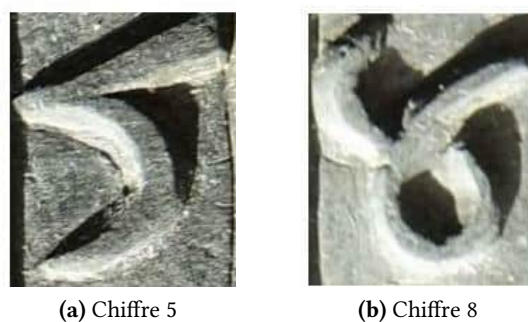


FIG. 3

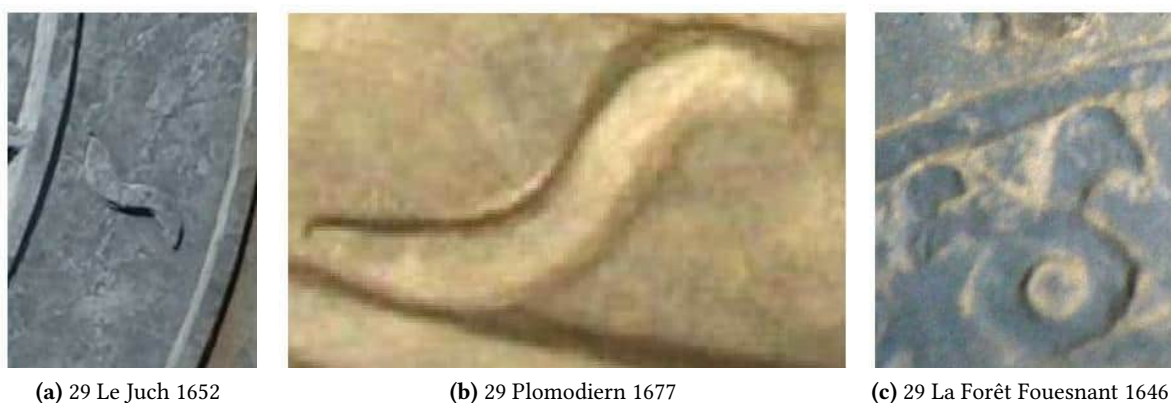


FIG. 4 – Exemples de chiffres 5 et 8.

2.2 Relevés angulaires

Heure	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Angle	90°	70°	52°	36°	22,5	10,5	0°	10,5	22,5	36,5	52°	70°	90°

Ces relevés nous donnent une latitude d'environ 47°. Pour un calcul à 47° nous obtenons les valeurs suivantes :

Heure	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Angle	90°	69,88	51,71	36,18	22,89	11,09	0°	11,09	22,89	36,18	51,71	69,88	90°

2.3 Écritures

- Deux bandeaux encadrent les chiffres de 9 H – 12 H – 3 H : côté Nord.



Praeter amare Deum, cum coetera debeat aetas, hic sere quod plena post modo face metas
Sauf l'amour de Dieu, le temps détruit tout ; sème donc à présent ce que plus tard tu pourras
récolter à pleine mesure

- Deux bandeaux encadrent les chiffres de l'après-midi de 4 H à 7 H : côté Est.



Omnia deficiunt mortalia gaudia mundi cerne quid es, quid eris, mors quia cuncta rapit
Toutes les joies mortelles du monde nous feront défaut, vois ce que tu es, ce que tu seras, car
la mort prend tout

- Deux bandeaux encadrent les chiffres de 5 H du matin à 8 H : côté Ouest.



« Nil aurum, nil pompa juvat, nil sanguis avorum excitare virtutem, coetera mortis erunt »
« Ni l'or, ni les grandeurs, ni le sang des aïeux ne donnent la vertu, le reste n'est que mort »

- En bas du cadran, dessous les blasons :



« Vos genus, et pietas, vos laudat gratia morum » « Votre naissance et votre piété, le
charme de vos mœurs proclament votre louange »

Nota : Pour toutes les citations latines ci-dessus, la traduction est issue de la documentation de Michel Lalos, sans référence pour une écriture sur un cadran existant, ni sur l'origine des textes.
<http://michel.lalos.free.fr> > devises > cs devises latin.

- Dans le phylactère :



« magnus genere, virtute et Bello » « Grand par la race, le courage et l'aptitude au combat ».

- Entre la couronne et les blasons :



« Decus avorum » « honneur des ancêtres »

En dehors des 2 blasons, en partie inférieure un médaillon en forme de cœur est poncé. On aperçoit des tracés de hachures à 45°.

2.4 Décors

- Deux lions supportant un blason double. Les 2 blasons ovoïdes sont poncés, ils sont hachurés dans le sens horizontal.
- En décor interne, seul un gant est présent.
- Deux ensembles cerclés du monogramme de Marie avec le A et le M mélangés (Ave Maria). En symétrie, sans doute "IHS" bouchardé.

Observation de Jean Scordia :

« À propos de MA & IHS, je ne trouve pas logique de répéter MA et IHS. Il n'y a aucun autre symbole religieux sculpté, croix par exemple (hors les textes); il est aussi inexplicable de bûcher IHS et pas MARIA. J'ai supposé que ce seraient les initiales des commanditaires; celles de l'homme ayant subi la "damnatio memoriae" (effacement de la mémoire), peut-être à la Révolution française, parce qu'il était noble ou de caractère détestable. Répéter MA demeure curieux. »

- En-dessous un cœur également poncé. On observe des hachures qui sont aussi présentes autour de l'ensemble blasons.
- À gauche, un groupe 3 lances/harpons dont 2 ont le fanion replié, l'autre fanion est déployé et on aperçoit un tracé en croix; 2 ancres à jas traditionnelles de marine.
- À droite, un groupe de 2 lances/harpons avec le fanion replié; sur les 2 autres le fanion est déployé, il a aussi un tracé en croix au centre.

2.5 Décor végétal

- Deux fleurs "papyrus" (?) au-dessus et en dessous des blasons; une fleur au-dessus de la couronne.
- Une composition de palmes, un classique en héraldique.

Commentaire : Une lampe UV a été utilisée pour observer d'éventuelles traces qui auraient survécu au bouchardage et au ponçage. Rien n'apparaît.
Pourquoi les monogrammes de Marie sont présents et ceux du Christ sont bouchardés ? Les analyses diffèrent, alors ... ?

3 Restauration

Le style et son axe ont été refaits, brasure à l'étain à 98%.

La matière utilisée a été du laiton (Cu+Zn).

L'ensemble est fixé sur la table avec de la résine à 2 composants. La résine s'est imposée car le trou d'origine d'implantation était très ovalisé.

Une vis et une rondelle assemblent l'axe central sur le dos de la table.



FIG. 5 – Nouveau style.

4 Conclusion

Le ponçage des blasons et du cœur rend complexe l'étude et l'analyse de l'origine de ce cadran. Le seul dessin d'un gant n'a pas permis de situer la traçabilité familiale.

Les fanions, les lances, les ancres à jas laissent supposer une proximité maritime.

Il reste des interrogations ; aussi, chers lecteurs, si vous avez des précisions complémentaires et/ou des observations, merci de les transmettre pour une évolution d'analyse.

5 Quelques photos permettant une observation des détails des gravures de cette table



(a) Le gant



(b) Ancres à jas et fanions



(c) Les lances

FIG. 6

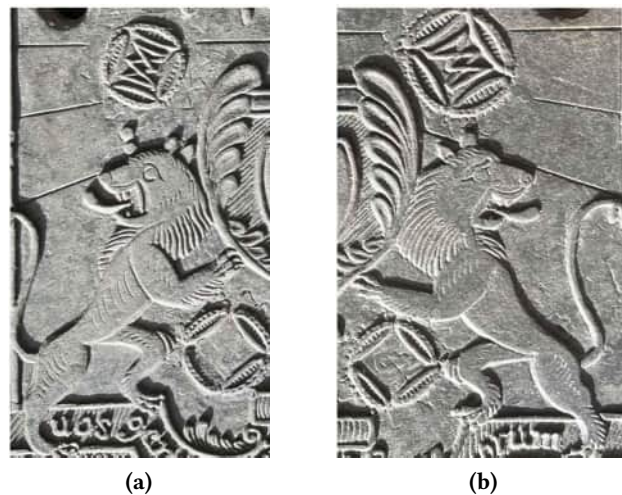


FIG. 7 – Les lions et les monogrammes gauche et droit.



FIG. 8 – Le cadran restauré

6 Il y a une suite !!!!!

Une étude n'est jamais terminée...

Après plusieurs mois de veille, tout à fait par hasard en feuilletant le livre de Charles Boursier de 1936 aux éditions Berger-Levrault, une grande surprise : aux pages 38-39 qu'observe-t-on ? Une photo du cadran décrit et analysé dans les feuillets précédents !

Le texte nous fait connaître le nom de la famille du propriétaire jusque-là inconnu : « La famille LE GRAND » de Rehainviller en Lorraine — Meurthe-et-Moselle, 54.

Il en découle la latitude et la longitude : $\varphi = 48^{\circ} 33' 42''$ Nord, $\lambda = 6^{\circ} 28' 11''$ Est.

Un peu de recherches plus tard, Michel Mauguin trouve les manques du cadran concernant les blasons et le médaillon et les surcharge sur un cliché.

À noter que la Lorraine à cette époque ne fait pas partie de la France ; la recherche à base du gant s'étant cantonnée chez nous. Le cadran serait donc de fin 17^e - début 18^e siècle.

L'analyse héraldique est jointe ci-après.

Alors pourquoi pas une restauration pour lui donner sa conformité initiale. Un avis sera demandé à la commission restauration.

Les angles relevés sur le cadran ne correspondent pas à la latitude du lieu d'implantation, il y a une différence de 1° 33' 42" .

6.1 Les armoiries du cadran Le Grand de Rehainviller

La famille Le Grand, dont Claude natif de Bar est anobli en 1591, est référencée dans le « Nobiliaire de la Lorraine et du Barrois » (Dom Pelletier)

Le blasonnement est : d'azur à une fasce d'argent accompagnée en chef d'un lion passant d'or, et en pointe d'un gantelet d'argent orné d'or ; cimier : le lion naissant de l'écu.

Le cadran est dit de l'époque de la régence d'après l'annonce de mise en vente, soit 1715-1723.

La généalogie nous donne : **Joseph Le Grand** baron du Saint-Empire, par diplôme de Sa Majesté Impériale du 17 avril 1706, confirmé par lettres de Son Altesse Royale du **14 juin 1709**, fils d'**Antoine Le Grand** et d'**Anne Gennetaire**, était seigneur de Rehainviller

et de Mont, capitaine d'infanterie au régiment de Bourgogne, gouverneur du prince François et chambellan de Son Altesse Royale. Il épousa le **09 mars 1689 Marie-Jeanne de Beaufort**.

Source : https://genealogie-bisval.net/~ev/blasons_communes_meurthe-et-moselle/R/rehainviller.html

Si les restes visibles de l'écu Le Grand ne posent plus aucun problème, il reste à découvrir le second dont les restes visibles confirment un fond d'azur (bleu), ce qui ne correspond pas à Anne Gennetaire ayant un fond or (jaune), celui de **Marie-Jeanne de Beaufort**, lui, est d'azur, soit : d'azur à trois jumelles d'or.

Le fils de Marie-Jeanne, Henri Joseph Hyacinthe Le Grand épousa Henriette Christine d'Hoffelize dont le blason est : d'argent à quatre fasces d'azur ; au lion de gueules, couronné d'or brochant sur les fasces ; au canton d'or.

Sur le cadran, les traces codant la couleur azur ne peuvent pas correspondre à ce blason.

Conclusion : l'emplacement des armoiries appartient à **Joseph Le Grand**, 1655–1730 (Baron du Saint-Empire Germanique des Habsbourg, Seigneur de Rehainville et de Mont, Capitaine au Régiment de Bourgogne) et son épouse **Marie-Jeanne de Beaufort**.



FIG. 9 – Armoiries.



FIG. 10 – Le Grand — Beaufort.



FIG. 11 – Médaille de l'Ordre de la Toison d'Or.

Le médaillon sous les blasons n'est autre qu'une médaille représentant l'Ordre de la Toison d'Or en usage dans le Saint-Empire Germanique, sachant que la Lorraine n'est devenue française qu'en 1766. La couronne est bien celle d'un baron, mais à la française.



FIG. 12 – Reconstitution des manques pour une éventuelle réfection (Michel Mauguin).

6.2 Complément de recherche

Dans le Boursier, nous trouvons aux pages 31-32-39 — un autre cadran réalisé certainement par le même graveur.

Il est identique en conception graphique avec des écritures en périphérie, un phylactère, les chiffres sont semblables et un blason central. Il est circulaire, en schiste ardoisier, et les écritures sont en couronne. Il a été créé pour la famille Le Comte de Abaucourt.

Quelle proximité ?

La distance Abaucourt // Rechainviller est environ 50 km à vol d'oiseau.

Ce cadran est-il inventorié par la Commission ? Non observé à ce jour.

Il restera à celui qui retrouve le cadran de la famille Le Comte de Abaucourt d'en effectuer une analyse.



Le Papophoplon

par CHRISTOPHE MARION

MOTS CLEFS

Ajustement; Heure légale; Heure solaire; Heure d'été; Heure d'hiver; Équation du temps; Décalage horaire; Longitude; Patrimoine; Gnomonique; Pédagogie.

RÉSUMÉ

Réconcilier les humains avec l'heure solaire et faire vivre le patrimoine de nos cadrans solaires! Le Papophoplon est un instrument simple qui donne de manière évidente l'ajustement entre l'heure solaire et l'heure légale pour tous les jours de l'année. Il permet ainsi de « faire parler » les cadrans solaires au grand public, ce qui met en valeur notre patrimoine de cadrans solaires installés. De plus, c'est un outil pédagogique, qui permet une introduction à la gnomonique et la compréhension de quelques notions essentielles de temps et d'astronomie.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1 Le besoin

Quand les gens non avertis regardent un cadran solaire, la première chose qu'ils font est de consulter leur montre ou leur smartphone. Ils constatent alors que l'heure indiquée ne correspond pas. Il en résulte diverses réactions, toutes nuisibles à notre passion des cadrans solaires :

- « Un cadran solaire, ce n'est pas précis »
- « Tout ce qui est scientifique, c'est trop compliqué, je n'y comprends rien ! »
- « Un cadran solaire, ça ne sert à rien ! »

Les gnomonistes savent très bien pourquoi l'heure du cadran n'est pas l'heure de la montre : le cadran solaire donne l'heure solaire vraie et la montre donne l'heure légale. Les deux divergent pour trois raisons :

- **Décalage de référence** : en France, l'heure légale est décalée d'une heure en hiver et de deux heures en été par rapport à l'heure du méridien qui traverse le pays, le méridien de Greenwich (heure UTC). Lorsque « l'heure d'hiver » s'applique, cela représente un ajustement de 60 minutes. En heure d'été, l'ajustement est de 120 minutes.
- **Décalage de longitude** : la montre donne la même heure pour tous les lieux. Mais le cadran solaire donne l'heure solaire vraie, qui est locale. Or, le cadran que l'on regarde n'est probablement pas situé sur le méridien de Greenwich. Il y a donc un décalage dû à la différence de longitude entre le cadran et le méridien. La figure 1 montre le décalage horaire en minutes pour la France métropolitaine. Selon le lieu, le décalage de longitude peut représenter jusqu'à 25 minutes par rapport à Paris, en plus ou en moins.

- **Équation du temps** : l'heure de la montre est basée sur le temps moyen : on se rappelle que GMT signifiait historiquement Greenwich Mean Time, temps moyen de Greenwich. Le référentiel appliqué aujourd'hui, le Temps Universel Coordonné (UTC), est lui aussi un temps moyen. Or, le cadran donne l'heure vraie. Du fait de l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de son orbite (obliquité), et de la forme elliptique de celle-ci (excentricité), il y a une différence entre l'heure vraie et l'heure moyenne. La figure 2 donne la valeur de cet ajustement pour l'année 2026. On note que les valeurs extrêmes de cet ajustement sont équivalentes à un décalage de longitude de 3,6 degrés vers l'est et de 4,1 degrés vers l'ouest. Nous y reviendrons.

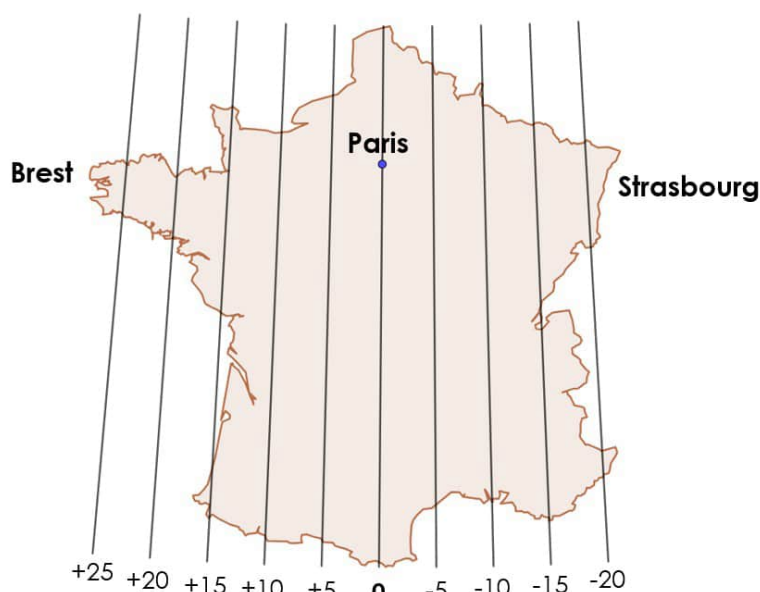


FIG. 1 – Décalage horaire en France en minutes par rapport à Paris.

Le méridien de Greenwich n'est pas représenté ici, mais il correspond à un décalage horaire de 9 minutes et 21 secondes. Il est donc très proche du méridien indiqué pour +10 minutes.

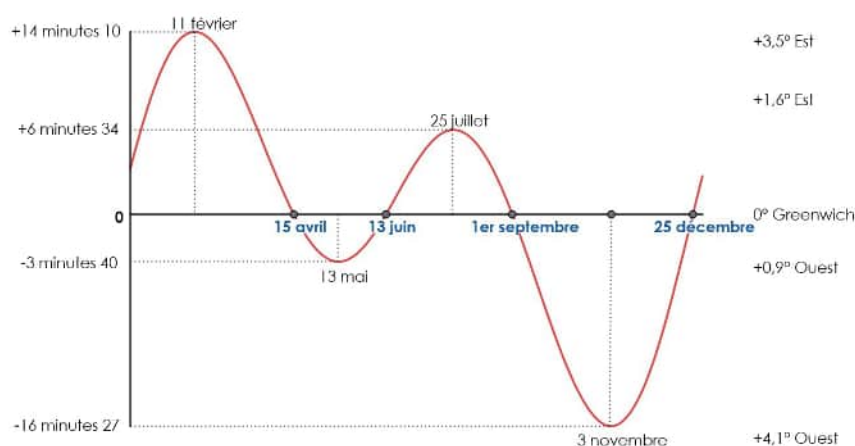


FIG. 2 – Équation du temps pour 2026 (et équivalence en longitude).

Les valeurs de l'équation du temps ont été obtenues à partir des éphémérides de l'IMCCE, en partant de l'heure de passage du soleil au méridien d'un lieu en France situé sur le méridien de Greenwich.

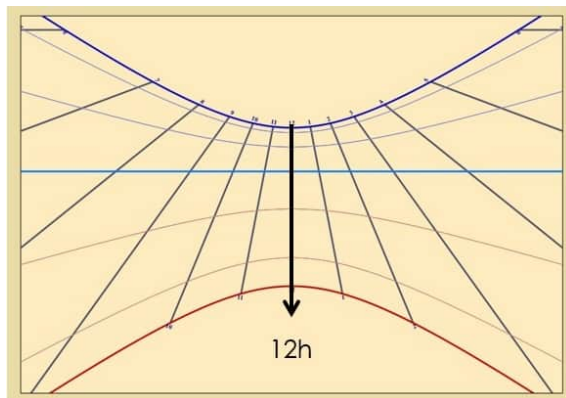
Ce n'est pas très compliqué pour le spécialiste, mais trois ajustements, c'est trop pour la plupart des gens !

Plusieurs solutions ont déjà été proposées.

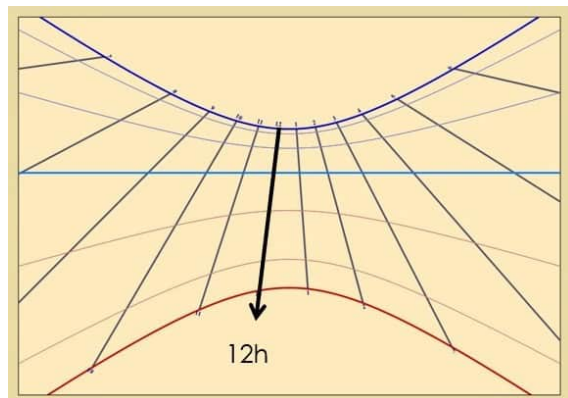
On peut tout d'abord faire en sorte que le cadran solaire donne l'heure légale. Pour cela on intègre les trois ajustements décrits ci-dessus.

Ces corrections peuvent être pratiquées de deux façons principales : en modifiant le tracé, ou en modifiant le style. Le tableau ci-dessous résume les possibilités par rapport aux trois ajustements décrits :

	1. Heure d'été / heure d'hiver	2. Décalage de longitude	3. Équation du temps
Modifier le tracé	• Dédoubler la numérotation des lignes horaires • (ou, carrément, dédoubler le cadran)	• Décaler les lignes horaires (voir figure 3 ci-dessous)	• Inscrire des courbes en 8 sur les lignes horaires
Modifier le style	• Un long, un court (les changer deux fois par an)	• Décaler ou tordre le style (théoriquement possible, mais très rare en pratique)	• Déplacer le style • Réaliser un style de forme complexe



(a) Heure solaire non corrigée : le trait de midi est vertical



(b) Heure solaire décalée de la longitude : le trait de midi n'est plus vertical. Cette solution est peu esthétique et donc rarement mise en œuvre.

FIG. 3 – Illustration de la modification du tracé pour corriger de la longitude. Simulation sur Shadows pro pour un cadran vertical déclinant vers l'Est installé dans le Var (près de 6° Est de longitude).

Il existe encore d'autres façons de donner l'heure légale sur un cadran solaire. Par exemple, un cadran exceptionnel existait dans le parc d'attraction « Le Village Gaulois », en Bretagne. Il donnait l'heure légale, grâce à un ajustement pratiqué tous les jours par l'équipe de médiation scientifique (voir article Le « **Village Gaulois** » et son cadran par Jean-Paul Cornec, dans *Cadran-Info* n°51, de mai 2025).

Ces ajustements sont une solution, mais le cadran solaire devient complexe, alors que le public considère à juste titre que c'est un instrument simple. Et en effet, d'un point de vue astronomique, ce qui est compliqué ce n'est pas le cadran, c'est le temps moyen de nos montres !

Outre la complexité de ces ajustements, lorsqu'on les met en œuvre, le cadran solaire perd une chose essentielle : s'il donne l'heure légale, il ne donne plus l'heure solaire (ou alors on augmente encore la complexité en le dédoublant) !

Une autre solution consiste à ne pas modifier le cadran, mais à donner une table d'ajustement, pour tous les jours de l'année (ou au moins pour quelques jours, la précision ainsi atteinte restant acceptable). Quelques cadrans solaires sont accompagnés de telles tables. Par exemple, le cadran dit « du baromètre » à La Ciotat, récemment rénové (Figure 4).



FIG. 4 – Le cadran du Baromètre à La Ciotat avec ajustement de l'heure légale. (inv. SAF :13028001-03 et inv. SAF : 13028001-04).

Les photos sont de l'auteur. Le cadran est réputé dater de 1873, soit avant l'invention de l'heure d'été. Les inscriptions sont donc forcément postérieures (et rénovées récemment : http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/autres_depts/bouches_du_rhone/cs_13_marseille.php). Les photos sur le site de Michel Lalos montrent des inscriptions à peine visibles.

On note que le cadran indique l'ajustement aux « heures d'été » (figure 4b) pour tous les mois de l'année, y compris janvier et février et de la même façon (figure 4c) pour les « heures d'hiver », y compris pour juillet et août. L'explication pourrait se trouver dans le fait que les dates de passage de l'une à l'autre n'ont été normalisées que dans les années 1970 : dernier dimanche de mars et dernier dimanche d'octobre. On note aussi que le cadran propose de retrancher pour les heures d'hiver. Cela est dû au fait que La Ciotat se situe à 5,6° de longitude Est, ce qui correspond à plus de 22 minutes de décalage horaire, soit plus que le maximum positif de l'équation du temps. Ainsi, en effet ce cadran sera toujours en avance sur l'heure légale (il faudra toujours retrancher) ... à condition d'appliquer l'heure de Greenwich (GMT), ce qui n'est plus le cas depuis la Seconde Guerre mondiale. Avec ces deux remarques, on peut dater ces inscriptions : elles ont nécessairement été écrites entre 1917 (invention de l'heure d'été) et l'Occupation (application de GMT+1). Lors de la rénovation du cadran, ce fait a-t-il été noté ? Pour utiliser le cadran de nos jours, il faut ajouter une heure à tous ces ajustements !

La table d'ajustement est donc aussi une solution, mais elle exige la lecture d'un panneau, en plus de celle du cadran, ce qui n'est pas évident. Et surtout, elle n'est pas pédagogique : elle ne donne aucune explication sur la justification de l'ajustement.

Le Papophoplon résout toutes ces difficultés.

2 L'instrument

Le Papophoplon se présente sous la forme d'un disque d'une quinzaine de centimètres de diamètre (voir figure 5).

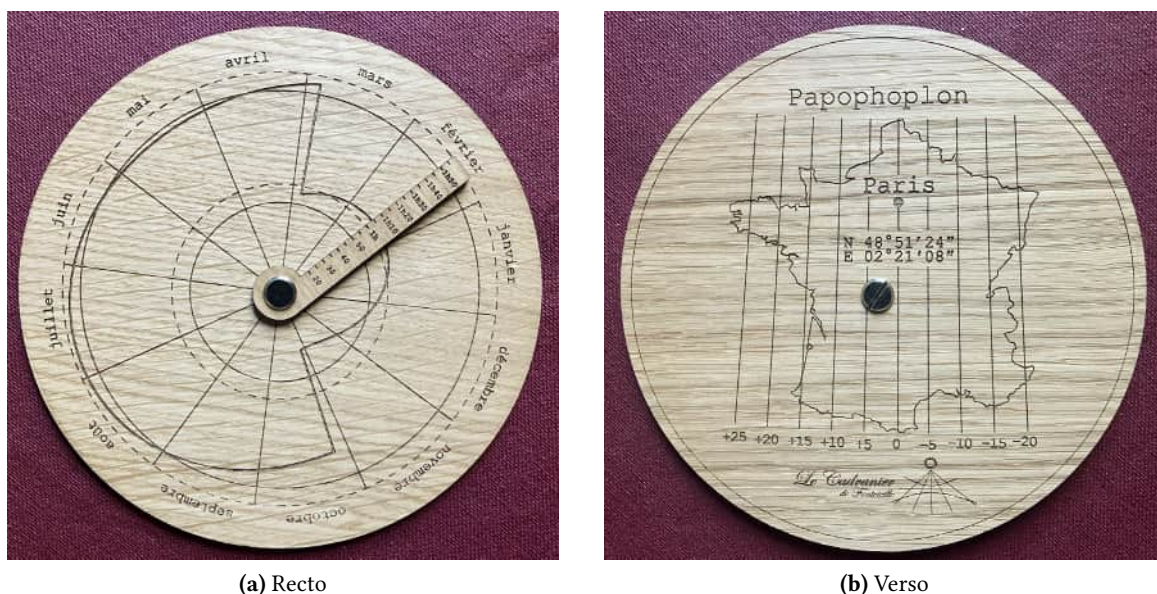


FIG. 5 – Vue d'ensemble du Papophoplon

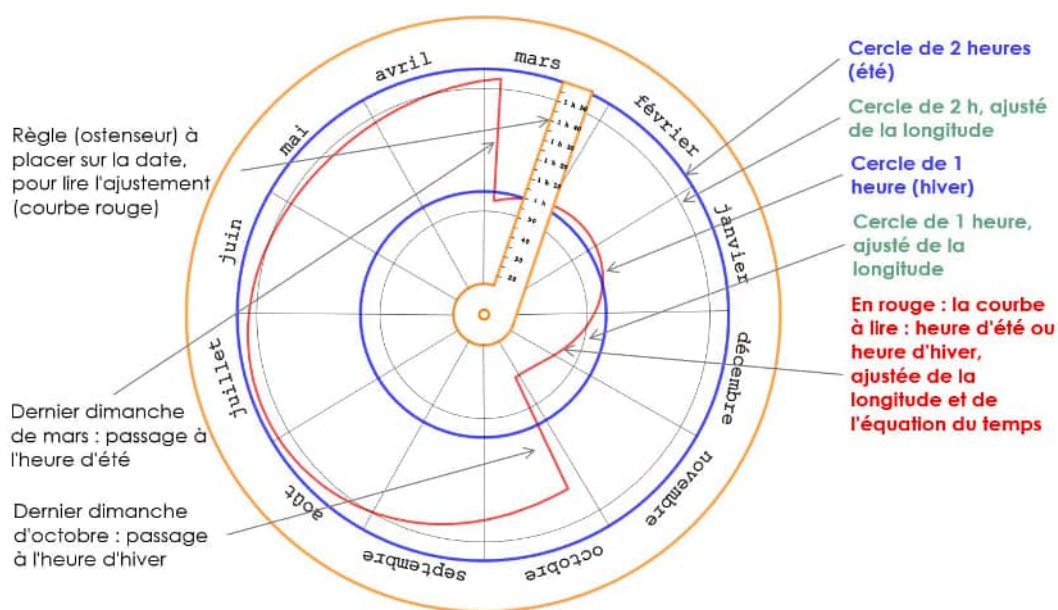
Fonctionnement : au recto, un ostenseur, ou volvelle, c'est-à-dire une aiguille graduée, tourne autour de l'axe central pour pouvoir être positionnée en face de la date du jour. La graduation permet de lire sur la courbe épaisse l'ajustement entre l'heure solaire et l'heure légale. Cet ajustement est la quantité, en minutes, qu'il faut ajouter à l'heure lue sur un cadran solaire pour obtenir l'heure légale.

Au verso, on trouve l'ajustement complémentaire à effectuer, si l'observateur n'est pas à l'endroit pour lequel le Papophoplon a été calculé. Ici, l'instrument est calculé pour Paris : c'est donc la quantité à ajouter au cadran si l'on est à l'Ouest de Paris, ou à retrancher, si l'on est à l'Est. La carte de France est graduée de 5 minutes en 5 minutes. Bien que calculé pour un lieu donné, l'instrument est donc en pratique « universel », au moins pour la France métropolitaine.

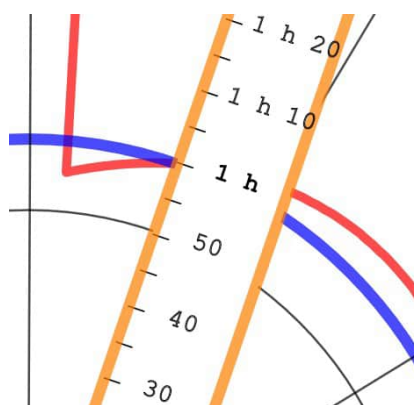
La figure 6 en donne une description plus détaillée.

Le grand cercle bleu représente deux heures, correspondant à l'ajustement dû à l'application de l'heure d'été. Le petit cercle bleu, concentrique au premier, correspond à un ajustement d'une heure, à appliquer en heure d'hiver.

Deux cercles plus petits (en gris, avec explication en vert sur la figure 6 page suivante), leur sont immédiatement concentriques : il s'agit des cercles précédents, ajustés pour la longitude du lieu. Ici, l'instrument présenté est calculé pour Paris. L'ajustement est donc de 9 minutes et 21 secondes,



(a)



(b) Zoom sur la partie centrale.

FIG. 6 – Présentation détaillée du Papophoplon (ici, calculé pour Paris).

Commentaires sur la figure 6b :

- La valeur de l'ajustement est lue sur l'ostenseur à partir de la courbe rouge : 1 h. Ce jour, il faut rajouter une heure au cadran solaire pour avoir l'heure légale.
- Le 13 mars, le cercle bleu (une heure) intersecte la courbe rouge. L'équation du temps (+566 secondes) est l'opposé de l'ajustement de longitude pour Paris (−565 secondes). Ces deux ajustements s'annulent. Ne reste plus que l'ajustement d'une heure, applicable en heure d'hiver.
- Le cercle gris est lu comme légèrement plus de 50 minutes, car l'instrument est calculé pour Paris.

ce qui correspond au décalage horaire entre Paris et Greenwich. On peut lire sur l'ostenseur que le grand cercle gris correspond à presque 1 h 50 et le petit à presque 50 minutes, Paris étant en avance de 9 minutes et 21 secondes sur Greenwich.

Pour la petite histoire, on se souvient qu'au cours de la conférence internationale de Washington, qui a adopté le méridien de Greenwich comme référence mondiale en 1884, la France, qui proposait le

méridien de Paris, s'est abstenue lors du vote. Lorsque la décision a été prise en faveur de Greenwich, la France a appliqué « le temps moyen de Paris, décalé de 9 minutes et 21 secondes », pour ne pas faire expressément référence à Greenwich ! Voir aussi « Quelle heure est-il ? Rappel des textes définissant l'heure légale en France », article de A. Gougenheim, dans *L'Astronomie*, Vol. 78, p. 465, paru en 1964. Il fait observer que l'heure « légale » n'est à l'époque pas définie par une loi, mais par un empilement de décrets, et que le législateur semble avoir du mal à définir l'heure sans faire référence à Greenwich.

Papophoplon : pourquoi ce nom ?

Hoplon En grec ancien hoplon (ὅπλον), signifie arme et par extension, outil, instrument. Les hoplites étaient des soldats lourdement armés. On retient ici le sens d'instrument.

PAPOP Signifie son usage dans différentes langues :

fr Pour s'**A**juster en **P**ermanence sur l'**O**bservatoire de **P**aris

es Para **A**justar en **P**ermanencia a l'**O**bservatorio de **P**aris

en **P**recision **A**pparatus for **P**arameters of **O**fficial and **P**hysical **H**ours

it **P**er **A**ggiustare **P**erpetualmente all'**O**ra di **P**arigi

de **P**räzisions-**A**npasser für **P**hysische und **O**ffizielle **P**arameter

3 L'utilité de l'instrument

La fonction première du Papophoplon est de donner, pour tous les jours de l'année, l'ajustement qu'il faut apporter à un cadran solaire pour avoir l'heure légale. Dans l'autre sens, il permet aussi de connaître l'heure solaire à partir de l'heure légale. Ainsi, il permet de savoir à quelle heure à la montre le soleil sera exactement au sud (midi solaire).

En ce sens, le Papophoplon n'est pas nouveau. Il existe d'autres façons de connaître l'ajustement entre l'heure solaire et l'heure légale : plusieurs sites et applications le permettent. D'ailleurs, nous donnons nous-même une version en ligne du Papophoplon : <https://lecadranier.com/fabriquez-votre-propre-papophoplon/>.

En réalité, l'intérêt de l'instrument est ailleurs : c'est un outil extrêmement intéressant pour la médiation scientifique.

Avant tout, c'est un instrument qu'il faut manipuler.

Dès qu'on voit l'instrument, on comprend qu'il y a quelque chose à tourner. Ma petite-fille de deux ans fait tourner l'ostenseur dès qu'on lui met l'instrument entre les mains. Et à partir du moment où on sait lire, on aura naturellement envie de positionner l'ostenseur sur la date du jour. On ne pourra alors pas manquer de lire les valeurs affichées pour le jour en question. Découvrir un cercle à deux heures, puis un autre à une heure (tous les deux en pointillés sur la figure 5a). Et de fil en aiguille, comprendre quelque chose.

La prise en main est le début de la compréhension, ce que ne permettent ni un tableau explicatif, ni une application.

Ainsi, le Papophoplon, instrument simple et « *low tech* », est le complément naturel d'un cadran solaire, tout aussi simple et *low tech*. Il est particulièrement adapté au public d'aujourd'hui, qui ne

connaît que l'heure légale, et qui peut, s'il le souhaite et à son rythme, commencer à apprendre sur le temps et l'astronomie.

La France dispose d'un patrimoine inestimable de cadrans solaires : près de 40 000, selon l'inventaire des cadrans solaires réalisé par la Commission des Cadrans Solaires ! Autrefois utiles, ils ne remplissent aujourd'hui plus qu'une fonction vaguement décorative. Comme les hiéroglyphes, le public ne sait plus les lire.

Si on leur adjoint un Papophoplon, ils se mettent à parler à nouveau : ils donnent la seule heure que les gens connaissent, tout en conservant leur message d'origine. Et ils permettent de prendre le chemin qui mène vers une meilleure compréhension du temps et de l'astronomie.

4 Bénéfices complémentaires : un instrument riche d'enseignements

Le Papophoplon permet beaucoup d'autres choses, que l'on peut exploiter lors d'un atelier scolaire, par exemple.

Combien de temps dure l'heure d'été ? Avant toute chose, l'ajustement heure d'été heure d'hiver est évident. On se rend alors compte que l'heure d'été est appliquée 7 mois, contre 5 pour l'heure d'hiver. Le saviez-vous ?

Ensuite, puisque l'instrument comporte des cercles et une courbe, on peut s'interroger sur les intersections.

Jours où l'équation du temps est nulle. L'intersection entre un cercle plein (figure 5) ou gris (figure 6) et la courbe de l'ajustement donne les jours où l'équation du temps est nulle.

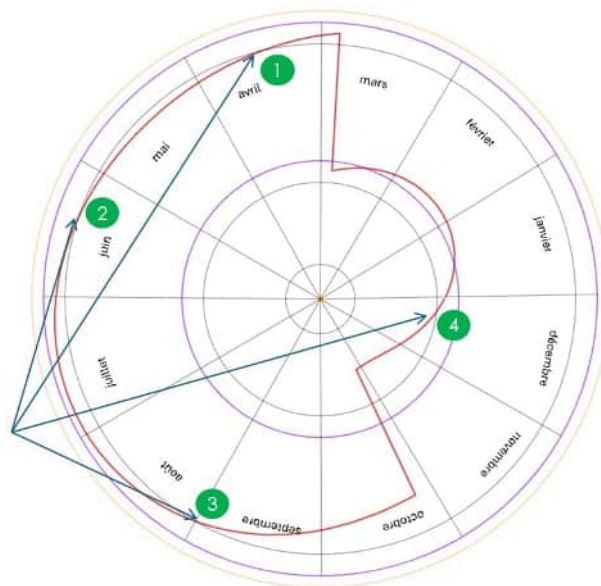


FIG. 7 – Jours où l'équation du temps s'annule. Intersection de la courbe rouge et d'un des cercles gris : le 15 avril, le 12 juin, le 1^{er} septembre et le 25 décembre (légèrement variable, selon les années).

Jours où la différence est un chiffre rond. L'intersection entre la courbe pleine (figure 5) ou rouge (figure 6) et les cercles pointillés (sur la version en bois) ou bleus (sur la version papier) donne les jours où la différence entre l'heure solaire et l'heure légale est un chiffre rond.

Nous donnons en figures 8 à 11 quelques exemples élaborés avec des Papophoplons calculés pour différents lieux. Nous avons également développé une application qui permet de visualiser, pour toute longitude, les jours où l'équation du temps s'annule (www.lecadranier.com).

FIG. 8 – Jours où la différence entre l'heure solaire et l'heure légale est un compte rond (1 h ou 2 h) :

Intersection de la courbe rouge et d'un des cercles violets (pour le lieu donné).

À Paris, c'est le 15 janvier et le 13 mars, la différence est alors d'une heure exactement (cela ne se produit pas en été, mais on s'en approche le 25 juillet, à 3 minutes près).

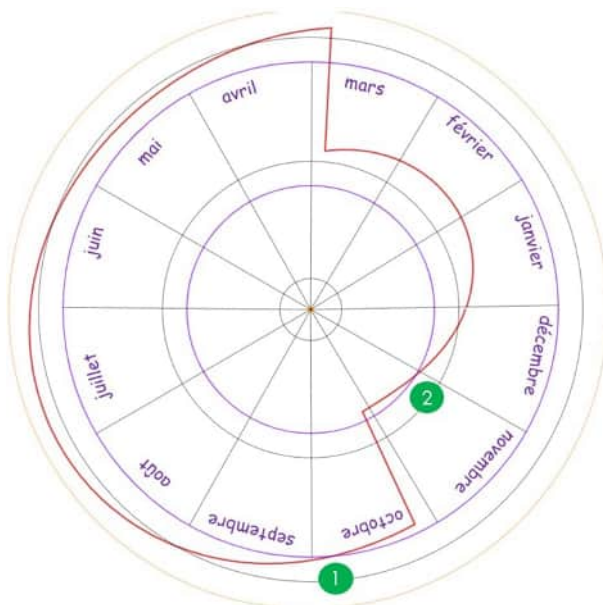
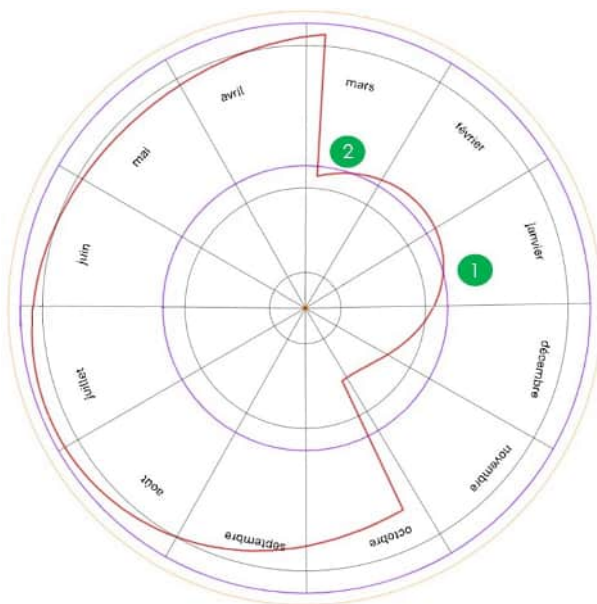


FIG. 9 – Jours où la différence entre l'heure solaire et l'heure légale est un compte rond (1 h ou 2 h) :

Intersection de la courbe rouge et d'un des cercles violets (pour le lieu donné).

À Crac'h, en Bretagne, cela ne se produit que 2 fois dans l'année :

- le 6 octobre (2 h d'écart entre le cadran et la montre) et
- le 28 novembre (1 h d'écart).

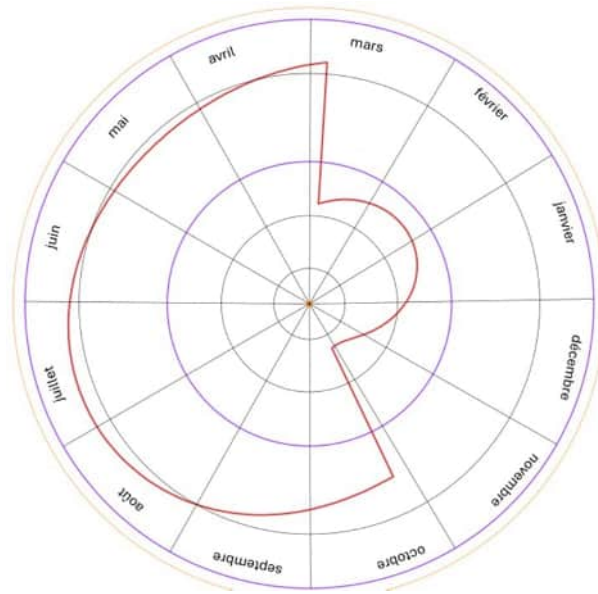


FIG. 10 – À Fontvieille (L’Hospitalet dans les Alpes de Haute Provence), $5^{\circ} 42' 16''$ à l’est de Greenwich, l’écart de longitude correspond à plus de 22 minutes, ce qui est supérieur au maximum de l’équation du temps. La courbe rouge ne croise jamais un des deux cercles violets.
Il n’y a donc aucun jour de l’année où la différence entre l’heure légale et l’heure solaire est un chiffre rond (1 h en hiver ou 2 h en été).

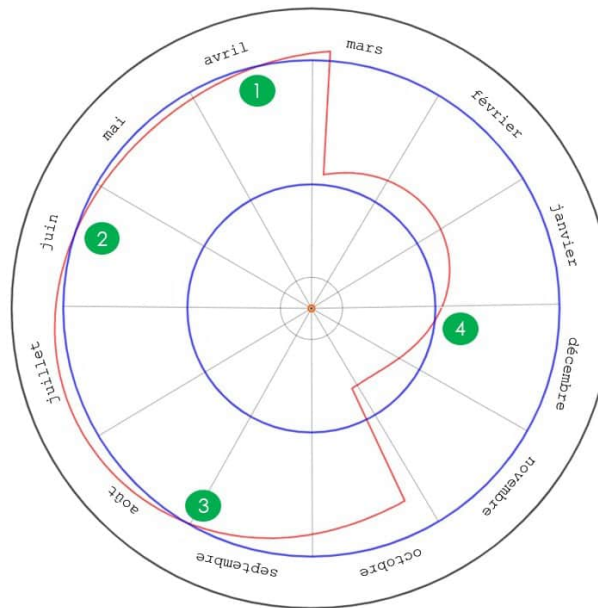


FIG. 11 – Jours où la différence entre l’heure solaire et l’heure légale est un compte rond (1 h ou 2 h) :

Intersection de la courbe rouge et d’un des cercles violets (pour le lieu donné).

À Trouville (Normandie), située sur le méridien de Greenwich, les cercles bleus et gris sont confondus, on retrouve donc les jours où l’équation du temps est nulle.

Quelle heure est-il lorsque le soleil passe exactement au sud le jour de votre anniversaire ?

Midi solaire, l’instant où le soleil passe exactement au méridien d’un lieu, n’est pas évident à observer.

Il faut un instrument adapté, ou un point remarquable à distance dans le paysage.

Avec une montre et un Papophoplon, on peut facilement calculer à quelle heure le soleil passe au méridien chaque jour de l'année, et donc le jour de votre anniversaire !

Le lieu pour lequel l'instrument a été calculé se trouve-t-il à l'est ou à l'ouest de Greenwich ?

En remarquant dans quel sens est pratiqué l'ajustement par rapport au cercle de 2 heures ou au cercle d'une heure, on peut déterminer pour quel lieu le Papophoplon a été calculé.

En effet, si le trait est vers l'intérieur, c'est que l'instrument est calculé pour l'est du méridien de Greenwich. S'il est à l'extérieur, c'est que l'instrument est calculé pour l'ouest.

Encore un questionnement intéressant que l'on peut soumettre au groupe lors d'un atelier pratique !

Il y a sans doute d'autres applications que la pratique en atelier nous fera découvrir !

Nous avons même élaboré une application pour trouver midi à 14 heures de façon scientifique ! (www.lecadranier.com) Nous proposons également sur notre site une application permettant de calculer un Papophoplon pour tout lieu (application bilingue français/anglais).

5 Conclusion

Le Papophoplon est simple et simple d'utilisation. Il est néanmoins riche et peut permettre de mettre en valeur le patrimoine et de développer la culture scientifique.

Nous proposons d'installer un Papophoplon à côté de chaque cadran solaire !

Une anecdote inquiétante (si elle se confirme) qui montre l'intérêt du Papophoplon

Lors de la conférence qui s'est tenue pour marquer la Journée Mondiale des Cadran solaires, le 20 mars 2026 (WSD-OC : *World Sundial Day — Online Conference*), à l'occasion de laquelle j'ai présenté le Papophoplon¹, un participant nous a raconté l'histoire suivante.

Habitant près de Los Angeles et bon connaisseur des cadrans solaires, il visitait l'Observatoire Griffith, haut lieu de vulgarisation scientifique en Californie. En regardant le célèbre cadran solaire, il constata que celui-ci donnait l'heure de sa montre. Soupçonneux (et ne disposant pas d'un Papophoplon pour voir si c'était juste), il est allé voir les équipes de médiation scientifique, qui lui ont expliqué que le cadran est réorienté tous les deux ou trois jours, pour donner l'heure légale !

Voir la présentation sur YouTube :

<https://www.youtube.com/watch?v=U9rNyXeKCSY&list=PLXnHqH5AQBfZrIiU6j2GuJqNQylxht3w&index=15>

La présentation est en anglais, activer les sous-titres, si nécessaire. Si vous ne voulez pas en voir l'intégralité, l'anecdote est discutée à partir de 22 minutes 30.

1. https://www.youtube.com/watch?v=fAI1_fNmFmk&list=PLXnHqH5AQBfZrIiU6j2GuJqNQylxht3w&index=11.

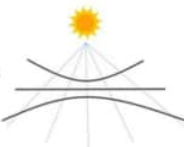
Christophe Marion (avec son épouse) a remporté une Médaille d'Argent pour son "Papophoplon".



de A à Z ...

(...) le site web amateur ou professionnel des membres de la CCS consacré à la gnomonique ou abordant ce domaine

*Le Cadranier
de Fontvieille*



Des cadrans solaires pour le XXI^e siècle !

MARION Christophe : <https://lecadranier.com/>

La place d'Abū-Bakr (début du XIII^e siècle) dans l'histoire des astrolabes planisphériques maghrébo-andalous

par ÉRIC MERCIER

MOTS CLEFS

Astronomie andalouse ;
astrolabe planisphérique ;
al-Andalus ; Maghreb ;
XIII^e siècle ; Abū-Bakr ;
Muhammad b. Fattūh
al-Khamā'irī.

RÉSUMÉ

Les astrolabes maghrébo-andalous sont des instruments de bonne qualité scientifique qui ont des spécificités notables par rapport aux autres astrolabes arabo-musulmans. À l'époque d'activité d'Abū-Bakr, au début du XIII^e siècle, deux de ces spécificités ont subi une évolution rapide que l'on peut qualifier de rupture. Cet article pose la question de l'implication d'Abū-Bakr dans ces ruptures et conclut qu'il n'était pas seulement un « habile artisan », mais aussi un authentique scientifique.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Pour les spécialistes et les amateurs francophones d'astrolabes, Abū-Bakr (première moitié du XIII^e siècle, Marrakech) est célèbre car le hasard a voulu que ce furent deux de ses instruments qui ont servi de support aux deux principaux ouvrages qui ont fondé la science des astrolabes en langue française : les ouvrages de Sarrus (1852) et D'Hollander (1999). Ceux-ci étudient dans le détail les astrolabes d'Abū-Bakr conservés respectivement à Strasbourg et Toulouse (voir Mercier 2025a), et sont apparus, en leurs temps, comme des ouvrages de référence de tout premier ordre ... ce qu'ils sont toujours d'ailleurs !

Mais cette constatation ne rend pas justice à l'importance intrinsèque de l'œuvre d'Abū-Bakr. Je me propose de montrer dans les lignes qui suivent pourquoi Abū-Bakr était très probablement un authentique scientifique qui, vivant à une période charnière dans l'histoire des astrolabes planisphériques maghrébo-andalous, a une place particulière dans la mise en place d'une tradition originale qui va perdurer jusqu'au XIX^e siècle. Cet article fait suite à la publication d'un catalogue raisonné de ses œuvres (Mercier, 2025a).

1 L'origine de la tradition maghrébo-andalouse des astrolabes

Le plus ancien astrolabe planisphérique arabo-musulman connu (VIII^e siècle) est celui qui était conservé au Musée de Bagdad¹ jusqu'à sa disparition lors de l'invasion de l'Irak par les troupes américaines. Stautz (1999, p. 14) puis King (2014, p. 403–437), qui ne disposaient que de photos anciennes et de mauvaise qualité, ont pu néanmoins montrer que cet instrument était directement inspiré par la science hellénistique et/ou byzantine transmise dans les traités de Jean Philopon (VI^e siècle) ou de Sévère Sabokt (VII^e siècle). On note par exemple une liste d'étoiles qui est proche des listes byzantines disponibles (King 2014, p. 423), mais aussi le fait que la position des étoiles de l'instrument de Bagdad a été établie en utilisant les coordonnées données par Ptolémée dans l'*Almageste*, corrigées de la valeur erronée de la précession fournie dans le même ouvrage.

Dès le siècle suivant, des savants du Moyen-Orient ont écrit des textes proposant des améliorations de l'instrument. Parmi ces suggestions on retiendra : l'introduction de lignes d'azimut sur les tympan², de lignes matérialisant les heures de prières³, du diagramme des heures inégales⁴, d'un double calendrier (julien et zodiacal) qui permet de connaître la longitude écliptique du Soleil chaque jour de l'année solaire⁵, et surtout de la prise en compte d'une valeur plus réaliste de la précession⁶. Mais ces innovations n'ont pas été immédiatement adoptées sur les instruments orientaux ou, et c'est le plus fréquent, elles ont été simplement ignorées et oubliées. Inversement, dans l'occident musulman (Maghreb et *al-Andalus*) une tradition originale et novatrice va prendre forme sous l'impulsion de Maslama al-Majrīṭī (950–1007) et de ses disciples.

On peut caractériser l'émergence de cette nouvelle tradition grâce à plusieurs sources complémentaires dont les principales sont :

- le *ms BnF Paris arabe 4821* qui contient des commentaires de Maslama al-Majrīṭī sur le *Planisphaerium* de Ptolémée mais aussi des textes « indispensables pour qui voudrait construire un astrolabe » (*sic*) qui incluent notamment (*f. 81v*) une table de 21 étoiles « à mettre sur un astrolabe » (*sic*) avec leurs coordonnées écliptiques (Kunitzsch 1980, Samsó 2000a).
- le traité sur l'usage de l'astrolabe (édité et traduit en Catalan par Viladrich i Grau, 1986) signé ibn al-Samḥ (979–1035), un élève de Maslama al-Majrīṭī.
- le *ms BnF Paris latin 7412* qui date du milieu du XI^e siècle, mais dont les illustrations représentent fidèlement un astrolabe andalou qui daterait de la fin du X^e siècle (Kunitzsch 1998, Borrelli, 2008) et qui est signé par ibn al-Mu'ad, dont on ne sait rien.
- une douzaine d'astrolabes dont les plus anciens (1026 et 1029) sont signés par Muhammad ibn al-Saffar (XI^e siècle) qui était le frère du célèbre astronome de Cordoue : Ahmad ibn al-Saffar (?–1035) dont on sait qu'il fut également un élève de Maslama al-Majrīṭī.

On peut déduire de ces sources que les principales innovations qui ont été adoptées à cette époque (X–XI^e siècle) dans l'occident musulman sont les suivantes :

1. n°9723, Musée archéologique de Bagdad (Dār al-Athār). Illustrations dans King 2014, p. 412–13.
2. Invention d'al-Khwārizmī (780–850) d'après D'Hollander (1999, p. 17). Celle-ci sera appliquée rapidement en occident musulman (*cf. infra*), mais de façon beaucoup plus lente au Moyen-Orient où elle ne se généralisera qu'au XIII^e siècle.
3. Suggestion d'al-Bīrūnī (c. 973–1048) (voir Kennedy, 1976, p. 231); en dehors de l'occident musulman, elle ne sera adoptée que de façon très marginale. Notons que cette adoption par l'occident musulman ne semble pas pouvoir être reliée à al-Bīrūnī dont les travaux étaient inconnus dans cette partie du monde musulman.
4. Invention probable d'al-Khwārizmī (King, 2014, II, p. 216–217).
5. Cette invention est attribuée à Nastulus, fabricant d'instrument du début du X^e siècle probablement à Bagdad (Samsó, 2020b, pp. 373–374, d'après des données de David King). Celle-ci sera adoptée rapidement en occident musulman (*cf. infra*), mais oubliée au Moyen-Orient.
6. Valeur déterminée par Thābit ibn Qurra (826–901). Les astrolabistes tiendront compte de cette correction au moins dès le X^e siècle, aussi bien à l'Ouest qu'à l'Est.

- introduction de lignes marquant les moments des cinq prières canoniques de l’Islam sur les tympans⁷ La présence de ces lignes sur des astrolabes planisphériques restera par la suite une quasi exclusivité de l’occident musulman.
- introduction d’un double calendrier (julien et zodiacal) à l’arrière de la mère. Comme les prières, cette innovation restera une spécificité de l’Ouest.
- ajout des courbes d’azimut sur les tympans. Cet ajout ne sera réellement adopté au Moyen-Orient que deux ou trois siècles plus tard : à partir du XIII^e siècle (voir le Répertoire de Brioux et Maddison 2021).
- utilisation de la liste d’étoiles de Maslama al-Majrīṭī. Cette liste évoluera par la suite, mais elle restera la référence pour les astrolabes maghrébo-andalous de toutes époques, et pour les astrolabes latins jusqu’au XVI^e siècle (Kunitzsch, 1966).

Il est certain que les deux premières innovations citées (double calendrier et lignes de prières) ont été introduites pour permettre une utilisation autonome de l’instrument. En effet, grâce à ces éléments il est aisé de déterminer la longitude écliptique du Soleil (= degré du Zodiaque) d’un jour quelconque et ensuite, de déterminer directement les heures des prières de ce jour ; en l’absence de ces innovations, il est nécessaire de faire appel à des tables numériques pour obtenir le même résultat. On peut d’ailleurs s’interroger sur les raisons qui font que les astrolabistes du Moyen-Orient ne les ont pas adoptées.

2 L’évolution de la tradition maghrébo-andalouse des astrolabes

On connaît actuellement une petite centaine d’astrolabes maghrébo-andalous signés et datés⁸. L’analyse scientifique de ces instruments et notamment l’étude de la précision des tracés et de l’implantation des étoiles montre que l’apogée de cette tradition correspond au XIII^e siècle. Par la suite, la position des étoiles va progressivement se dégrader (voir Mercier 2018 et 2025b)⁹. Ceci témoigne de l’altération de l’information qui était transmise de génération en génération d’astrolabistes¹⁰. Notons également que la position des étoiles erronées présente une forte variabilité d’un astrolabe à l’autre. Celle-ci concerne aussi bien la production d’une époque que celle d’un astrolabiste donné. Il semble donc que ces artisans étaient conscients des erreurs d’implantation et qu’ils ont essayé de les corriger par tâtonnement sur les instruments qu’ils ont fabriqués ensuite. On ne peut que constater le peu de réussite de ces tentatives. Les compétences dans le domaine des mesures célestes ont été en effet perdues assez tôt dans l’occident musulman (Samsó, 2020b).

Par ailleurs, dès le XVI^e siècle, l’Empire ottoman a conquis la partie orientale du Maghreb. Les Ottomans étant hanafites et donc, n’utilisent pas les mêmes règles pour fixer les heures de prières que les populations autochtones, malékites. L’existence de ce nouveau contexte, et de cette nouvelle clientèle, est sensible lorsque l’on envisage le corpus des cadrans solaires et des quadrants astrolabiques (Mercier, 2014 & 2016 ; Jarray 2015). Inversement, les astrolabistes de cette époque semblent

7. Rappelons qu’une telle innovation avait été proposée à peu près à la même époque par al-Bīrūnī (note 3 *supra*), en Ouzbékistan actuel mais il est probable qu’elle soit apparue de façon indépendante en *al-Andalus* dans la mesure où les œuvres d’al-Bīrūnī sont restées quasiment inconnues dans l’occident musulman (voir discussion dans Samsó, 1996).

8. Voir notamment Hernandez-Perez (2018) et de Brioux et Maddison (2021). Ces astrolabes signés et datés représentent grossièrement la moitié des astrolabes maghrébo-andalous connus.

9. On remarquera néanmoins que la précession des équinoxes est toujours correctement prise en compte, contrairement à ce qu’indiquent plusieurs publications datant de la fin du XX^e siècle (Poulle (1956, 1977), Dekker (1992), Kunitzsch (1980), Dekker & Kunitzsch (1996), Maddison in Maddison & Savage-Smith (1997) etc.).

10. Il est peu probable que cette information était transmise sous forme de tables de coordonnées d’étoiles, car la précision de celles qui nous sont parvenues est inférieure à celle des instruments réels, notamment en ce qui concerne la précession (voir Mercier 2018 et note *infrapaginale* précédente).

avoir été incapables de s'adapter et ont continué à représenter les prières comme cela se faisait dans les siècles précédents (Mercier, 2015). Il semble donc que dès cette époque les connaissances scientifiques qui fondent la science des astrolabes aient été perdues par les praticiens qui étaient juste capables de reproduire les méthodes anciennes. Cette situation a continué à se dégrader, et à la fin du XVIII^e siècle, lorsque le sultan de Marrakech, Sidi Mohamed ben Abdallah, a souhaité remplacer les astrolabes de la mosquée des Andalous à Fès, devenus inutilisables, il a été incapable de trouver sur place les compétences pour en réaliser de nouveaux. Il a dû les faire réaliser à Paris, chez « Lenoir, ingénieur du Roy » ... si bien que les astrolabes de cette mosquée possèdent des inscriptions en arabe, mais sont décorés dans un style Louis XVI (Hosotte-Reynaud, 1957).

Si le XIII^e constitue, sur le plan scientifique, l'apogée des astrolabes maghrébo-andalous, cette période constitue également une période de rupture. Celle-ci se manifeste notamment dans les caractéristiques du double calendrier et dans les conventions utilisées pour le tracé des prières. Abū-Bakr, qui fut actif pendant la première moitié du XIII^e siècle, fut un acteur et témoin important de cette rupture¹¹. Dans les lignes qui suivent je me propose d'essayer de préciser la position de cet astrolabiste dans les débats scientifiques qui ont manifestement traversé la communauté des astrolabistes de cette époque.

2.1 L'évolution du double calendrier

Le double calendrier (julien et zodiacal) est déjà illustré sur le *ms BnF Paris arabe 7412*, il est également évoqué dans le traité d'ibn al-Samḥ (chapitre 129, très altéré). Rappelons que la juxtaposition de ces deux calendriers permet de déterminer facilement la longitude éclipstique du Soleil chaque jour de l'année. Comme le Soleil n'a pas une vitesse apparente régulière sur l'écliptique, le dessin de cette partie de l'astrolabe n'est pas trivial. Deux solutions sont envisageables (Fig. 1) :

- soit des calendriers concentriques. Les deux cercles qui matérialisent les calendriers ont un centre commun. En conséquence, les graduations journalières du calendrier civil ne sont pas équidistantes entre elles. Ainsi pour un instrument du XIII^e siècle, la valeur angulaire d'une journée fluctue, théoriquement, entre 0°956 (en été) et 1°015 (en hiver).
- soit des calendriers excentriques. Les graduations du calendrier civil sont régulières (0°986/j), mais son centre est décalé sur la ligne des apsides.

La seconde solution est clairement la plus simple à mettre en œuvre, c'est celle-ci qui a été adoptée en quasi-exclusivité sur les astrolabes du XI^e siècle¹². Par ailleurs, et quelle que soit la solution adoptée, pour que le double calendrier soit juste, il faut que la correspondance entre les échelles julienne et de longitude éclipstique soit correcte, et notamment que l'équinoxe de printemps soit en face de la date exacte (au XI^e siècle, c'était vers le 14 ou 15 mars selon les années). Globalement c'est le cas à cette époque à l'exception des plus anciens instruments ; ceux construits par Muhammad ibn al-Saffar qui sont en retard de 4 à 5 jours¹³.

Après la lacune d'information que constitue le XII^e siècle, on constate que le type de double calendrier change brutalement : la quasi-totalité des astrolabes du XIII^e au XIX^e siècles vont présenter des

11. D'Hollander (1999, p. 79) semble suggérer qu'Abū-Bakr est à l'origine d'un enrichissement de la liste de Maslama, mais on connaît des astrolabes du XI^e siècle, qui contiennent déjà une petite dizaine d'étoiles supplémentaires par rapport à cette dernière.

12. L'astrolabe du *ms BnF Paris arabe 7412* présente des calendriers excentriques. Le seul instrument du XI^e siècle qui fait exception est celui de al-Sabbān (1081-82) conservé à Oxford ; mais on remarquera que cet instrument présente d'autres particularités atypiques ; voir Hernandez-Perez (2018) p. 112-120.

13. La date indiquée sur les astrolabes Muhammad ibn al-Saffar (19 mars) correspond à la date de l'équinoxe de l'époque des traités en langue grecque qui ont guidé les premiers astrolabistes du monde arabo-musulman. Cette correspondance n'est peut-être pas fortuite.

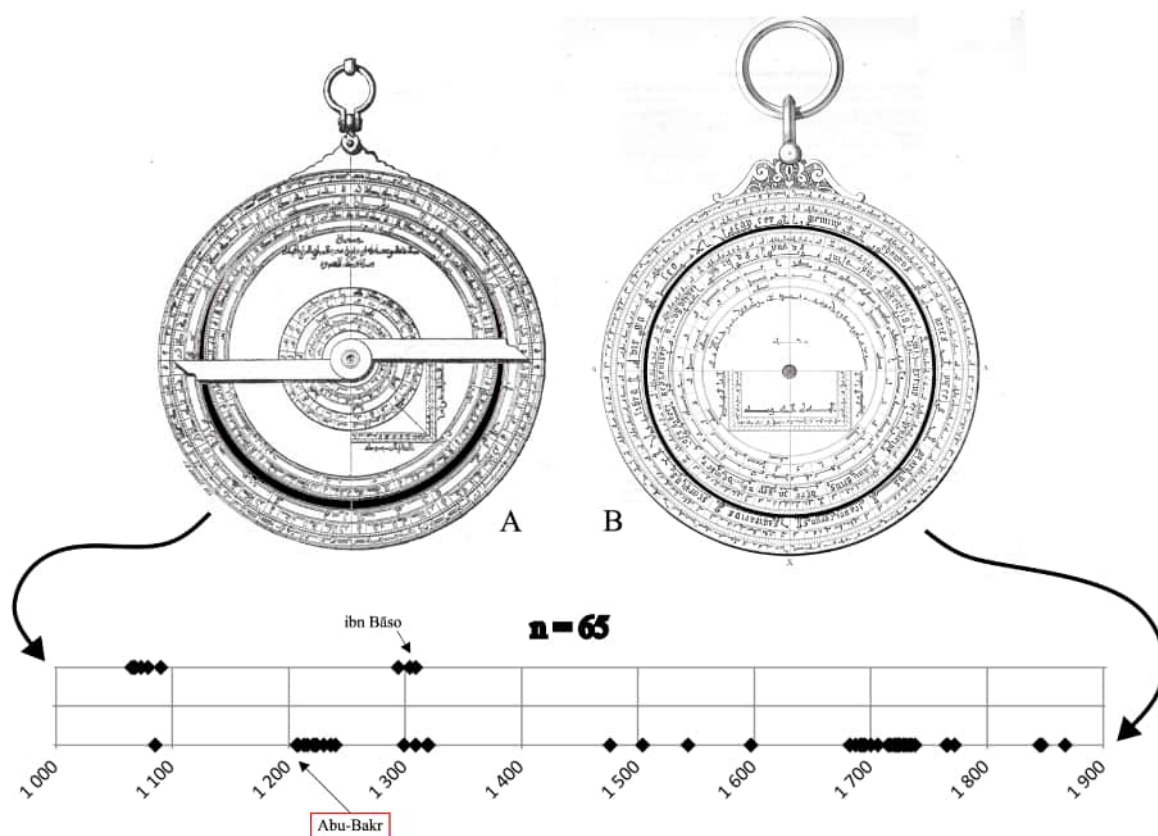


FIG. 1 – L’arrière d’un astrolabe andalou de 1067 (A) et d’un astrolabe marocain de 1208 (B) montrant des doubles calendriers (calendrier julien à l’intérieur et zodiacal à l’extérieur). Le secteur coloré en noir matérialise leur caractère excentrique ou concentrique. En dessous : répartition temporelle des astrolabes maghrébo-andalous selon le type de double calendrier. **A** : astrolabe de Ibrāhīm b. Sa’id as-Sahli al-Asturlābi; conservé au Musée archéologique de Madrid. Dessin d’après Lane-Poole (1880). **B** : astrolabe d’Abū-Bakr ibn Yūsuf; conservé à l’Observatoire de Strasbourg. Dessin d’après Sarrus (1852).

calendriers concentriques¹⁴. On doit se poser des questions sur cette rupture : qui est à l’origine de ce changement ? Et qu’est-ce qui le justifie ? Mais avant de discuter de ces questions, il faut souligner qu’en dépit de la difficulté à réaliser les graduations non équidistantes, ces calendriers concentriques resteront assez corrects¹⁵ jusqu’au milieu du XVIII^e siècle. Par contre, la date de l’équinoxe de printemps perdra en précision, engendrant *de facto* des erreurs dans l’évaluation de la longitude éclipstique du Soleil.

Les deux astrolabistes connus du début du XIII^e siècle (Abū-Bakr de Marrakech et Muhammad b. Fattūh al-Khamā’iri de Séville)¹⁶ peuvent être à l’origine de ce basculement et de sa diffusion. Ce que l’on peut dire c’est que le dessin du double calendrier semble mieux maîtrisé par le premier qui est notamment remarquablement constant dans le choix de la date de l’équinoxe (14 mars, ce qui

14. La seule exception identifiée correspond à la production d’ibn Bāso (Ahmad b. Husayn b. Bāso) (fin du XIII^e-début du XIV^e siècle : trois astrolabes planisphériques connus) qui fut *muwaqqit* de la Grande mosquée de Grenade et qui, par ailleurs, inventa un astrolabe universel.

15. Notamment sur ces calendriers, l’ensemble (été + printemps) est, comme attendu, plus long d’environ une semaine que l’ensemble (automne + hiver).

16. Abū-Bakr : 8 astrolabes connus réalisés de 1206 à 1219 (voir Mercier 2015). Muhammad b. Fattūh al-Khamā’iri : 12 astrolabes connus réalisés de 1207 à 1240.

est correct à cette époque), alors que le second a choisi des dates qui varient entre les 12 et 17 mars, ce qui témoigne sans doute d'une moins bonne compréhension des fondements scientifiques de son métier (?).

Par ailleurs, il faut insister sur le fait que cette rupture ne se justifie en aucun cas sur le plan gnomonique : le double calendrier concentrique est beaucoup plus complexe à dessiner que l'excentrique et il ne facilite en aucun cas l'utilisation de l'instrument. Cette innovation, et son adoption rapide et surtout pérenne, sont donc motivées par d'autres considérations. Elle pourrait être liée à ce que des auteurs (Sabra 1984, Samsó 2020b) ont qualifié de « révolte andalouse contre l'astronomie de Ptolémée » et qui date essentiellement du XII^e siècle. Cette « révolte » correspond à la remise en cause des libertés que Ptolémée avait prises, dans l'*Almageste*, avec la Physique d'Aristote. Parmi celles-ci, l'excentricité de l'orbite du Soleil concentrait les critiques. Ptolémée avait introduit cette excentricité pour rendre compte des différences dans la durée des saisons, mais sa solution impliquait que la Terre perdait sa position au centre de l'Univers ce qui est contraire à un des principaux postulats d'Aristote. Si l'on admet qu'un astrolabe est un modèle réduit de l'Univers géocentrique, l'adoption du double calendrier excentrique peut être considérée comme une acceptation de l'excentricité de Ptolémée. Ce que, on peut le penser, les astrolabistes du XIII^e siècle se refusaient de faire¹⁷ vu l'évolution de l'astronomie à cette époque, dans l'occident musulman.

2.2 Évolution des courbes de prières

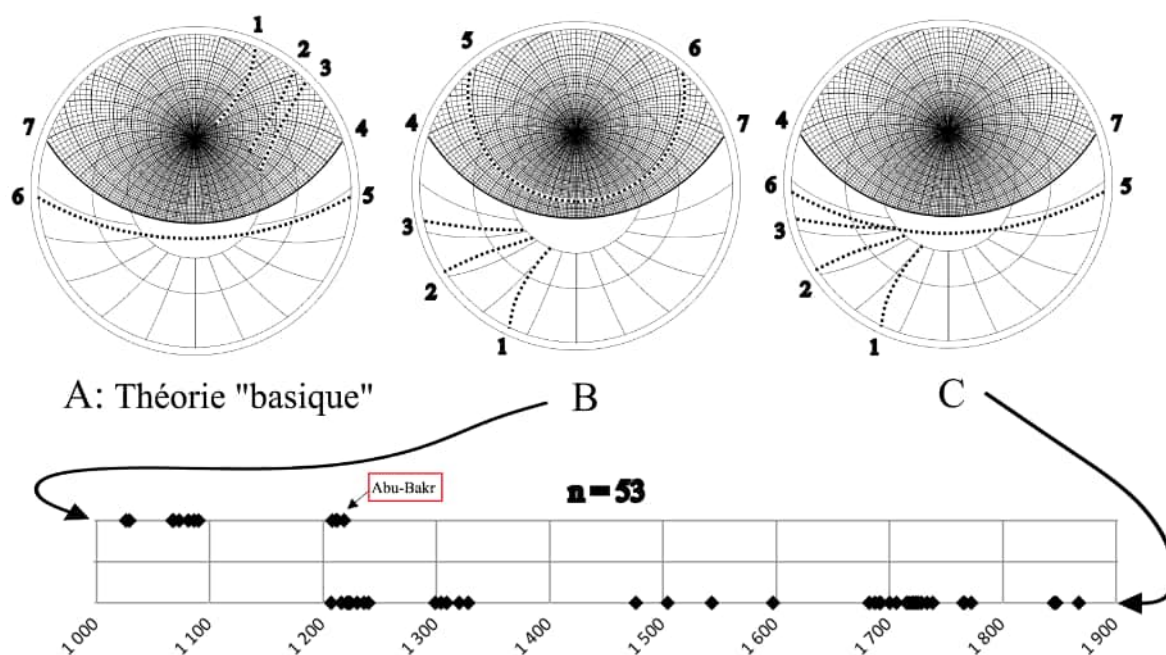


FIG. 2 – Différentes représentations possibles des courbes de prières sur un tympan (voir texte). 1 : début de zuhr andalou; 2 : début de 'asr; 3 : 'asr2 (fin de 'asr); 4 : début de maghrib (coucher du Soleil); 5 : début de 'ishā' (crépuscule du soir à -18° de hauteur solaire); 6 : début de fajr (crépuscule du matin également à -18°); 7 : fin de fajr (lever du Soleil). A : disposition théorique, B : « Inversion » des lignes de prières (voir texte); C : Solution adoptée très majoritairement à partir du début du XIII^e siècle. En-dessous : répartition temporelle des astrolabes maghrébo-andalous selon le type de courbe de prières.

17. La notable exception que constitue la production d'ibn Bāso mériterait une étude particulière, notamment en ce qui concerne son opinion sur l'œuvre de Ptolémée.

Les heures des prières canoniques de l'Islam varient au cours de l'année en relation avec les variations de la déclinaison solaire. La courbe représentant une prière du jour ('asr par exemple) est donc *normalement* localisée sur un tympan entre les deux tropiques et au-dessus de l'horizon (courbe 2 sur la Fig. 2A). En fait, ce mode de représentation des prières n'a jamais été utilisé, car les astrolabistes maghrébo-andalous ont choisi un autre mode que l'on observe déjà sur les plus anciens astrolabes conservés¹⁸, et qui correspond (Fig. 2B) au résultat d'une symétrie axiale des courbes une fois l'échelle de déclinaison de la partie sous l'horizon inversée¹⁹. L'intérêt de cet artifice est de dégager la partie du tympan au-dessus de l'horizon, déjà fort encombrée par les almucantaras et les lignes d'azimuts.

Ce mode de représentation a vite évolué car dès les plus anciens instruments du XIII^e siècle, une troisième configuration (Fig. 2C) apparaît avec les instruments de Muhammad b. Fattūh al-Khamā'irī (Séville). Cette configuration est caractérisée par le renvoi de la courbe des crépuscules dans sa position « normale », sous l'horizon, c'est-à-dire avec les autres courbes de prières. À partir de son apparition, et jusqu'au XIX^e siècle, ce mode de représentation sera le seul adopté par tous les astrolabistes ... à l'exception notable d'Abū-Bakr !

Pas plus que la précédente, cette innovation ne se justifie pas sur le plan gnomonique, en effet : l'almucantarāt +18° est de toute façon représentée sur le tympan, le déplacement de la courbe des crépuscules ne diminue donc pas l'encombrement de la partie du tympan située au-dessus de l'horizon. Par ailleurs ce transfert a l'inconvénient de nécessiter un tracé nouveau, mais surtout il complexifie l'usage de l'astrolabe en imposant l'utilisation de procédures de lecture différentes selon les prières. En fait, cette solution ne présente aucun intérêt, en tout cas je suis incapable d'en trouver un. Son succès quasi hégémonique est d'autant plus surprenant.

Abū-Bakr est donc le seul astrolabiste postérieur au début du XIII^e siècle²⁰ à ne pas avoir adopté cette nouvelle configuration (voir l'inventaire de ses œuvres dans Mercier, 2025a). Sur un seul de ses astrolabes connus, celui de Toulouse (Mercier 2025a ; n°6), il a retenu une solution de compromis en représentant les prières de la nuit selon les deux conventions (Fig. 3). Mais dès l'instrument suivant il est revenu à l'ancienne configuration (Fig. 2B ; voir Mercier 2025a n°7).

Il est donc certain qu'Abū-Bakr connaissait le mode de représentation des prières qui avait été introduit, d'après les données disponibles, par Muhammad b. Fattūh al-Khamā'irī (Fig. 2C), la solution de compromis utilisée sur l'astrolabe de Toulouse en constitue la démonstration. S'il ne l'a pas adoptée de façon systématique c'est clairement suite à un choix assumé et la preuve d'une autonomie intellectuelle affirmée.

18. Astrolabes de al-Saffar (1026-27 et 1029-30), mais c'est aussi la configuration décrite dans le traité de ibn al-Samḥ (Viladrich i Grau, 1986, p. 56-57)

19. La courbe 3 ('asr2) qui indiquait à l'époque la fin de la période favorable à la prière 'asr est parfois absente. Il est très possible que cela témoigne de l'existence d'opinions différentes sur la durée de la période favorable à 'asr.

20. L'unique astrolabe connu de Muhammad b. Yūsuf b. Hātim, daté de 1240-41 (Alder Planetarium Chicago n° M36, ancienne collection Mensing (!) voir Jardine et al 2017, de Clercq 2000 sur cette collection) possède des tympanes qui affichent également les prières de la nuit à +18°. Mais on sait que, en plus de son origine suspecte, cet instrument contient des tympanes de remplacement, et que sur d'autres, les prières du jour sont fautives. Par ailleurs, l'araignée contient des éléments décoratifs gothiques européens (King 2014, p. 872) ... Je n'ai pas tenu compte de cet instrument dans cet essai de synthèse.

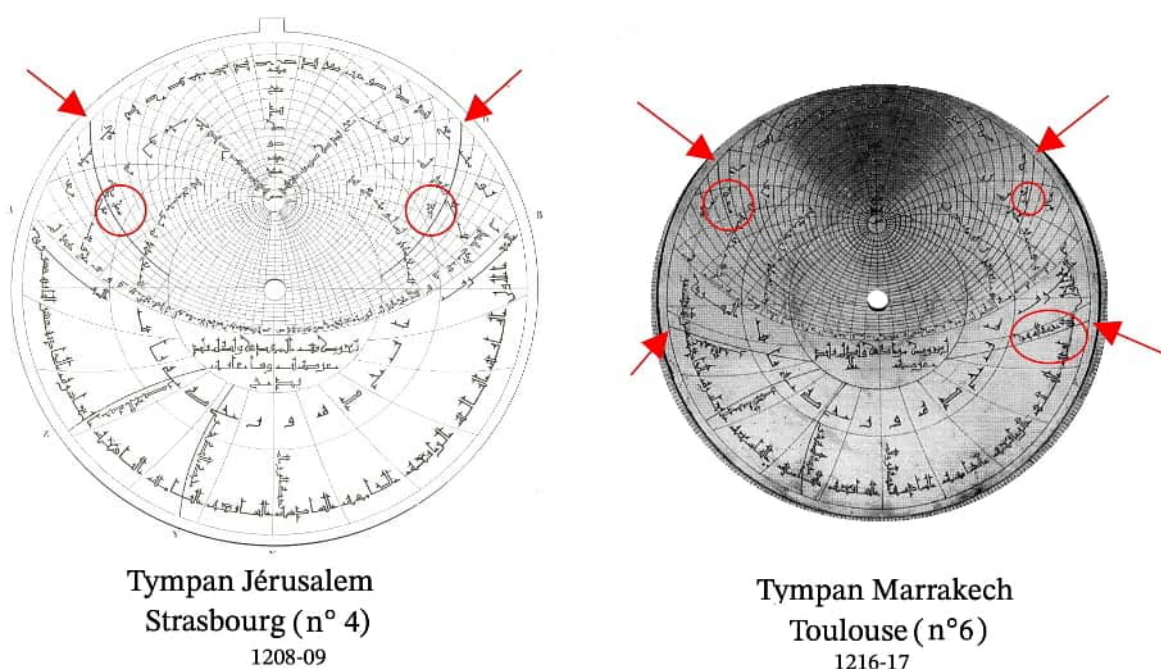


FIG. 3 – Les prières de la nuit sur des tympana des astrolabes n°4 et n°6 (Mercier 2025a). Les flèches indiquent les lignes de crépuscule (début de fajr et 'ishā'); les mentions épigraphiques en lien avec ces moments sont entourées en rouge.

3 Discussions et conclusions

Les astrolabes maghrébo-andalous sont des instruments scientifiquement de bonne qualité et ils constituent une tradition autonome au sein de celle des astrolabes arabo-musulmans. Deux de leurs principales caractéristiques, le double calendrier et la représentation des heures de prières, ont eu une évolution rapide que l'on peut qualifier de rupture, au début du XIII^e siècle. Abū-Bakr est un acteur majeur de ces évolutions, mais ce n'est pas le seul : des astrolabes remarquables, contemporains de ceux d'Abū-Bakr et signés Muhammad b. Fattūh al-Khamā'irī, nous sont aussi parvenus. Cet article suggère qu'Abū-Bakr maîtrisait mieux que son collègue les présupposés scientifiques du double calendrier et a résisté, avec de bonnes raisons, au changement de mode de représentation des prières de la nuit. Si ces hypothèses sont exactes, cela implique qu'Abū-Bakr n'était pas seulement un « habile artisan », mais aussi un authentique scientifique comme ses prédécesseurs du XI^e siècle, et comme ibn Bāso, qui tenta un siècle plus tard de réhabiliter l'excentricité solaire, et qui par ailleurs inventa un astrolabe universel.

Notons enfin que ces « ruptures » brutales se sont rapidement répandues dans l'ensemble Maghreb et al-Andalus, et ont perduré de nombreux siècles. Cette diffusion pose la question des modes de transmission de la connaissance (on peut même parler de *tradition*) à l'intérieur de la profession des astrolabistes.

Références

- [1] Borrelli A., 2008. *Aspects of the Astrolabe : architectonica ratio in tenth- and eleventh- century Europe*. Stuttgart, F. Steiner ed. 272 p.

- [2] Brieux A. & Maddison F., 2022. *Répertoire des facteurs d'astrolabes et de leurs œuvres en terre d'Islam*, Turnhout, Brepols, 2 vol., 1190 p.
- [3] de Clercq P., 2000 : *Scientific Instruments : Originals and Imitations*. The Mensing Collection. Proceedings of a Symposium, held at the Museum Boerhaave, Leiden, 15–16 October 1999. Leiden : Museum Boerhaave, 144 p.
- [4] Dekker E., 1992. « Astrolabes and Dates and Dead-ends », *Annals of Science*, XLIX, p. 175-184.
- [5] Dekker E. & Kunitzsch P., 1996. The stars on the rete of the so-called Carolingian Astrolabe, *From Bagdad to Barcelona, Studies in the Islamic Exact Sciences in Honour of Prof. Juan Vernet*, Barcelona 1996, vol. 2, p. 655-672.
- [6] D'Hollander R., 1999. *L'Astrolabe : histoire, théorie et pratique*, Paris, Institut Océanographique, p. 353-355.
- [7] Hernandez-Perez A., 2018. *Astrolabios en al-Andalus y los reinos medievales hispanos*, Madrid, La Ergastula, 244 p.
- [8] Hosotte-Reynaud M., 1957. Identification d'un des astrolabes de la mosquée des Andalous, *Hesperis*, Librairie Larose, tome XLIV, p. 128, 2 pl.
- [9] Jardine B., Nall J., Hyslop J. (2017) : « More than Mensing? Revisiting the Question of Fake Scientific Instruments », *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 132, 22-29.
- [10] Jarray F., 2015. *Mesurer le temps en Tunisie à travers l'Histoire*, Tunis, Publications de la Cité de Sciences, 177+54 p.
- [11] Kennedy E. S., 1976. *The Exhaustive Treatise of Shadows by al-Biruni, vol. I : Translation*, 281 p., *vol. II : Commentary*, University of Aleppo, 222 p.
- [12] King D. A., 2014. *In Synchrony with the Heavens, vol. 2 : Instruments of Mass Calculation*, Leyde, Brill, 1066 p.
- [13] Kunitzsch P., 1966. *Typen von Sternverzeichnissen in astronomischen Handschriften des zehnten bis vierzehnten Jahrhunderts*, Otto Harrassowitz Verlag, 137 p.
- [14] Kunitzsch P., 1980. « Two Star Tables from Muslim Spain », *Journal for the History of Astronomy*, 11, p. 192-201.
- [15] Kunitzsch, P., 1998. « Traces of a Tenth-Century Spanish-Arabic Astrolabe », *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften* 12 (1998) p. 113–120.
- [16] Lane-Poole S., 1880, *The Story of the Barbary Corsairs*, Putman's & Sons.
- [17] Maddison F. & Savage-Smith E., 1997. *Science, Tools & Magic, The Nasser D. Khalili Collection of Islamic Art, vol. XII*, The Nour Foundation, 446 p.
- [18] Mercier E., 2014 : « Cadrans islamiques anciens de Tunisie », *Cadran-info*, 29, p. 53-65.
- [19] Mercier E., 2015. « Les heures de prières d'après les astrolabes maghrébo-andalous », *Cadran Info*, 32, p. 77-88.
- [20] Mercier E., 2016 : « Les heures de prières sur les quadrants astrolabiques maghrébo-andalous », *Cadran-Info*, 33, p. 122-130.

- [21] Mercier E., 2018. « Les étoiles des astrolabes maghrébo-andalous », *Cadran Info*, 37, p. 56-77.
- [22] Mercier E., 2025a : « Catalogue raisonné des astrolabes d'Abū-Bakr (début du XIII^e siècle, Marrakech) », *Cadran Info*, 52, p. 102-116.
- [23] Mercier E., 2025b : *The scientific evolution of Maghrebo-Andalusian planispheric astrolabes (11th-19th centuries)*. 15th COMHISMA / 1st COAMHISMA Meeting, Cordoba, *sous presse*.
- [24] Poulle E., 1956. « Peut-on dater les astrolabes médiévaux ? », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 9, n°4, 1956, pp. 301-322.
- [25] Poulle E., 1977. « Le traité de l'astrolabe d'Henri Michel », *Revue d'histoire des sciences*, 30-4, pp. 375-376.
- [26] Sabra A.I., 1984. « The Andalusian Revolt Against Ptolemaic Astronomy : Averroes and al-Bitrūjī ». pp. 233-53 in Everett Mendelsohn, ed. *Transformation and Tradition in the Sciences : Essays in honor of I. Bernard Cohen*. Cambridge : Cambridge University Press.
- [27] Samsó J., 1996. « Al-Bīrūnī in al-Andalus », in *From Baghdad to Barcelona/De Bagdad a Barcelona*, 2 vol., Saragosse, p. 583-612.
- [28] Samsó J., 2000a, « Maslama al-Majrīṭī and the star table in the treatise "De mensura astrolabii" ». Menso Folkerts and Richard Lorch (eds.), *Sicitur ad astra. Studien zur Geschichte der Mathematik und Naturwissenschaften. Festschrift für den Arabisten Paul Kunitzsch zum 70. Geburtstag*. Wiesbaden, 2000, pp. 500-522.
- [29] Samsó J., 2020b. *On Both Sides of the Strait of Gibraltar*, Leyde, Brill, 1005 p.
- [30] Sarrus P., 1852 : « Description d'un astrolabe construit au Maroc en l'an 1208 », *Mém. de la Soc. des sciences nat. de Strasbourg*, 42 p.
- [31] Viladrich i Grau M., *El «Kitāb al-'amal bi-l-aṣṭurlāb» (Llibre de l'ús de l'astrolabi) d'Ibn al-Samḥ*, Barcelone, 1986.



L'astrolabe du « barbier de Bagdad » dans les contes des « Mille et une nuits »

par ÉRIC MERCIER

MOTS CLEFS

Astrolabe ; conjonction ; datation astronomique ; horoscope médiéval ; littérature populaire.

RÉSUMÉ

Dans le conte du « *barbier de Bagdad* » tiré des « *Mille et une nuits* », un des personnages prétend mesurer des positions planétaires et autres données astrologiques, en utilisant un astrolabe. Il est possible que l'auteur du conte se soit inspiré d'un horoscope (au sens médiéval du terme) pour rédiger cette partie du texte. Des historiens des sciences contemporains ont proposé d'utiliser cet hypothétique horoscope pour dater la rédaction du conte. Je montre que ces tentatives de datation sont fautives, et que cette démarche est probablement vouée à l'échec.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Les « *Mille et une nuits* » constituent sans doute l'œuvre littéraire en langue arabe la plus connue en occident. Il s'agit d'une série de contes qui s'intègrent dans un récit-cadre dont le personnage central, Shéhérazade, qui est l'épouse d'un sultan et qui est sous la menace d'un fémicide à très court terme, sauve sa vie chaque matin en incitant son époux à différer sa mise à mort pour que celui-ci puisse écouter la suite du conte qu'elle était en train de raconter.

1 L'astrolabe et l'astronomie dans le conte du barbier de Bagdad

Il y a plusieurs allusions à l'astrolabe dans ces contes, généralement dans un contexte astrologique. La plupart du temps, l'instrument n'intervient pas dans l'histoire, il n'est mentionné que comme attribut d'un astrologue (voir : Regourd 1992)¹. Néanmoins dans le conte du « *barbier de Bagdad* » il est plusieurs fois utilisé pour déterminer l'heure, mais aussi pour décrire un contexte astral auquel est donné une interprétation astrologique (Fig. 1). Clairement le contexte astral en question, qui intègre

1. On remarquera que très logiquement l'astrolabe, qui N'EST PAS un instrument de navigation, n'est jamais évoqué dans un contexte maritime ... aventures de « *Sinbad le marin* » ou autres.

la conjonction de « planètes »², ne peut pas être déterminé à l'aide d'un astrolabe. Des auteurs, à la suite de Vernet (1966), ont supposé : (1) que l'auteur du conte décrivait en réalité un horoscope du genre de celui qui est illustré à la figure 2, et (2) que cet horoscope était globalement contemporain de l'écriture du conte. Si ces hypothèses sont correctes, l'analyse des données astronomiques synthétisées dans l'horoscope pourrait permettre de dater la rédaction de ce conte.

FIG. 1 – Un jeune homme a le projet de profiter de l'absence d'un notable, qui doit aller à la mosquée à l'occasion de la grande prière du vendredi, pour rendre visite à la fille de ce dernier dont il est amoureux. Il profite de la matinée pour se rendre chez un barbier. Mais celui-ci tarde à faire son office, il prend le temps de raconter l'histoire détaillée de chacun de ses frères (il en a six !) et occasionnellement, comme dans cette illustration, il sort dans la cour et y réalise des observations à l'astrolabe pour surveiller l'écoulement des heures et faire des prédictions astrologiques. Le jeune client, au premier plan, qui craint de rater son rendez-vous, lui reproche fréquemment, et de plus en plus fermement, le temps ainsi perdu (illustration extraite de la traduction de Lane qui date de 1840).



FIG. 2 – Un exemple d'horoscope médiéval, ou carré astrologique, arabo-musulman. L'écliptique est divisé en 12 maisons astrales (autour du carré central), et les planètes (au sens médiéval) y sont localisées avec la mention de leur longitude écliptique. Le résultat est une « carte » du ciel qu'il reste à interpréter astrologiquement (d'après Kennedy et Pingree, 1971, p. 13).



Le problème est qu'il existe de nombreuses variantes de ce conte, et particulièrement du passage à contenu astrologique/astronomique. Même si on se limite à l'examen d'un panel de 13 traductions modernes ayant des prétentions académiques et/ou exhaustives (Tableau 1), on est confronté à une déroutante diversité dans les informations chronologiques et astronomiques³. Pour illustrer cette diversité, envisageons la traduction en espagnol de Vernet (datée de 1964 et reprise dans l'article de 1966). Celle-ci correspond, en français, à :

[Le barbier] se leva, tendit la main et sortit un paquet. Je l'ouvris et vis qu'il contenait un astrolabe à sept tympan. Il le prit, se dirigea vers [la cour de la maison], leva la tête vers

2. Le mot « planète » est utilisé ici, comme dans le reste de l'article, au sens médiéval, c'est-à-dire en y intégrant le Soleil et la Lune.

3. Vernet (1966) qui se basait sur un nombre beaucoup plus limité de versions était arrivé à la même conclusion.

les rayons du soleil, l'observa un moment et me dit : « Savez-vous qu'aujourd'hui, c'est le vendredi 10 du mois de Safar de l'année 763 de l'Hégire du Prophète () — que les meilleures bénédictions et la paix descendent sur lui ! Dans l'ascendant (**), d'après ce que je sais des mathématiques, Mars est à 7° 6' (***) . Mars est en conjonction avec Mercure (****), ce qui indique que la coupe de cheveux te sera favorable.*

Les étoiles (*, ..., ****) que j'ai ajoutées dans ce texte font référence aux commentaires qui suivent et qui présentent les principales variantes des paramètres chronologiques ou astronomiques trouvées dans les autres traductions.

(*) Les traductions s'accordent sur le jour : Vendredi (jour de la Grande Prière qui réunit les fidèles à la Mosquée en début d'après-midi, ce détail a une importance dans le conte, voir légende de la Fig. 1). Elles s'accordent également sur le mois (Safar), mais pas sur le numéro du jour (10 ou 18), ni sur l'année hégirienne (263, 635, 653, 763). Par ailleurs, la plupart des traductions complètent cette date par une équivalence erronée qui est invariablement équivalente à : « l'an 7320 de l'ère d'Alexandre ».

(**) Le fait que Mars est à l'ascendant (c'est-à-dire qu'il est levé mais très proche de l'horizon Est) est mentionné dans la totalité des traductions examinées

(***) La référence à 7° 6' (ou 8° 6') se trouve dans beaucoup des traductions examinées, mais sans que la signification de ce chiffre ne soit claire. Vernet semble suggérer qu'il s'agit de la distance parcourue par cette planète depuis son lever (c'est-à-dire, globalement, le temps écoulé depuis ce lever, à raison de 4 minutes de temps par degré d'angle), mais d'autres mentionnent des paramètres obscurs ou aberrants comme la hauteur du jour par rapport à Mars (?) ou la valeur de l'ascendant de Mars (?).

(****) La conjonction de Mars et Mercure est mentionnée par toutes les traductions examinées, mais certaines précisent que Mars et Mercure sont en « aspect sextile » (c'est-à-dire qu'ils ont une différence de longitude écliptique proche de 60°), ce qui est incompatible avec la notion de conjonction (!), tout en ajoutant que Mars (ou Mercure) est au tiers de l'astrolabe, ce qui n'a pas beaucoup de sens.

TABLE 1
Transcription en français du passage du conte qui concentre les informations
astrologiques/astronomiques, selon les 13 traductions analysées.

Traducteur et date de la première édition	Source principale probable ou revendiquée.	Langue	Traduction française de la partie du conte du « Barbier de Bagdad » à portée chronologique et astrale
Galland (1704)	d'après le manuscrit Bnf arabe 3609-3611 (Première traduction en langue occidentale)	Français	Il tira de sa trousse un astrolabe fort propre, sortit de ma chambre et alla au milieu de ma cour, d'un pas grave, prendre la hauteur du soleil. Il revint avec la même gravité, et, en rentrant : « Vous serez bien aise, seigneur, me dit-il d'apprendre que nous sommes aujourd'hui au vendredi, dix-huitième de la lune de safar, de l'an 653, depuis la retraite de notre grand prophète de la Mecque à Médine, et de l'an 7320 de l'époque du grand Iskender aux deux cornes ; et que la conjonction de Mars et de Mercure signifie que vous ne pouvez pas choisir un meilleur temps qu'aujourd'hui, à l'heure qu'il est, pour vous faire raser.

Suite à la page suivante

(suite) Transcription en français du passage du conte ...

Traducteur et date de la première édition	Source principale probable ou revendiquée.	Langue	Traduction française de la partie du conte...
Lane (1840)	d'après Bulaq (1835)	Anglais	Il se leva, tendit la main, sortit un mouchoir, l'ouvrit, et voici qu'il y avait dedans un astrolabe composé de sept plaques; il le prit, se rendit au milieu de la cour, leva la tête vers le soleil et regarda longuement, puis il me dit : Sache que notre jour, qui est vendredi, le dixième jour du mois de Safar, de l'année 263 de l'Hégire, sur laquelle soient les bénédictions et la paix les plus excellentes ! et dont l'étoile ascendante, selon les règles requises de la science du calcul, est la planète Mars - sept degrés et six minutes; et il se trouve que Mercure est entré en conjonction avec cette planète; cela indique que le rasage des cheveux est désormais une opération des plus excellentes
Burton (1885)	d'après Bulaq (1835) sauf le conte du barbier : d'après un ms inédit	Anglais	Il se leva donc, tendit la main avec beaucoup de nonchalance, sortit un mouchoir et le dépla. Et voilà qu'il contenait un astrolabe avec sept plaques parallèles montées sur de l'argent. Il se rendit ensuite au milieu de la cour, leva la tête et l'instrument vers les rayons du soleil et observa longuement. Une fois cela fait, il revint vers moi et me dit : « Sache que notre journée d'aujourd'hui, qui est un vendredi, est le dixième jour du mois de Safar de l'an six cent cinquante-trois depuis l'Hégire ou la fuite de l'Apôtre (sur lui soient les meilleures bénédictions et la paix !) et la sept mille trois cent vingtième année de l'ère d'Alexandre, huit degrés et six minutes. De plus, l'ascendant de ce jour, selon la science la plus exacte du calcul, est la planète Mars; et il se trouve que Mercure est en conjonction avec elle, ce qui indique un moment propice pour se faire couper les cheveux;
Scott (1890)	d'après Galland (1704)	Anglais	Au lieu de mettre de l'eau dans le bassin, il sortit un très bel astrolabe de son étui et quitta ma chambre d'un air très grave pour se rendre au milieu de la cour afin de mesurer la hauteur du soleil. Il revint avec la même démarche solennelle, entra dans ma chambre et dit : « Monsieur, vous serez heureux d'apprendre que nous sommes aujourd'hui vendredi 18 du mois de Suffir, en l'an 653 depuis la retraite de notre grand prophète de La Mecque à Médine, et en l'an 7320 de l'époque du grand Iskender aux deux cornes; et que la conjonction de Mars et Mercure signifie que vous ne pouvez choisir de meilleur moment que ce jour et cette heure pour vous faire raser.
Madrus (1898)	d'après Bulaq (1835) et ré-écriture fin de siècle	Français	...il l'ouvrit et en tira, non point un rasoir, mais un astrolabe à sept faces. Il le prit, s'en alla au milieu de la cour de ma maison, leva gravement la tête vers le soleil, le regarda avec attention, examina l'astrolabe et revint et me dit : « Tu dois savoir que ce jour de vendredi est le dixième du mois de Safar, de l'an sept cent soixante-trois de l'Hégire de notre saint Prophète (que soient sur lui la meilleure des prières et la paix !). Or, ce que je sais de la science des nombres m'apprend que ce jour de vendredi coïncide exactement avec le moment précis où se fait la conjonction de la planète Mirrikh et de la planète Houtared, et cela par sept degrés et six minutes. Or, cela démontre que l'action de se raser la tête aujourd'hui même est une action faste et tout à fait excellente
Littmann (1923)	d'après Calcutta II (1839)	Allemand	Il tendit alors la main, sortit un tissu et le dépla, et voici, il contenait un astrolabe à sept disques, recouvert d'argent. Il le prit, se rendit au milieu de la cour, leva la tête vers les rayons du soleil et le regarda longuement. Puis il me dit : « Sache que ce jour qui est un vendredi, à savoir le vendredi du dixième Safar de l'an six cent cinquante-trois depuis l'Hégire du Prophète, que la paix et la bénédiction de Dieu soient sur lui ! – et dans la sept mille trois cent vingtième année du calendrier alexandrin, dont l'astre du jour selon les règles de la science du calcul est Mars, huit degrés et six minutes se sont écoulés. Or, il se trouve qu'en conjonction avec Mars Mercure, ce qui donne un moment propice pour la coupe des cheveux

Suite à la page suivante

(suite) Transcription en français du passage du conte ...

Traducteur et date de la première édition	Source principale probable ou revendiquée.	Langue	Traduction française de la partie du conte...
Gabrieli (1948)	d'après Bulaq (1835)	Italien	...mais il tendit la main, prit un mouchoir, l'ouvrit, et voici qu'il y avait un astrolabe à sept lames. Le barbier le prit et, se rendant au centre de la pièce, leva la tête vers les rayons du soleil, regarda longuement et me dit : « Sache que nous sommes aujourd'hui le vendredi 10 safar de l'année 763 de l'Hégire du Prophète (que la paix et les bénédictions soient sur lui), et que l'ascendant, selon les calculs mathématiques, est Mars, sept degrés et six minutes ; Mars est entré en conjonction avec Mercure, ce qui est le signe qu'une coupe de cheveux est une excellente chose
Vernet (1964)	d'après (Bulaq 1835)	Espagnol	Il se leva, tendit la main et sortit un paquet. Je l'ouvris et vis qu'il contenait un astrolabe à sept lames. Il le prit, se dirigea vers le centre de la pièce, leva la tête vers les rayons du soleil, l'observa un moment et me dit : « Savez-vous qu'aujourd'hui, c'est le vendredi 10 du mois de Safar de l'année 763 de l'Hégire du Prophète — que les meilleures bénédictions et la paix descendent sur lui ! Dans l'ascendant, d'après ce que je sais des mathématiques, Mars est à 7° 6'. Mars est en conjonction avec Mercure, ce qui indique que la coupe de cheveux te sera favorable
Khawan (1965)	d'après le manuscrit Bnf arabe 3609-3611	Français	Le barbier fut alors introduit dans le salon particulier, où se trouvait un astrolabe à sept faces, serti d'argent. Je le suivis. Il prit aussitôt l'astrolabe, se plaça au milieu de la pièce, leva la tête vers les rayons du soleil, le regarda longuement et dit : « Sache, ô maître, que nous sommes entrés, aujourd'hui vendredi, dans le dix-huitième jour du mois de Safar, l'an 653 de l'Hégire, ou 7320 de l'ère d'Alexandre. La hauteur de ce jour, d'après les résultats minutieux de mon calcul, est de huit degrés six minutes par rapport à la planète Mars. Nous sommes sous le signe de Mercure, au tiers de l'astrolabe, de compagnie avec Mars. Ces deux astres sont dans un rapport sextuple, ce qui montre que c'est une bonne chose de se faire couper les cheveux aujourd'hui.
Khawan (1986)	d'après le manuscrit Bnf arabe 3609-3611 + autres manuscrits fragmentaires	Français	L'homme ouvrit sa trousse d'où il tira un astrolabe à sept faces, monté dans un cadre d'argent. S'étant placé au milieu de la pièce et ayant levé la tête vers le soleil, qu'il considéra longuement, il tint alors ce discours : « Sache, ô maître, que nous sommes entrés, aujourd'hui vendredi, dans le dix-huitième jour du mois de Safar, l'an 653 de l'Hégire, soit l'an 7320 de l'ère d'Alexandre. La hauteur de ce jour-ci, d'après mes calculs minutieux, est de huit degrés six minutes par rapport à la planète Mars. Nous sommes sous le signe de Mercure, au tiers de l'astrolabe, de compagnie avec Mars. Ces deux astres sont dans un rapport sextuple, ce qui montre que c'est une bonne chose de se faire couper les cheveux aujourd'hui.
Haddawi (1990)	d'après Mahdi (1984-94)	Anglais	Il plongea alors la main dans sa sacoche en cuir et en sortit un astrolabe à sept plaques incrustées d'argent. Il se rendit dans la cour, leva l'instrument vers les rayons du soleil et l'observa pendant un certain temps. Puis il me dit : « Ô mon seigneur, huit degrés et six minutes se sont écoulés depuis le début de cette journée, qui est un vendredi, le dix-huitième jour du mois de Safar, en l'an six cent cinquante-trois de l'Hégire et sept mille trois cent vingtième année de l'ère alexandrine, et la planète actuellement en ascendant, selon les calculs mathématiques de l'astrolabe, est Mars, qui est en conjonction avec Mercure, une conjonction favorable à la coupe des cheveux.

Suite à la page suivante

(suite) Transcription en français du passage du conte ...

Traducteur et date de la première édition	Source principale probable ou revendiquée.	Langue	Traduction française de la partie du conte...
Miquel et Bencheikh (1991)	d'après Bulaq (1835)	Français	Le barbier alors tend la main vers une serviette qu'il déplie. Elle recouvrait un astrolabe fait de sept plaques incrustées d'argent. Il gagne le centre de la maison, lève les yeux vers les rayons du soleil, regarde un bon moment et me dit : Nous sommes, en ce vendredi, au dixième jour du mois de Safar de la six cent cinquante-troisième année de l'Hégire de notre Prophète — sur lui les plus belles prières et le plus beau salut ! —, ce qui correspond, sache-le, à sept mille trois cent vingt années de l'ère d'Alexandre. L'ascendant de ce jour, suivant les données irrécusables de la science astronomique, revient à Mars, pour huit degrés et six minutes ; or, il se trouve qu'il est en conjonction avec Mercure, ce qui me démontre que se raser est une bonne chose.
Claudia Ott (2018)	d'après Mahdi (1984)	Allemand	Le coiffeur plonge alors la main dans la poche contenant ses outils de barbier et en sortit un astrolabe composé de sept disques et incrusté d'argent. Il prit l'astrolabe, se rendit au milieu de la maison, tourna la pointe vers le haut dans la direction d'où provenaient les rayons du soleil et l'observa longuement. Puis il dit : « Vous devez savoir, mon seigneur, qu'aujourd'hui est un vendredi, le dix-huit Safar de l'année six cent cinquante-trois de l'Hégire et de l'année sept mille trois cent vingt selon le calendrier d'Alexandre le Grand. Les calculs montrent qu'aujourd'hui, l'ascendant est en Mars, à huit degrés et six minutes. Le régent de l'ascendant est Mercure ; il apparaît ici sur le tiers de l'astrolabe et se trouve là avec Mars dans l'ascendant. Même dans la division en six, il se trouve avec lui, ce qui est une constellation très favorable pour se faire couper les cheveux.

Cette variabilité, et l'évidente altération des données chronologiques et astronomiques, découlent probablement de plusieurs facteurs. Le principal est en lien avec l'histoire complexe du texte : les plus anciennes traces des « *Mille et une nuits* » datent du IX^e siècle (Chraïbi 2008), mais le contenu du recueil évolue ensuite et on peut reconnaître au moins une tradition syrienne et une tradition égyptienne. Les 13 traductions en langues occidentales examinées à l'occasion de la rédaction de ce travail sont issues de sources diverses ; il peut s'agir soit de traductions à partir de manuscrits arabes, soit à partir d'éditions imprimées en arabe. Ces sources sont principalement :

- le ms arabe 3609-3611 BnF (XIV^e siècle) qui est le plus ancien manuscrit conservé du texte ; il est incomplet. Il a été traduit (ou plutôt adapté) par Galland (édition princeps de 1704)⁴. Ce travail a lui-même été traduit dans une dizaine de langues au XIX^e siècle.
- deux éditions imprimées en arabe connues sous les noms de « *Bulaq* » (datée de 1835) et « *Calcutta II* » (datée de 1839)⁵. Il s'agit de versions épurées pour être conformes à la religion et aux « bonnes mœurs ». Les manuscrits originaux ont ensuite été détruits

4. Environ 20% des contes de cette « traduction » ont été très probablement inventés par Galland lui-même sur la base de « scénarios » fournis par Hanna Dyab, un Syrien maronite de passage à Paris à cette époque. Ces contes, qualifiés pudiquement d'« orphelins » par les spécialistes, ne sont conservés dans aucun manuscrit arabe antérieur à 1704. Cela concerne certains des contes parmi les plus célèbres, y compris dans le monde arabo-musulman ; par exemple : « Ali-Baba et les 40 voleurs » ou « Aladin et la lampe merveilleuse ».

5. Il existe deux autres éditions arabes du XIX^e siècle, la première en 1814, « *Calcutta I* » jugée mauvaise, a été remplacée par « *Calcutta II* » ; la seconde publiée entre 1825 et 1843, dite « Breslau », est basée sur un faux manuscrit (manuscrit dit « de Tunis »).

(Garcin 2013). Ces éditions ont servi de base à la plupart des traductions de référence dans les langues occidentales⁶.

- une édition critique en arabe du manuscrit de la BnF (Mahdi 1984), traduite ensuite en anglais et allemand.
- deux traductions successives de Khawan en français (datées respectivement de 1965 et 1986) basées sur le ms BnF complété par des manuscrits fragmentaires découverts au cours du XX^e siècle (on en connaît actuellement plus de 110).

Il faut néanmoins souligner qu’aucune des traductions disponibles ne dépend strictement d’une seule source ... les traducteurs, grands spécialistes du texte, connaissaient les travaux antérieurs, et en ont évidemment tenu compte. Dans certains cas plusieurs sources peuvent même être sollicitées sans que cela ne soit revendiqué⁷.

Cette multiplicité de sources peut expliquer l’hétérogénéité des données scientifiques⁸, mais le manque de familiarité des traducteurs avec le vocabulaire et les concepts de l’astronomie ancienne peut constituer une seconde explication. Dans certains cas, on peut même soupçonner une certaine désinvolture, notamment quand apparaissent des valeurs numériques différentes dans des traductions qui se revendiquent de la même source.

Vernet (1966), constatant (1) que les seules données qui font l’unanimité concernent la conjonction Mars et Mercure à l’ascendant et que les autres données astronomiques sont manifestement corrompues, et (2) que par ailleurs l’épisode a lieu dans la première moitié de la matinée⁹, il a essayé de contraindre la date du supposé horoscope à l’aide de ces données. Pour cela, il utilise des éphémérides calculées avec des moyens modernes (Tuckermann 1964), et il conclut que parmi les dates mentionnées dans les traductions et les sources qu’il connaît, celle du 10 Safar de l’année 653 de l’Hégire est la plus satisfaisante. Mais comme il le souligne, cette date ne tombe pas un vendredi mais un jeudi. Cette différence peut facilement s’expliquer par le fait que le début de l’année musulmane (le premier du mois de Ramadan) est fixé par l’observation du croissant de Lune et que certaines années, un décalage d’un jour est parfaitement envisageable.

Hogendijk (2007) a appliqué la même méthode dans le même but, mais en élargissant l’éventail des dates à examiner, notamment en y intégrant celles collectées dans divers manuscrits que Mahdi (1984) mentionne dans son édition critique : les vendredis 12 Safar 763, 18 Safar 763 et 18 Safar 773. Comme Vernet (1966), il utilise des éphémérides de Tuckermann (1964) et il retient finalement le 18 Safar 763 qui est un vendredi (17 décembre 1361 apr. J.-C.)¹⁰.

6. Pour le français, notamment la célèbre traduction de Mardrus (datée de 1898) et la traduction publiée dans la prestigieuse collection de « La Pléiade » (1991).

7. Pour le conte du « *Barbier de Bagdad* », Burton, pour sa version de 1885, a utilisé un manuscrit original et inédit (Chraïbi 2008, p. 110). Par ailleurs, ce même Burton en anglais, comme Mardrus (en 1898) en français, ont ajouté une dimension érotique à leur traduction de l’édition arabe « censurée » de Bulaq, tout en affirmant que leur travail correspondait à « une traduction complète et fidèle (*sic*) ».

8. Chaque source est dépendante d’une chaîne de copies et recopies manuscrites différentes. Au cours de cette transmission, des erreurs de copie ont eu lieu, notamment en ce qui concerne les valeurs numériques.

9. En effet, plus loin dans le texte, et après de nombreuses tergiversations, le barbier détermine, toujours grâce à son astrolabe, que « *la prière de midi aura lieu dans trois bonnes heures* ». Ces conclusions ont été reprises par Maddison (1992), mais celui-ci développe surtout dans son article la description d’un astrolabe décoré d’incrustations en or, qui est conservé dans les collections du Musée d’Histoire des Sciences d’Oxford dont il était le Directeur, et qu’il juge digne des « *Mille et une nuits* ».

10. Cette date ne peut pas être la date à laquelle se passe l’histoire du barbier, car en 763 H il n’y avait plus de calife à Bagdad depuis plus d’un siècle, alors que le conte fait plusieurs fois référence au souverain de la ville sous ce titre ; il ne peut donc s’agir que de la date de l’horoscope qui aurait éventuellement inspiré l’auteur du conte.

2 Discussion et conclusion

La première remarque que l'on peut faire est de souligner que Vernet, comme Hogendijk, utilisent des éphémérides modernes. Or, si les données astronomiques sont effectivement tirées d'un horoscope ancien, il est certain que les positions planétaires n'ont pas été mesurées, mais calculées en utilisant des tables d'époque, comme celles d'al-Battani (IX-X^e siècle) qui étaient très populaires pendant toute la période médiévale. Le tableau 2 compare les longitudes écliptiques des trois « planètes » concernées, calculées par des méthodes modernes (Tuckermann 1964) ou par les tables d'al-Battani (Gilsén 2021). Dans le cas du 18 Safar 763 H, les valeurs sont proches¹¹.

TABLE 2

Longitudes écliptiques, arrondies au degré, des trois « planètes » à la date du 18 Safar 763 H (17 décembre 1361 apr. J.-C.), selon Hogendijk (2007) qui utilise les tables de Tuckermann (1964); et selon un calcul original qui utilise un outil informatique de Gilsén (2021) basé sur les tables d'al-Battani (IX-X^e siècle).

	Soleil	Mars	Mercure
Tuckermann (1964) (d'après Hogendijk 2007)	274°	266°	264°
Calcul d'après une feuille de calcul de Gilsén (2021) basée sur les tables d'al-Battani	276°	269°	261°

Une seconde remarque, plus critique, consiste à remarquer que, quelles que soient les éphémérides que l'on retient, Mars et Mercure n'étaient déjà plus à l'ascendant au moment du lever du Soleil (Fig. 3). Or le barbier a fait ses « observations » après l'arrivée du jeune homme et celui-ci, selon toute vraisemblance, ne s'est présenté à l'échoppe du barbier, évidemment dépourvue d'éclairage artificiel efficace, qu'une fois le jour levé. La date retenue par Hogendijk (2007) n'est donc pas recevable.

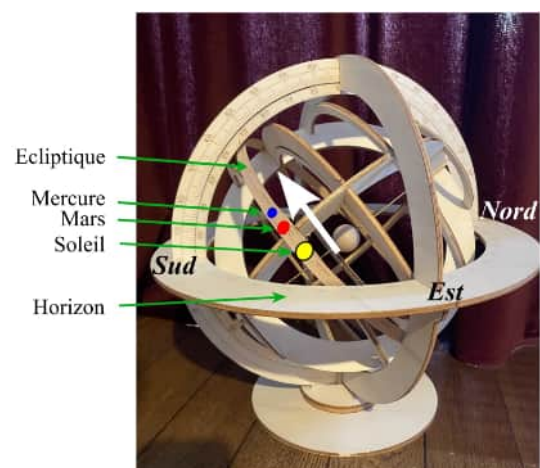


FIG. 3 – Position matinale de Mars, de Mercure et du Soleil le 18 Safar 763 H, sur une sphère armillaire (CLEA, voir : <http://clea-astro.eu/lunap/maquettes>). On constate que lorsque le Soleil se lève, Mars et Mercure ne sont plus à l'ascendant.

Cela nous conduit à une troisième critique, beaucoup plus radicale : si l'on peut admettre que l'auteur du conte a utilisé un horoscope de son époque pour rédiger sa description

11. Ce qui est loin d'être systématique, comme l'ont montré plusieurs tests à des dates aléatoires.

astrologique et que cette description a subi de nombreuses altérations lors de sa transmission au cours des siècles, on doit aussi reconnaître qu'il n'est pas prouvé, et à dire vrai qu'il est peu probable, que l'hypothétique horoscope concerne un événement matinal. On ne peut en effet pas exclure que l'auteur ait choisi, ou n'ait disposé, que d'un horoscope établi pour un événement ayant eu lieu un autre jour que le vendredi, et surtout à un autre moment du jour¹². Si c'est le cas, il s'est évidemment dispensé de faire la moindre allusion à la position « *horoscopique* » du Soleil car c'est le déroulé du récit lui-même qui imposait l'heure, et donc la position solaire. En d'autres termes, il n'est pas exclu que le caractère matinal de l'ascendance de Mars et Mercure soit une circonstance ajoutée a posteriori qui n'était pas nécessairement présente dans l'hypothétique horoscope. Clairement cette manière prudente d'analyser le texte réduit fortement la possibilité d'une datation telle que celle envisagée par Vernet (1966) et Hogendijk (2007).

Pour conclure, signalons que Chraïbi (2008, p. 110) a esquissé la piste d'une autre interprétation des données astrales analysées ici. Il évoque la possibilité que l'auteur du conte ait voulu y intégrer ironiquement une prédiction (évidemment rétrospective) annonçant des catastrophes majeures. De fait, les premières décades du mois de Safar 653 H, qui correspondent aux dates les plus citées dans les sources et les traductions, tombent précisément trois années musulmanes avant le sac et la destruction de Bagdad par les troupes de Gengis Khan, événements accompagnés du massacre, ou de la déportation et mise en esclavage, du million d'habitants de la ville.

Références

- [1] Chraïbi A. (2008) : *Les mille et une nuits : histoire du texte et classification des contes*, L'Harmattan éd., 243 p.
- [2] Garcin J-C. (2013) : *Pour une lecture historique des Mille et une nuits*, Actes-Sud, 818 p.
- [3] Gilsén (2021) : feuille de calcul Excel « alBattani.xls », in « *Astromodels* », <https://www.particle-nuclear.lu.se/lars-gislen/downloads>.
- [4] Hogendijk J.P. (2007) : A new look at the barber's astrolabe in Arabian nights, *O ye Gentlemen : Arabic Studies on Science and Literary Culture in Honour of Remke Kruk*, Brill éd., p. 65–67.
- [5] Kennedy E.S. & Pingree D. (1971) : *The Astrological History of Māshā' allāh*, Harvard University Press, 224 p.
- [6] Maddison F.R. (1992) : « The barber's astrolabe », *Interdisciplinary science reviews*, 17, pp. 349–355.
- [7] Mahdi M. (1984) : *The Thousand and one nights (Alf layla wa-layla) from the earliest known sources. Arabic text edited with introduction and notes*. 3 vols. (Leiden).
- [8] Regourd A. (1992) : La figure de l'astrologue dans les "Mille et une nuits", *Studia Islamica*, No. 76, pp. 137–150.

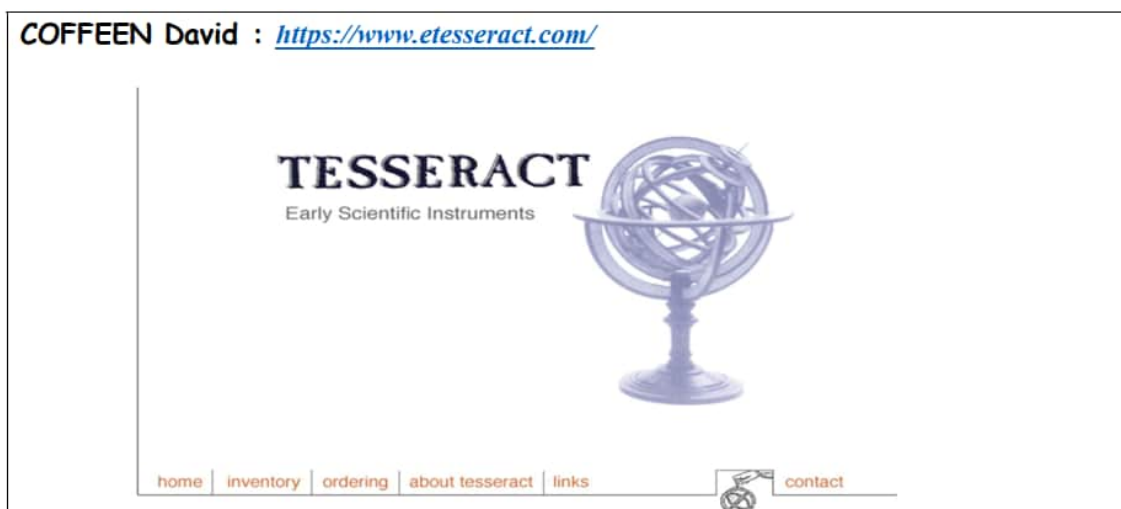
12. L'éloignement maximum du Soleil par rapport à Mercure est de 28°. L'ascendance de cette planète peut avoir lieu aux premières heures de la matinée, mais aussi dans les dernières heures de la nuit.

- [9] Tuckermann B. (1964) : « Planetary, lunar and solar positions. A.D. 2 to A.D. 1649 », *American Philosophical Society ed.*, 842 p.
- [10] Vernet Ginès J. (1966) : *La conjunción del barbero de Bagdad*, in P. Gallais & Y.J. Riou (eds.), *Mélanges offerts à René Crozet (Poitiers)*, pp. 1173—1175.



de A à Z ...

(...) le site web amateur ou professionnel des membres de la CCS consacré à la gnomonique ou abordant ce domaine



La seconde loi de Kepler et la méridienne de San Petronio

par DENIS SAVOIE¹ & JEAN-FRANÇOIS CONSIGLI²

MOTS-CLEFS

Cassini; Kepler; loi des aires; méridienne San Petronio.

RÉSUMÉ

Cet article examine l'idée répandue selon laquelle Jean-Dominique Cassini aurait démontré la seconde loi de Kepler grâce à la méridienne de San Petronio, et réévalue cette affirmation à partir des sources historiques. Il rappelle le contexte théorique du XVII^e siècle, marqué par la coexistence de plusieurs modèles du mouvement solaire (excentrique simple, équant, ellipse képlérienne) et par la difficulté d'en départager les effets observationnellement. Les mesures du diamètre apparent du Soleil effectuées par Cassini montrent bien une variation de la vitesse de la Terre autour du Soleil, mais elles ne permettent pas de prouver rigoureusement la loi des aires. En revanche, ces observations confirment solidement la « bissection de l'excentricité » et soutiennent un modèle proche de celui à équant. Ce dernier est compatible avec certaines des idées de Kepler sans toutefois valider formellement son modèle elliptique complet. Les auteurs concluent donc que Cassini n'a jamais revendiqué une démonstration de la seconde loi de Kepler, et que les limites instrumentales et théoriques de l'époque rendaient une telle preuve hors de portée.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Une abondante littérature traite de la ligne méridienne construite par Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) dans la basilique San Petronio de Bologne en 1655. On y lit fréquemment que la démonstration de la seconde loi de Kepler a été l'un des premiers résultats de Cassini, obtenu par l'observation de la variation du diamètre apparent du Soleil³. Néanmoins, des

1. Universcience et Observatoire de Paris (LTE).

2. Académie de Nice et Association AQUILA (Université Côte d'Azur).

3. C'est le cas dernièrement de la biographie écrite par Gabriella Bernardi, *Giovanni Domenico Cassini, A Modern Astronomer in the 17th Century*, éd. Springer, 2017, p. 34–35. Voir également Fabrizio Bònoli « « 350 anni della grande meridiana di Cassini in San Petronio » », *Il Sole nella Chiesa : Cassini e le grandi meridiane come strumenti di indagine scientifica*, *Giornale di Astronomia*, 2006, vol. 32, n°1, p. 59–68, et aussi Fabrizio Bònoli, Alessandro Braccesi, « Les recherches astronomiques de Giovanni Domenico Cassini à Bologne : 1649-1669 », *Sur les traces des Cassini*, dir. P. Brouzeng, S. Débarbat, éd. CTHS, 2001, p. 101–127. Citons enfin Giorgio Tabarroni qui, dans les années 1970, affirmait

astronomes et historiens des sciences comme Jean-Baptiste Delambre⁴ (1749-1822), Curtis Wilson⁵ (1921-2012) ou John L. Heilbron⁶ (1934-2023) n'y ont vu que la confirmation de la bissection de l'excentricité. Quant à Newton, il exprime clairement dans ses *Principia* de 1687 qu'une confirmation empirique de la loi des aires n'a pas encore été apportée⁷. Il est donc intéressant de revenir sur ce problème et d'examiner ce qu'a réellement déterminé Cassini avec sa célèbre ligne méridienne.

1 La seconde loi de Kepler et les différents modèles planétaires

C'est dans son ouvrage *Astronomia nova* paru en 1609 que Johannes Kepler (1571-1630) démontre ses deux premières lois, appelées par la suite lois de Kepler⁸. Ce qu'on appelle *seconde loi*, ou *loi des aires*, fut en réalité découverte en premier, avant la loi sur la forme elliptique des orbites⁹. En astronomie moderne, cette loi exprime le fait que le rayon vecteur Terre-Soleil balaie des aires égales en des temps égaux (fig. 1). Dit plus simplement, la vitesse de la Terre autour du Soleil est variable au cours de l'année. Notre planète se déplace plus vite autour du Soleil lorsqu'elle en est le plus près, vers le 4 janvier : c'est le *périhélie*. La situation opposée a lieu vers le 4 juillet : la Terre est alors au plus loin du Soleil et se déplace moins vite sur son orbite, c'est l'*aphélie*.

Notons toutefois que cette variation de vitesse, connue depuis l'Antiquité¹⁰, était considérée à l'époque comme apparente et non physiquement réelle, comme le démontrera bien plus tard Kepler.

Au tournant du XVII^e siècle, lorsqu'il s'attaque aux observations de Tycho Brahe pour déterminer la nature de la trajectoire de Mars, Kepler est confronté à la forme de l'orbite terrestre. C'est à cette occasion qu'il va faire une découverte majeure, appelée la *bissection de l'excentricité*.

À cette époque, trois modèles principaux existent pour expliquer le mouvement annuel du Soleil (ou de la Terre si on est copernicien comme Kepler) :

- *le modèle excentrique simple*, qui remonte à l'Antiquité et qui est en usage chez Ptolémée et tous ses successeurs y compris Copernic
- *le modèle excentrique à équiant*, innovation géniale découverte par Ptolémée (mais uniquement usitée pour les planètes). Kepler lui-même l'utilisera pour décrire le mouvement du Soleil avant d'aboutir à la solution du modèle elliptique.
- *le modèle elliptique képlérien*, qui sera utilisé dans les Tables Rudolphines en 1627.

déjà ce lien entre Cassini et la seconde loi de Kepler (« Un'opera ritrovata dell'astronomo Gian Domenico Cassini nel terzo centenario del suo trasferimento da Bologna a Parigi », *Strenna storica bolognese*, vol. 18, 1968, *Museo Galileo & Congrès International d'Histoire des Sciences*, éd. Naouka, Moscou, 1974, p. 200–203).

4. Jean-Baptiste Delambre, *Histoire de l'astronomie moderne*, t. II, Paris, 1821, p. 718–729.

5. Curtis Wilson, « Predictive astronomy in the century after Kepler », *The General History of Astronomy*, vol. 2, éd. R. Taton, C. Wilson, Cambridge, 1989, p. 161–206.

6. John L. Heilbron, *Astronomie et églises*, éd. Belin-Pour la science, Paris, 2003, p. 108–115 (paru sous le titre *The Sun in the Church*, Harvard University Press, Cambridge, 1999).

7. Curtis Wilson, « From Kepler's Laws, So-called to Universal Gravitation : Empirical Factors », *Archives for History of Exact Sciences*, vol. 6, n°2, 1970, p. 89–170.

8. C'est dans le chapitre 40 de l'*Astronomia nova* que Kepler décrit cette loi, sans qu'il l'appelle toutefois « loi des aires ».

9. E. J. Aiton, « Kepler's Second Law of Planetary Motion », *Isis*, 1969, vol. 60, n°1, p. 75–90.

10. Sur l'inégalité de la vitesse du Soleil dans l'Antiquité, voir James Evans, *Histoire & Pratique de l'astronomie ancienne*, Les Belles Lettres, Paris, 2016, p. 236–266.

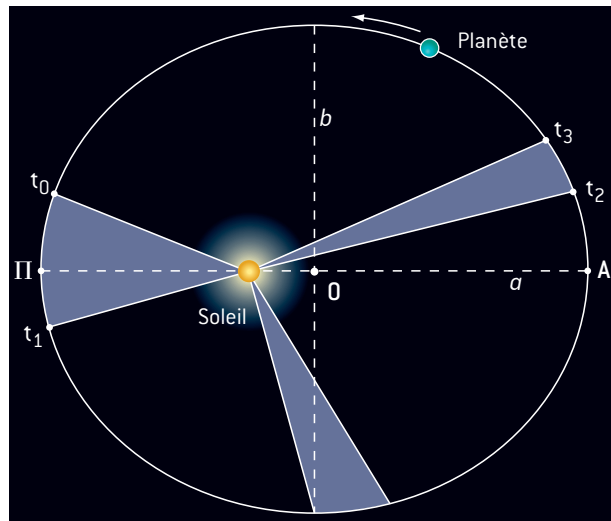


FIG. 1 – La seconde loi de Kepler. Sur la figure, les secteurs angulaires t_0St_1 et t_2St_3 ont même aire. La Terre parcourt les arcs t_0t_1 et t_2t_3 en des durées égales : elle se déplace donc plus vite entre t_0 et t_1 qu'entre t_2 et t_3 .

La priorité de ces trois modèles est d'expliquer l'inégalité au cours de l'année du mouvement en longitude du Soleil. Ils y parviennent plutôt bien puisqu'à l'époque ils ne peuvent être soumis au critère de l'observation (*cf. infra*).

En plus de la variation du mouvement en longitude, ces trois modèles entraînent aussi une variation de la distance Terre-Soleil, et c'est elle qui entre en jeu dans le problème de la *loi des aires*. La variation de distance peut en effet s'obtenir concrètement grâce au diamètre apparent du Soleil (fig. 2) car celui-ci varie très sensiblement comme l'inverse de la norme du rayon vecteur (distance Terre-Soleil). À l'*aphélie* (ou *apogée* si l'on adopte le point de vue géocentrique), le Soleil paraît plus petit qu'au *périhélie* (ou *périgée*)¹¹. On a très sensiblement :

$$s = \frac{1920''}{r}$$

où s est le diamètre apparent du Soleil en secondes de degré et r la distance Terre-Soleil exprimée en unité astronomique.

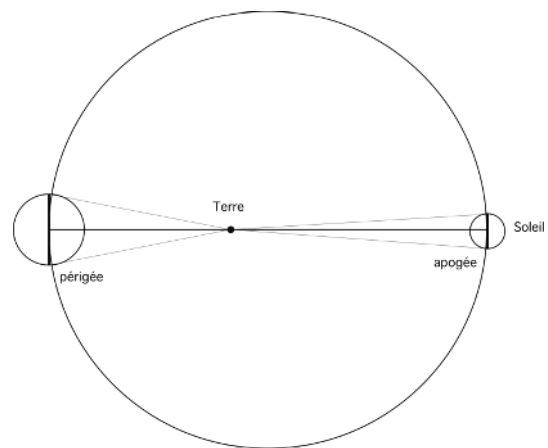


FIG. 2 – Sur cette figure, le diamètre du Soleil a été volontairement exagéré pour montrer sa variation entre l'apogée et le périgée.

Afin de comparer les modèles, et le diamètre apparent du Soleil qui en résulte, on exprimera les quantités sous la forme d'un développement limité au premier ordre de l'excentricité.

11. En astronomie moderne, le diamètre du Soleil varie de $31' 28''$ à l'apogée ($r = 1,016 73$) à $32' 32''$ au périgée ($r = 0,983 27$), soit $1' 4''$ de variation en six mois.

Dans le modèle excentrique (fig. 3), le Soleil parcourt en une année un cercle (déférent) de centre C à vitesse uniforme. Afin notamment d'expliquer l'inégalité des saisons, et donc l'inégalité de vitesse du Soleil, les Anciens ont excentré la Terre du centre d'une distance $2ae$ où a est le rayon du cercle (on pose ici $a = 1$) et e l'excentricité au sens moderne¹². L'angle M , appelé anomalie moyenne, croît de façon uniforme (c'est l'angle décrit par le Soleil depuis son passage au périhélie). On démontre que dans ce modèle, la distance r entre le Soleil et la Terre s'écrit, au premier ordre en e :

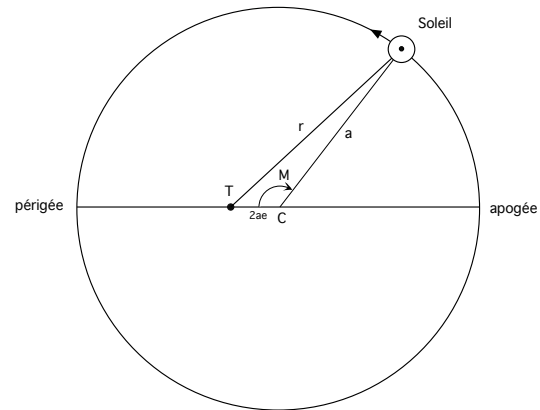
$$r_{ex} = a[1 - 2e \cos M + \dots].$$


FIG. 3 – Modèle excentrique.

C est le centre du cercle, l'angle M est l'anomalie moyenne, T la position de la Terre excentrée d'une quantité $2ae$ où a le rayon du cercle et e l'excentricité de l'orbite terrestre.

Dans le modèle à équiant (fig. 4), le Soleil parcourt en une année un cercle de centre C mais l'angle M , qui croît de façon uniforme, est compté depuis le point E , appelé *point équiant*. Ce point est situé à la distance ae du centre C et la Terre se trouve également à la distance ae de ce dernier. On voit que la distance de la Terre au point équiant vaut $2ae$ et donc, en divisant par deux cette distance, on bissecte l'excentricité. On démontre que dans ce modèle, toujours à l'ordre un de l'excentricité, la distance r entre le Soleil et la Terre se calcule par :

$$r_{eq} = a[1 - e \cos M + \dots].$$

Le Soleil n'a donc plus de mouvement uniforme sur son déférent.

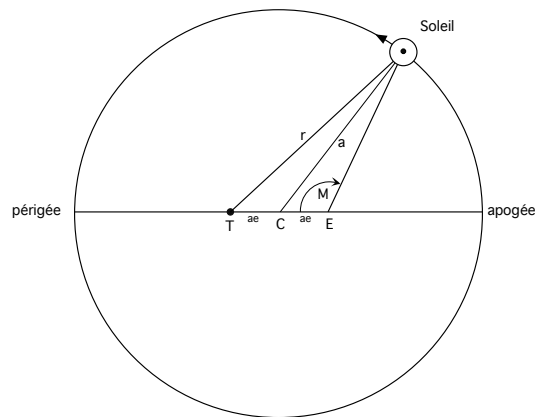


FIG. 4 – Modèle à équiant.

C est le centre du cercle, l'angle M est l'anomalie moyenne, T la position de la Terre excentrée d'une quantité ae où a le rayon du cercle et e l'excentricité de l'orbite terrestre. Notons la présence du point E , le point équiant, autour duquel le mouvement est un mouvement circulaire uniforme.

Enfin dans le modèle képlérien (fig. 5), le Soleil parcourt en une année une ellipse dont la Terre occupe l'un des foyers, la Terre étant située à la distance ae du centre de l'ellipse. On démontre que dans ce modèle, la distance r entre le Soleil et la Terre est, au premier ordre de l'excentricité : $r_k = a[1 - e \cos M + \dots]$.

12. L'excentricité e , dans une ellipse, est le rapport entre la distance OS , entre le centre et le foyer, divisée par le demi-grand axe a . Soit $e = \frac{OS}{a}$.

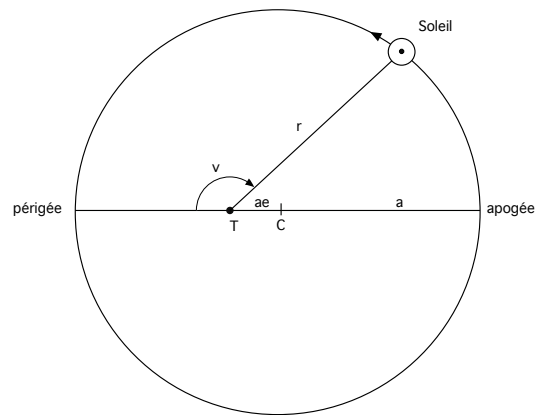


FIG. 5 – Modèle képlérien.

C est le centre du cercle, T la position de la Terre excentrée d'une quantité ae où a le rayon du cercle et e l'excentricité de l'orbite terrestre. L'angle v est l'anomalie vraie.

Kepler savait qu'il était impossible à son époque de mesurer directement la distance Terre-Soleil : c'est donc par l'intermédiaire du diamètre solaire que l'on y accédait indirectement¹³. Rappelons qu'en astronomie moderne, la seconde loi des aires se traduit par¹⁴ :

$$r^2 \frac{d\lambda}{dt} = na^2 \sqrt{1 - e^2}$$

où r est la norme du rayon vecteur (distance Terre-Soleil), n le moyen mouvement du Soleil ($\frac{360^\circ}{365,257}$), a le demi-grand axe de l'orbite (on pose ici $a = 1$), e l'excentricité. La quantité $\frac{d\lambda}{dt}$ est la variation de la longitude du Soleil en 24 heures, c'est-à-dire la vitesse. Le terme de droite dans l'équation s'appelle la *constante des aires*, notée C . En d'autres termes, si ω est la vitesse angulaire du Soleil, le produit ωr^2 est constant. Au voisinage de l'apogée, on a $\frac{d\lambda}{dt} = 0^\circ 57' 11''$ et $\frac{d\lambda}{dt} = 1^\circ 1' 10''$ au voisinage du périhélie.

Comme le diamètre solaire s varie comme l'inverse de la distance Terre-Soleil r , on peut écrire :

$$\frac{1}{s^2} \frac{d\lambda}{dt} = C$$

Si, dans la relation précédente, on entre les valeurs du diamètre solaire apparent s mesurées sur six mois (du périhélie à l'aphélie), on doit vérifier qu'elles obéissent à la loi ci-dessus. On peut le montrer de façon théorique avec les diamètres solaires issus des trois modèles précédents (fig. 11) : les diamètres calculés avec les modèles à équant et képlérien obéissent bien à l'équation de la loi des aires, tandis que les diamètres issus du modèle excentrique s'en écartent totalement.

D'après les sources bibliographiques disponibles, Giovanni Domenico Cassini n'a pas effectué ce calcul, et l'on ne peut donc pas affirmer qu'il ait démontré la seconde loi de Kepler. Il ne l'a d'ailleurs jamais revendiqué. En revanche, sa confirmation de la bissection de l'excentricité ainsi que sa démonstration de la variation de vitesse de la Terre autour du Soleil ne font, quant à elles, aucun doute.

13. Sur la réception des lois de Kepler au XVII^e siècle, voir J. L. Russell, « Kepler's Laws of Planetary Motion », *The British Journal for the History of Science*, vol. 2, n°1, juin 1964, p. 1–24.

14. Voir André Danjon, *Astronomie générale*, éd. Blanchard, Paris, 1980, p. 166–168.

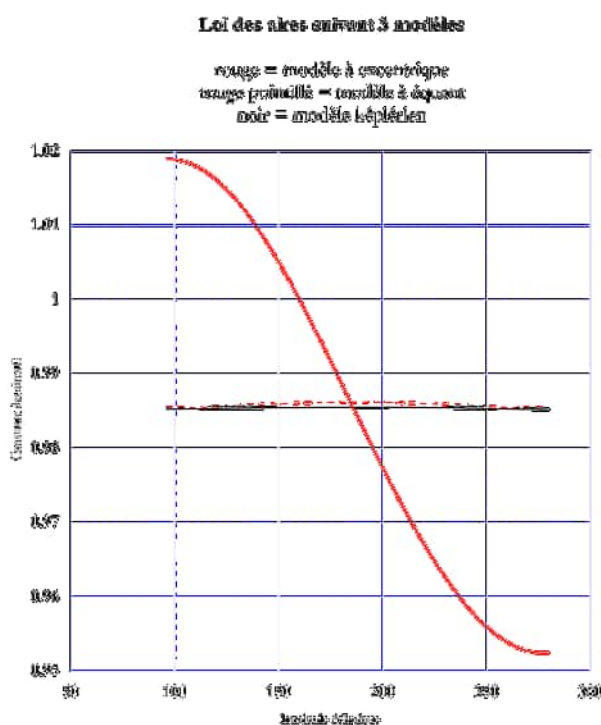


FIG. 6 – Ce graphique montre la relation $\frac{1}{s^2} \frac{d\lambda}{dt} = C$ en prenant pour s les diamètres selon les trois modèles.

2 La bisection de l'excentricité

Historiquement, le modèle excentrique a été introduit par Hipparque (II^e siècle av. J.-C), et repris plus tard par Ptolémée (II^e siècle ap. J.-C) pour rendre compte de la durée inégale des saisons. En décalant légèrement la Terre du centre de l'orbite, on parvenait à reproduire géométriquement cette inégalité. Cette solution, à la fois élégante et efficace, avait l'avantage de respecter les principes fondamentaux de l'astronomie antique : les orbites circulaires et le mouvement uniforme. Aux yeux des Grecs, l'effet observé n'était donc pas réel, mais dû à un simple effet de perspective. Le Soleil se déplaçait uniformément sur une orbite circulaire, mais son déplacement apparent, vu depuis une Terre excentrée, paraissait, quant à lui, irrégulier.

Si l'on se limite au premier terme du développement¹⁵ (l'excentricité de l'orbite terrestre étant très petite, égale à 0,016 853 au XVII^e siècle¹⁶), le modèle à équateur et le modèle képlérien donnent un résultat identique en ce qui concerne la distance Terre-Soleil. Le modèle

15. Au deuxième ordre de l'excentricité, les modèles aboutissent aux développements suivants, l'angle M étant compté depuis le périhélie de 0° à 180° à l'apogée :

$$r_{ex} = a[1 - 2e \cos M + e^2(1 - \cos 2M) + \dots]; r_{eq} = a[1 - e \cos M + 0.75 e^2(1 - \cos 2M) + \dots]; r_k = a[1 - e \cos M - 0.5 e^2 \cos 2M + \dots].$$

En ce qui concerne l'équation du centre, principale inégalité du mouvement du Soleil en longitude, les trois modèles donnent les développements suivants :

$$c_{ex} = 2e \sin M + 2e^2 \sin 2M + \dots; c_{eq} = 2e \sin M + e^2 \sin 2M + \dots; c_k = 2e \sin M + 1.25e^2 \sin 2M + \dots.$$

L'écart maximal entre le modèle képlérien et le modèle excentrique est de $\pm 44''$ tandis que l'écart maximal avec le modèle à équateur est de $\pm 15''$. Il s'agit de quantités impossibles à mesurer dans la longitude du Soleil, à l'époque, avec un instrument.

16. La valeur de l'excentricité au milieu du XVII^e siècle (1655) est calculée d'après la solution VSOP 87 : J.-L. Simon, P. Bretagnon, J. Chapront, M. Chapront-Touzé, G. Francou, J. Laskar, « Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the Planets », *Astronomy and Astrophysics*, vol. 282, 1994, p. 663-683. On calcule de même qu'au XVII^e siècle, le passage de la Terre au périhélie tombe vers le 28 décembre et le passage à l'aphélie le 28 juin.

excentrique produit en revanche des valeurs très inexactes, ce dont se rendit compte Kepler et l'incita, dans son *Astronomia nova* (1609), à attribuer à la Terre un modèle à équant.

Au début du XVII^e siècle, plusieurs astronomes jésuites¹⁷, dont Christoph Scheiner (1575-1650), Jean-Baptiste Cysat (1585-1657) et Christopher Grienberger (1561-1636), tentent de mesurer le diamètre apparent du Soleil. Leur expérience repose sur le principe de la chambre noire, principe optique sur lequel repose toutes les grandes méridiennes présentes dans les églises et qui permet, à travers un petit orifice, de projeter l'image du disque solaire. Cependant, les résultats obtenus par ces savants sont systématiquement trop élevés. Ce n'est que plus tard que le physicien, astronome et prêtre jésuite italien Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) apportera une explication à cette anomalie : le phénomène de diffraction de la lumière, qui provoque un élargissement de l'image projetée lorsque celle-ci passe par une ouverture très étroite.

Revenons à Kepler qui, bien avant la publication d'*Astronomia nova*, apporte la démonstration de la bissection de l'excentricité. En 1604, dans son ouvrage *Paralipomènes à Vitellion*¹⁸, il décrit son instrument et son expérience. L'instrument utilisé, construit dès 1600-1601, est une règle parallactique de 4 mètres de long, comportant une pinnule dotée d'un petit trou, et laissant entrer les rayons lumineux du Soleil. Ces rayons se projetaient sur une plaque perpendiculaire dont Kepler se servit pour faire ses mesures de diamètre sur plusieurs années (fig. 7). Celles-ci, conjuguées à celles de Tycho Brahe, lui permirent de déduire que le diamètre du Soleil variait de 30' à l'apogée à 31' au périhélie. Cette variation de 1' du diamètre entre hiver et été le conforta dans son hypothèse du modèle solaire à équant. Il en conclut que l'excentricité à adopter était la moitié de celle utilisée depuis l'Antiquité, soit 0,018. C'était, comme le souligne Delambre, un résultat remarquable¹⁹.

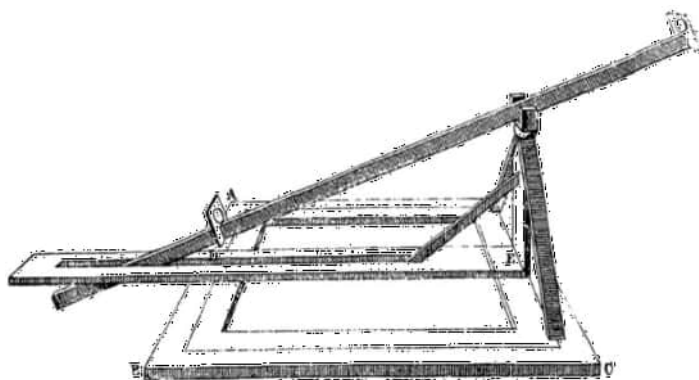


FIG. 7 – Figure donnée par Kepler de son instrument parallactique (*Ad Vitellionem paralipomena*²⁰, 1604).

Un résultat d'autant plus remarquable que le succès de Kepler tient autant à une caractéristique technique de son instrument qu'à la rigueur de sa méthode. Contrairement aux dispositifs utilisés par les astronomes jésuites, le trou par lequel passaient les rayons lumineux

17. Voir la liste donnée par Riccioli, *Astronomia Reformata*, Bologne, 1665, p. 38, plus complète que celle donnée dans son *Almagestum novum* de 1651 (cf. infra).

18. Kepler, *Ad Vitellionem paralipomena*, Francfort, 1604, chap. XI, p. 338-343. Voir également Y. Zik, G. Hon, « The Eccentricity of the Sun : Kepler's Novel Method of Calculation », *Journal for the History of Astronomy*, vol. 43, no. 2, 2012, p. 181-190.

19. Jean-Baptiste Delambre, *Histoire de l'astronomie moderne*, t. I, Paris, 1821, p. 376.

20. Joannis Kepleri, *Opera Omnia*, éd. Ch. Frisch, vol. II, Francfort, 1859, p. 341.

était suffisamment large pour s'affranchir des effets de la diffraction²¹. En outre, Kepler corrigeait systématiquement ses mesures en soustrayant le diamètre du trou de l'image solaire projetée, ce qui conduisait à des résultats bien plus précis. Kepler témoigne ainsi, pour son époque, d'une compréhension²² fine du fonctionnement d'une chambre noire.

La ligne méridienne de la basilique San Petronio entre en service en juin 1655. Jusqu'en 1661, elle est principalement utilisée par Giovanni Domenico Cassini, Francesco Maria Grimaldi et Giovanni Battista Riccioli (1598-1671), qui y effectuent de nombreuses mesures du Soleil. Dans son *Astronomia Reformata*, Riccioli²³ rapporte les diamètres solaires mesurés à San Petronio. Il obtient ainsi 31' 0" à l'apogée et 32' 4" au périhélie, ce qui correspond à une excentricité de 0,0169, soit environ la moitié de celle prédite par le modèle de Ptolémée. Les mesures de Cassini²⁴ aboutissent quant à elles à une excentricité de 0,016 32, très proche de celle obtenue par Riccioli.

En 1672, l'astronome britannique John Flamsteed (1646-1719) démontre à son tour la bissection de l'excentricité²⁵, en utilisant non pas une ligne méridienne comme ses prédécesseurs, mais un micromètre. Il obtient un diamètre solaire de 31' 30" à l'apogée et de 32' 40" au périhélie, ce qui, écrit-il, « [...] is sufficient evidence that the suns Excentricity is bisected as the Copernicans affirm [...] ». Flamsteed avait d'ailleurs écrit à Cassini qui lui avait confirmé l'exactitude de ses mesures.

La figure 8 page ci-contre montre la variation du diamètre apparent du Soleil entre ses deux valeurs extrêmes : au périhélie et à l'apogée. Le modèle à équant et le modèle képlérien montrent une variation quasi-identique tout au long de l'année, à tel point que les courbes paraissent confondues sur la figure. L'écart obtenu entre périhélie et apogée est d'environ 1'. En revanche, le modèle excentrique présente une variation beaucoup plus marquée et prédit un diamètre de 33' 7" au périhélie et de 30' 57" à l'apogée²⁶, soit une variation du diamètre qui s'élève à 2' 10" (fig. 8), supérieure à celle obtenue dans le cas du modèle à équant.

On notera que le modèle képlérien donne exactement le même résultat que le modèle à équant. Il s'agit là d'une réelle difficulté : étant donné la petitesse de l'excentricité de l'orbite terrestre, il était impossible au XVII^e siècle de distinguer un modèle à équant d'un modèle képlérien à partir de la mesure du diamètre apparent solaire. De plus, le modèle à équant obéit aussi à la loi des aires²⁷, ce qui accentue la difficulté. Cette remarque importante ne doit pas être perdue de vue.

21. Le choix du diamètre optimal de l'ocillon d'une méridienne à chambre obscure est une question complexe, débattue depuis fort longtemps. Des facteurs de nature géométrique, optique et physiologique interviennent, dont certains échappent à une modélisation mathématique précise. Diminuer le diamètre de l'ocillon produit une image plus nette, grâce à une largeur de pénombre réduite, mais les effets de la diffraction finissent par devenir prépondérants en dessous d'un certain seuil. À l'inverse, un ocillon trop grand produit une image floue et imprécise, en raison de la superposition des images issues des différents points de la source lumineuse.

22. Voir à ce sujet T. Quick, J. Grebe-Ellis, « Kepler's Moon puzzle — A historical context for pinhole imaging », *American Journal of Physics*, 93, 2025, p. 215–222.

23. Giovanni Battista Riccioli, *Astronomia Reformata*, op. cit., p. 37.

24. Giovanni Battista Riccioli, *Astronomia Reformata*, op. cit., p. 37 : $d_a = 31' 8''$ et $d_p = 32' 10''$. Cassini a publié ses premières éphémérides du Soleil, *Ephemerides solis* et *Tabulae refractionum ex novissimis hypothesibus*, à la suite des *Ephemerides novissimæ* de Cornelio Malvasia parues en 1662 à Modène. Dans la préface (p. 155), il précise qu'il a adopté une excentricité solaire de 0,017 au lieu de 0,018 adoptée par Kepler.

25. *The Gresham Lectures of John Flamsteed*, éd. Eric G. Forbes, éd. Mansell, Londres, 1975, p. 197 (conférence faite par John Flamsteed au Gresham College de Londres le 16 novembre 1681).

26. Dans le modèle excentrique, le diamètre du Soleil au périhélie est égal à $\frac{1920''}{a(1-2e)}$, soit 33' 7" et à $\frac{1920''}{a(1+2e)}$, soit 30' 57" à l'apogée, soit une variation de 2' 10" en six mois.

27. C. Bracco, J.-P. Provost, « Had the planet Mars not existed : Kepler's equant model and its physical consequences », *European Journal of Physics*, 30, 2009, p. 1085–1092. Dans un modèle à équant, il est aisé de voir que l'angle rapporté au

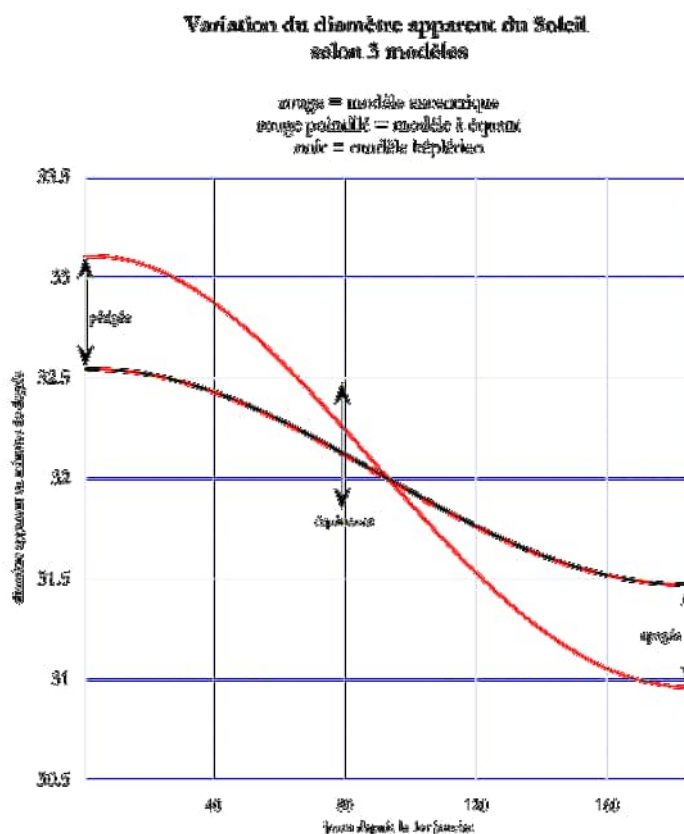


FIG. 8 – Variation pour chacun des trois modèles du diamètre apparent du Soleil en minutes d’arc en fonction du nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} janvier.

3 Cassini et la méridienne de la basilique San Petronio

Giovanni Domenico Cassini était, d’après les éléments biographiques dont on dispose, un enfant vif et intelligent. De 1638 à 1646, il fréquente le Collège des Jésuites à Gênes²⁸, où il reçoit une excellente formation, tant culturelle que spirituelle. Il manifeste très tôt une inclination naturelle pour les mathématiques et l’astronomie qui le conduit à se plonger dans les *Éléments* d’Euclide, les *Tables Alphonsines* et les *Tables Rudolphines*. En 1649, sur la sollicitation du marquis Cornelio Malvasia (1603-1664), Cassini quitte Gênes pour Bologne, la ville où démarre véritablement sa carrière scientifique. Il mène ses premiers travaux²⁹ à l’Observatoire de Panzano (près de Modène), propriété du marquis Malvasia, puis obtient en 1651 la chaire d’astronomie de la prestigieuse Université de Bologne.

La ligne méridienne de Cassini remplace celle précédemment construite en 1576 par Ignazio Danti (1537-1586), un dominicain, cosmographe et professeur de mathématiques à l’Université de Bologne. L’agrandissement de la basilique en 1653, et la démolition du mur portant l’œilleton, eurent raison de la méridienne de Danti. C’est dans ce contexte particulier que Cassini proposa un nouvel instrument deux fois et demi plus long que le précédent, afin de permettre des observations plus précises.

centre du cercle, sur lequel se déplace le Soleil, ne croît pas de façon uniforme, étant affecté d’une équation du centre. Autrement dit, le mouvement du Soleil sur ce cercle n’est pas uniforme.

28. À la suite de la suppression de l’Ordre des Jésuites, le bâtiment est, depuis 1775, le siège de l’Université de Gênes.

29. Son premier ouvrage publié concerne l’observation de deux comètes (*De cometa anni 1652 et 1653, apud Sulianum*, Modène, 1653).

En ce milieu du XVII^e siècle, les grandes méridiennes occupent une position stratégique, à l'intersection d'enjeux scientifiques et religieux. Pour l'Église, il s'agit de s'assurer de l'exactitude de la réforme du calendrier grégorien instaurée en 1582 par le pape Grégoire XIII, et de stabiliser ainsi le calcul de la date de Pâques. Pour les astronomes, c'est l'occasion de trancher une question controversée (*cf. infra*) concernant l'inégalité du mouvement apparent du Soleil. C'est ainsi que Cassini se lance en 1655 dans la construction de la méridienne de la basilique San Petronio à Bologne³⁰ (fig. 9).

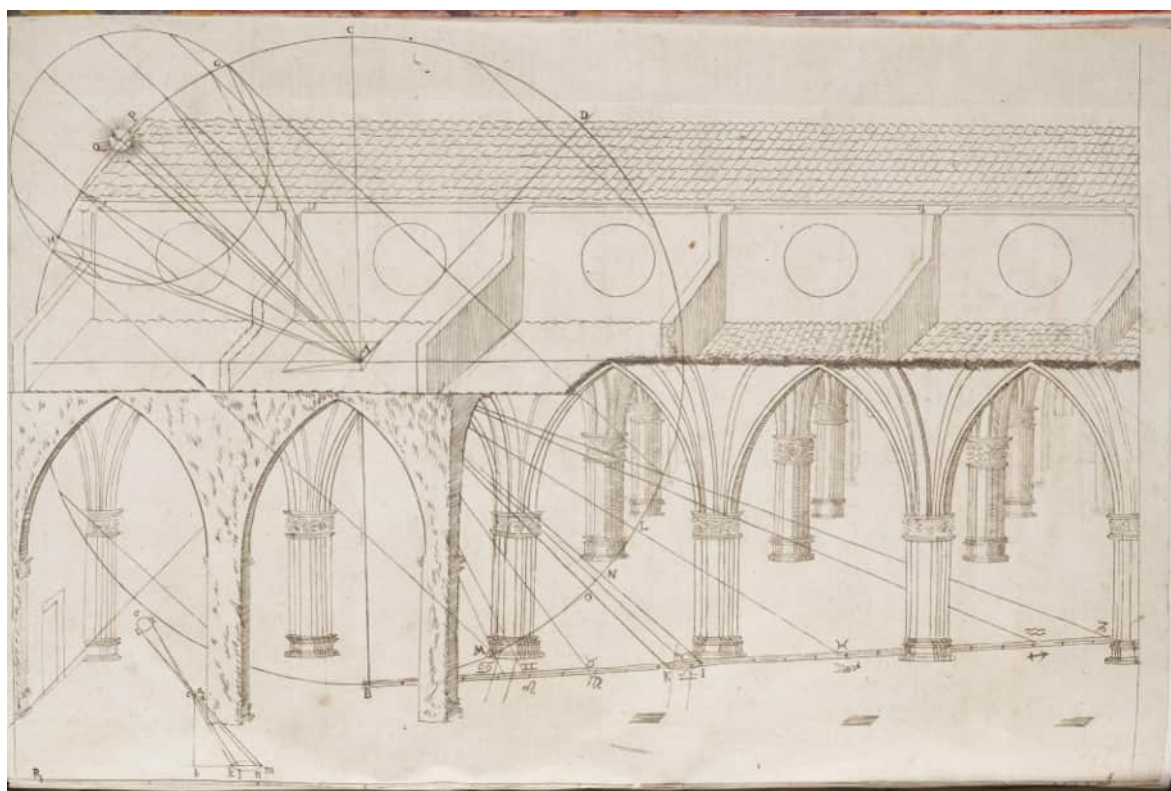


FIG. 9 – Gravure extraite de l'ouvrage *La meridiana del tempio di San Petronio rinnovata l'anno 1776*, (Bologne, 1779), écrit par Eustachio Zanotti. L'analemme vitruvien³¹ avec son *menaeus*³² montre le principe de tracé des signes zodiacaux sur la méridienne de 67 m de long, depuis l'œilleton situé à 27 m de haut.

De 1650 à 1750, les grandes méridiennes installées dans les églises ont connu un véritable âge d'or, suscitant l'admiration de leurs contemporains³³. Pour certains historiens

30. On consultera en priorité l'ouvrage de Giovanni Paltrinieri, le gnomoniste bolognais qui connaît le mieux la méridienne : *La Meridiana della Basilica di San Petronio in Bologna*, 2001. Voir également les nombreux articles consacrés à la méridienne lors de l'année Cassini en 2005 : *Giornale di Astronomia*, *op. cit.* Enfin l'ouvrage de John L. Heilbron, *Astronomie et églises*, *op. cit.*, reste incontournable.

31. L'analemme de Vitruve (architecte romain du 1^{er} siècle av. J.-C.) est une construction géométrique qui permet de déterminer des éléments fondamentaux liés au mouvement annuel du Soleil, sur les méridiennes et/ou cadrans solaires.

32. Cercle représentant l'écliptique, autrement dit la trajectoire du Soleil dans le ciel au cours de l'année.

33. « Si la beauté des choses astronomiques dépend de l'utilité que l'on peut en retirer, alors assurément les Lignes Méridiennes peuvent être comptées parmi les plus belles choses » (*Giornale de' letterati d'Italia*, tome 6, 1711, p.118–119. Voir également John L. Heilbron, *Astronomie et églises*, *op. cit.*, p. 7.

des sciences³⁴, elles témoignent du soutien séculaire de l'Église à l'astronomie, malgré des périodes d'opposition plus farouches.

Cependant, à partir de la fin du XVIII^e siècle, les méridiennes tombent progressivement en désuétude. Elles sont peu à peu supplantées par les instruments muraux (cercle méridien, quart de cercle), plus précis et performants grâce à l'usage de verniers et à l'emploi de lentilles améliorant la qualité optique.

4 Description de l'instrument et mesure du diamètre solaire

La méridienne se démarque par ses dimensions exceptionnelles, 67 m de long, qui en font, encore aujourd'hui, la plus longue méridienne du monde. Placé à 27 m de haut, l'œilleton a un diamètre de 27 mm, conformément à la règle empirique — dite du millième — introduite par Cassini³⁵.

L'image solaire projetée au sol est faiblement elliptique le jour du solstice d'été, avec un grand axe de 32 cm. En revanche, au solstice d'hiver, le grand axe de l'image projetée mesure 184 cm et son petit axe 70 cm. Sa vitesse de déplacement au sol est de 12 cm/min au solstice d'été et de 29 cm/min au solstice d'hiver.

La méridienne proprement dite est une bande de laiton de 4 mm de large, dont la direction Nord-Sud a été obtenue par Cassini par la méthode des *hauteurs égales* au voisinage du solstice d'été. Elle comporte une double graduation : d'un côté, la tangente de la distance zénithale du Soleil multipliée par 100 ; de l'autre, les heures et minutes de passage au méridien en « heures du campanile », autrement dit l'heure italique comptée depuis l'Avé Maria.

Notons qu'en 1758 l'horloger Domenico Fornasini a installé près de la méridienne une horloge mécanique à équation qui indique l'heure française (comptée depuis minuit) et « l'heure du campanile ».

La méridienne a été remaniée plusieurs fois, tout d'abord en 1695 par Giovanni Domenico Cassini et Domenico Guglielmini (1655-1710), puis entièrement restaurée en 1776 par l'astronome Eustachio Zanotti (1709-1782) : c'est la méridienne visible aujourd'hui (fig. 10). Une première vérification géodésique a été effectuée en 1904, suivie d'une seconde en 2005 qui montre un déplacement non négligeable de l'œilleton³⁶. En 2017, de nouveaux relevés³⁷ mettent en évidence une réduction des imperfections de la ligne méridienne, attribuable à une compensation fortuite, et concluent à l'absence de tout mouvement structurel significatif de la basilique depuis 2005. Le même auteur poursuit son étude³⁸ en mars 2023,

34. « Pendant plus de six siècles, de la fin du Moyen Âge (...) jusqu'au Siècle des Lumières, l'Église catholique romaine a financièrement et socialement soutenu des travaux d'astronomie, et ce plus que toute autre institution. » (John L. Heilbron, *Astronomie et églises*, op. cit., p. 5).

35. En 1655, alors qu'il construit la méridienne de San Petronio, Cassini choisit un diamètre d'œilleton valant 1/1000 de sa hauteur par rapport au sol. Ce choix, popularisé par la renommée de l'astronome et de sa méridienne, sera fréquemment repris pour devenir une valeur de référence, bien que certains auteurs aient reconnu par la suite que ce n'était pas forcément un bon choix.

36. Alberto Nicelli, Alessandro Gunella, Giovanni Paltrinieri, « La meridiana di Cassini nell'anno Cassiniano : rilievi solari odierni, errori sistematici e verifiche strutturali », *XIII Seminario Nazionale di Gnomonica*, 2005, p. 145–152. Les mesures faites par ces trois spécialistes montrent un déplacement de l'œilleton de 18 mm vers le Nord et de 7 mm vers l'Est. Si cela n'affecte pas l'instant de passage au méridien compte tenu de la précision atteinte par la méridienne, la position de l'image au sol est, quant à elle, modifiée et impacte donc la mesure de la hauteur du Soleil.

37. G. De Donà, « Il transito a San Petronio », *Orologi Solari*, n°13, avril 2017, p. 35–45.

38. G. De Donà, « Verifiche della linea meridiana di San Petronio, Bologna », *XXIII Seminario Nazionale di Gnomonica*, mai 2023, p. 29–41.

en vérifiant l'état du nivellement de la ligne dans la zone équinoxiale de la méridienne : l'affaissement y apparaît moins marqué que dans la zone du solstice d'hiver, où il est régulièrement observé depuis la vérification géodésique de 1904. En décembre 2023, des relevés complémentaires³⁹ indiquent un abaissement du niveau de la ligne d'environ 4 cm en 40 ans dans la zone du solstice d'hiver. En revanche, aucune variation notable n'est constatée, d'une année à l'autre, pour les instants de passage au méridien. Ceci laisse supposer un affaissement localisé dans la zone nord de la nef centrale, et non un déplacement de l'œilleton.



FIG. 10 – Ligne méridienne de la Basilique San Petronio de Bologne, restaurée par Eustachio Zanotti en 1776.

Les mesures commencent à San Petronio dès juin 1655 sous la houlette de Giovanni Domenico Cassini et vont se poursuivre avec ses successeurs jusqu'en décembre⁴⁰ 1736. L'ensemble des mesures a été compilé par Eustachio Manfredi (1674-1739) dans son ouvrage *De Gnomone Meridiano Bononiensi Ad Divi Petronii*⁴¹, paru à Bologne en 1736. Il s'agit d'un document très important, à la fois sur l'histoire de la méridienne, sur les questions liées aux méthodes d'observations, mais aussi sur les résultats obtenus à partir des 4070 observations journalières⁴² menées sur 81 ans (cf. *infra*). La consultation de ces dernières révèle que

39. G. De Donà, « Il transito a San Petronio (BO) al solstizio d'inverno del 2023 », *XXIV Seminario Nazionale di Gnomonica*, octobre 2024, p. 65-71.

40. Remarquons qu'à partir de 1702, la méridienne de San Petronio est entrée en concurrence avec celle construite à Rome dans l'église Santa Maria Degli Angeli par Francesco Bianchini (1662-1729), la fameuse « ligne Clémentine » du nom du pape Clément XI qui a décidé de sa réalisation, où Eustachio Manfredi a aussi observé. Rapidement, il a été constaté des divergences dans les résultats entre les deux méridiennes : Eustachio Manfredi, *De Gnomone Meridiano Bononiensi Ad Divi Petronii*, Bologne, 1736, chap. XI, p. 33.

41. Remercions ici le gnomoniste italien Alessandro Gunella qui, entre 2001 et 2012, a réalisé la traduction complète de l'ouvrage, facilitant ainsi son étude.

42. Comme le précise Eustachio Manfredi, de nombreuses données numériques lui ont été fournies en 1704 par Giacomo Filippo Maraldi (1665-1729), neveu de Cassini avec lequel il travailla à l'Observatoire de Paris. Sur l'exploitation moderne des résultats de San Petronio édités par Manfredi pour l'étude du minimum de Maunder, voir I. Tovar, A. J. P. Aparicio, V. M. S. Carrasco, M. C. Gallego, J. M. Vaquero, « Analysis of Solar Diameter Measurements Made at the Basilica of San Petronio during and after the Maunder Minimum », *The Astrophysical Journal*, vol. 912, n°2, 2021, p. 1-6, qui conclut à la non-variation du diamètre solaire durant cette période 1655-1736. Le même type d'analyse a été fait pour la méridienne de Santa Maria Degli Angeli à Rome : voir Constantino Sigismondi, Andrea Brucato, Giulia Andreasi Bassi, « Solar Astrometry in Rome at the End of the Maunder Minimum », *Universe*, (MDPI) 11, 186, 2025, p. 1-15.

Giovanni Domenico Cassini a principalement observé à San Petronio les deux premières années suivant la construction de la méridienne. On constate également l'existence de plusieurs périodes sans aucune observation consignée, des années dites « blanches » : 1662, 1664, 1665, 1680-1683, 1685-1689, 1692-1694 et 1716.

Le principe de détermination du diamètre solaire sur la méridienne est le suivant :

- À l'instant où l'image solaire franchit le méridien, l'observateur note au crayon les limites nord et sud de l'image (fig. 10).
- À l'aide des graduations de la méridienne (échelle des tangentes), il en déduit la distance zénithale z_{sup} et z_{inf} (complément de la hauteur du Soleil) de chaque bord, que l'on corrige de la réfraction et de la parallaxe.
- On obtient finalement le diamètre solaire s en faisant la différence $z_{\text{sup}} - z_{\text{inf}}$.

Par exemple⁴³, le 21 décembre 1656 (fig. 10), on lit sur l'échelle graduée de la méridienne 250 050 et 243 440, soit $z_{\text{sup}} = 68^\circ 12' 9''$ et $z_{\text{inf}} = 67^\circ 40' 5''$. Après corrections⁴⁴, on obtient $z_{\text{sup}} = 68^\circ 14' 26''$ et $z_{\text{inf}} = 67^\circ 42' 19''$ d'où $s = 32' 7''$. La distance zénithale z_v du centre du Soleil est égale à $z_{\text{sup}} - (s/2)$, soit $67^\circ 58' 22''$.

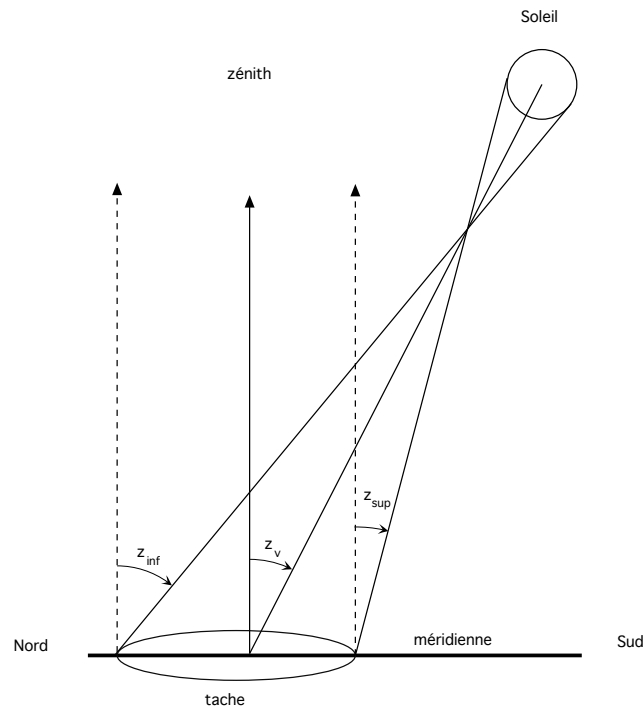


FIG. 11 – Principe de détermination du diamètre solaire avec l'image projetée au sol.

Les mesures méridiennes permettent également de calculer la déclinaison δ du Soleil ainsi que sa longitude éclipique λ . On montre en effet aisément que la distance zénithale z_v s'écrit $z_v = \varphi - \delta$ où φ est la latitude du lieu d'observation. La trigonométrie sphérique permet d'établir les relations de passage entre les coordonnées équatoriales d'un astre et

43. Eustachio Manfredi, *De Gnomone Meridiano Bononiensi, Observationes Meridianæ Solis*, Bologne, 1736, p. 105. La distance zénithale d'un bord s'obtient en faisant $\arctan\left(\frac{\text{valeur lue}}{1\,000\,000}\right)$.

44. La valeur correcte de la réfraction (table de Radau) est $-2' 29''$ et la parallaxe en hauteur ($8''.8 \cos h$) est égale à $8''$, d'où une valeur finale de $68^\circ 14' 30''$. Le calcul moderne aboutit à un diamètre solaire de $32' 31''$.

ses coordonnées écliptiques. On a ainsi $\sin \delta = \sin \varepsilon \sin \lambda$ où ε représente l'obliquité de l'écliptique. Le 10 novembre 1696⁴⁵, la distance zénithale z_v du centre du Soleil est égale à $62^\circ 1' 12''$. Connaissant la latitude de San Petronio de $44^\circ 29' 41''$ ainsi que $\varepsilon = 23^\circ 28' 30''$ (valeur de l'époque), il vient $\delta = -17^\circ 31' 31''$ et $\lambda = 229^\circ 6' 27''$, c'est-à-dire que le Soleil se situe vers le milieu de la constellation du Scorpion, à mi-chemin environ entre l'équinoxe d'automne et le solstice d'hiver de l'année 1696⁴⁶.

Sans entrer plus dans les détails, notons également que des mesures méridiennes effectuées lors de deux solstices permettent de déterminer la latitude φ du lieu d'observation ainsi que la valeur ε de l'obliquité de l'écliptique⁴⁷.

5 La controverse

La bissection de l'excentricité, c'est-à-dire savoir si l'excentricité suivait la valeur proposée par Ptolémée ou si elle était moitié moindre comme le soutenait Kepler, dépassait largement le simple désaccord numérique. Elle relevait d'un enjeu bien plus profond concernant le mouvement du Soleil (et donc celui de la Terre).

Dans le modèle excentrique, le Soleil se déplace à vitesse constante et l'irrégularité de son mouvement n'est qu'apparente, causée par la position excentrée de la Terre. En introduisant le point équiant, Kepler suggère que l'irrégularité du mouvement tient, pour une part, à la position excentrée de la Terre et, pour l'autre part, à une variation intrinsèque de sa vitesse. Cassini l'exprime en ces termes⁴⁸ :

« Une controverse très importante agite actuellement les astronomes modernes, concernant la théorie du mouvement annuel du Soleil. En effet, comme les observations immédiates révèlent que le Soleil avance de façon inégale dans son mouvement annuel — plus lentement pendant l'été, plus rapidement pendant l'hiver — certains soutiennent que cette inégalité est purement apparente, et que, en réalité, le Soleil se meut toujours également le long d'un cercle qui englobe la Terre dans son orbite, mais sans que le centre de ce cercle coïncide avec celui de la Terre. Contrairement à ce qu'enseignait Aristote avec les astronomes de son temps, ils pensent que le centre du cercle solaire est déplacé vers la portion hivernale de l'orbite du Soleil, de sorte qu'il est plus proche de cette partie que de celle de l'été, qui lui est opposée. Ainsi, en prenant des portions égales sur les deux segments de l'orbite (hivernal et estival), la portion hivernale, plus proche, apparaîtra plus longue, la portion estivale, plus éloignée, apparaîtra plus courte. De cette façon, le Soleil parcourt chaque moitié en un temps égal, bien que leur longueur apparente diffère, parcourant cette orbite, il semblera cependant parcourir un plus long trajet en hiver, un plus court en

45. Eustachio Manfredi, *De Gnomone Meridiano Bononiensi Ad Divi Petronii*, op. cit., p. 12; la valeur de la latitude de $44^\circ 29' 41''$ est celle donnée par Eustachio Manfredi p. 16.

46. Eustachio Manfredi, *De Gnomone Meridiano Bononiensi Ad Divi Petronii*, op. cit., p. 16–17.

47. Eustachio Manfredi, *De Gnomone Meridiano Bononiensi Ad Divi Petronii*, op. cit., p. 15–16. Soient z_e et z_h les distances zénithales du centre du Soleil mesurées, respectivement, lors du solstice d'été et du solstice d'hiver. À partir de $z_e = \varphi - \varepsilon$ et $z_h = \varphi + \varepsilon$, on obtient $z_e + z_h = 2\varphi$ et $z_e - z_h = 2\varepsilon$. Au XVIII^e siècle, les grandes méridiennes de l'époque entrèrent en concurrence afin de déterminer précisément l'obliquité de l'écliptique ε , et surtout de savoir si celle-ci varie dans le temps.

48. G. D. Cassini, *Controversa Prima astronomica ad maximum heliometrum D. Petronii examini exposita* (première controverse astronomique soumise à l'examen du très grand héliomètre de San Petronio). Il s'agit du chapitre final de l'ouvrage *Specimen Observationum Bononiensium*, Bologne, 1656.

été. Ainsi, il apparaîtra plus rapide en hiver, plus lent en été, même s'il avance également dans les deux cas.

Ils attribuent donc une distance suffisante entre la Terre et le centre de l'orbite solaire annuelle pour rendre compte de toute l'inégalité observée dans le mouvement du Soleil. De cette manière, Ptolémée et ses successeurs expliquent le mouvement annuel du Soleil au moyen d'un simple cercle excentré par rapport à la Terre, le long duquel le Soleil avancerait uniformément. Et de manière équivalente, Copernic, Tycho Brahé, Longomontanus, Lansberge, et d'autres auteurs adoptent cette même explication. D'autres, comme Kepler et Bullialdus [NDT : Ismaël Boulliau], Ismaël reconnaissent bien que la Terre est située entre le centre de l'orbite solaire et sa portion hivernale, mais ils n'accordent pas une distance suffisante entre la Terre et ce centre pour reproduire entièrement l'inégalité observée. Ils estiment donc qu'une partie de cette inégalité apparente provient en réalité d'une inégalité réelle dans le mouvement du Soleil lui-même, à savoir : un ralentissement réel dans une portion de son orbite, une accélération réelle dans une autre. Ainsi, l'inégalité que l'on observe résulterait à la fois : d'une cause réelle (physique), et d'une cause apparente (optique). »

Bien connu pour sa verve et la manière avec laquelle il rendait accessibles et plaisants les sujets scientifiques, Bernard de Fontenelle⁴⁹ mentionne la bissection de l'excentricité parmi les « doutes importants et difficultés essentielles » qui subsistent en astronomie.

Il poursuit de manière plus simple que Cassini :

« Il est certain & que le Soleil paraît maintenant aller plus lentement en Été qu'en Hiver, & qu'il est plus éloigné de la Terre en Été. Ce plus grand éloignement doit diminuer l'apparence de sa vitesse. Mais n'y a-t-il point de plus dans cette vitesse une diminution réelle ? C'était le sentiment de Kepler, & de Bouillaud⁵⁰, tous les autres⁵¹ tant anciens que modernes croyaient le contraire, & la certitude de la Théorie du Soleil & des autres Planètes dépendait en grande partie de cette question. »

Dans une publication⁵² datée de 1656, Cassini se dit « étonné de la multiplicité des mouvements d'une seule et même planète, composée de plusieurs cercles, et aussi de la diversité des différents mouvements des planètes entre elles ». Un tel « enchevêtrement » de cercles « provenait de la très ancienne présupposition d'un mouvement circulaire simple des corps célestes » et les nouveaux cercles qui s'ajoutaient aux anciens n'étaient là que pour « suppléer aux défauts des hypothèses antérieures, jusqu'à ce qu'ils approchent le plus près possible des observations ». Il suppose à juste titre que les orbites du Soleil (i.e la Terre) et des autres planètes sont similaires, c'est-à-dire possiblement décrites par un modèle à équant :

49. Bernard de Fontenelle, « Éloge de M. Cassini », *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, année 1712, p. 83–104.

50. En 1645, dans son *Astronomia Philolaica*, l'astronome Ismaël Boulliau (1605-1694) publie l'hypothèse elliptique simple qui consiste à placer le Soleil au second foyer de l'ellipse. Cela évitait de résoudre l'équation de Kepler, l'anomalie vraie étant égale à l'anomalie moyenne lorsqu'on se limite au premier ordre en excentricité. Étant donné la faible excentricité de l'orbite terrestre, l'écart avec la véritable solution n'était pas décelable au XVII^e siècle : voir Curtis Wilson, « Predictive astronomy in the century after Kepler », *op. cit.*, p. 172–185 et « From Kepler's Laws, So-called to Universal Gravitation : Empirical Factors », *op. cit.*, p. 89–170.

51. Parmi « ces autres », Cassini mentionne Ptolémée, Alphonse (roi Alphonse X de Castille), Copernic, Tycho Brahé, Christian Longomontanus et Philippe van Lansberge. Voir G. D. Cassini, *Novum lumen astronomicum ex novo heliometro*, Bologne, 1655.

52. G. D. Cassini, *Specimen Observationum Bononiensium*, *op. cit.*, p. 24–26.

«Et bien que j'aie admis que le Soleil se meuve dans un simple cercle, et non dans un autre genre de ligne comme les planètes, de manière égale, il faut cependant supposer que la voie du Soleil appartient au même genre que celle des autres planètes, mais qu'elle diffère imperceptiblement du cercle : telle est donc la voie du Soleil...Que le mouvement du Soleil s'accomplisse de manière inégale, même si une telle inégalité réelle est très difficile à distinguer de l'inégalité apparente; cela n'est cependant pas entièrement impossible, si l'on disposait, à propos du Soleil, d'observations plus exactes que celles des Anciens. Car tout cela laissait croire, par simple convenance avec l'uniformité des mouvements célestes, qu'il en était ainsi. Ayant ainsi médité sur l'examen des anciennes hypothèses, je me tournai vers les hypothèses plus récentes, parmi lesquelles je trouvai avec grand plaisir certains auteurs qui expliquaient les mouvements inégaux des planètes par des lignes simples, d'un autre genre que le cercle, et qui les faisaient toutes appartenir à un même et unique genre de lignes; ils avaient même construit des tables selon ces hypothèses, tables qui répondaient aux observations mieux que toutes les autres.»

Cassini⁵³ souligne que ces observations s'annoncent difficiles :

«Il fallait commencer par le Soleil, et examiner s'il se mouvait selon sa propre ligne de manière égale ou inégale : tâche assurément ardue, car bien qu'il soit admis que le Soleil apparent présente une certaine inégalité dans son mouvement, il n'était pas aisé de distinguer, dans cette inégalité apparente, ce qui relevait d'une véritable inégalité physique».

Fontenelle⁵⁴ le rejoint en ce sens :

«(...) la difficulté était de faire ces observations avec assez de sûreté. Comme il ne s'agissait que d'une minute [NDR : de degré] de plus, ou de moins dans la grandeur du diamètre du Soleil, & que les instruments étaient trop petits pour la donner sûrement, chaque Observateur pouvait la mettre ou l'ôter à son gré, & en disposer en faveur de son hypothèse, & la question demeurerait toujours indécise. Nous ne donnerons que cet exemple de l'extrême importance dont peuvent être chez les Astronomes de petites grandeurs indignes par tout ailleurs d'être comptées.»

«Ces petites grandeurs» justifient pour Fontenelle la nécessité de grands instruments pour relever les défis de l'astronomie de l'époque :

«Ainsi la précision de l'Astronomie demande de grands Instruments. Il se présenta heureusement à M. Cassini une occasion d'en avoir un, le plus grand qui eût jamais été, précisément lorsqu'il était dans le dessein de refondre toute cette Science. (...)»

6 La méthode utilisée par Cassini à San Petronio

Comment s'y est pris Cassini pour démontrer la bissection de l'excentricité ? Plusieurs de ses ouvrages apportent des éléments de réponse. Dans *Controversa Prima astronomica*⁵⁵, Cassini évoque trois méthodes «étroites, difficiles, tortueuses et remplies de dangers évidents à chaque tournant» :

53. G. D. Cassini, *Specimen Observationum Bononiensium*, op. cit., p. 24–26.

54. Bernard de Fontenelle, «Éloge de M. Cassini», op. cit., p. 83–104.

55. G. D. Cassini, *Controversa Prima astronomica ad maximum heliometrum D. Petronii examini exposita*, op. cit., 1656.

- la première consiste à effectuer «*des observations opportunes réparties sur l'année*» et puisque «*l'inégalité dans le mouvement du Soleil est distribuée différemment selon les hypothèses*», il s'agira a posteriori «*d'identifier à quelle hypothèse correspond le mieux la distribution observée*». Cassini souligne ainsi que l'écart «*entre les deux hypothèses, même à son maximum, dépasse à peine une minute et quelques secondes*».
- la seconde nécessite la mesure du diamètre apparent du Soleil près du périhélie, puis de l'apogée. Cette méthode tentée par les astronomes jésuites et Kepler (cf. *supra*) n'a visiblement pas convaincu Cassini qui écrit : «*Les auteurs de ces deux hypothèses ont bien tenté cette méthode avec beaucoup de soin, mais le débat est encore ouvert, car chacun revendique l'autorité des observations qu'il soutient*». Étant donné la faible différence entre les deux hypothèses («*à peine 1'*»), Cassini conclut que la «*distinction (est) presque impossible à observer*». Signalons également que la détermination précise de la date du périhélie et de l'apogée pouvait être une difficulté supplémentaire et qu'il fallait attendre six mois pour disposer des mesures nécessaires.
- la troisième méthode se fondait sur «*des observations opportunes des planètes, dont les positions varient selon les hypothèses*». En revanche, poursuit Cassini, ces positions «*sont affectées par de nombreuses autres inégalités, dont la distinction est très difficile, et dont il est quasiment impossible de déterminer clairement la part exacte*».

Au passage, Cassini confirme dans *Specimen Observationum Bononiensium*⁵⁶ que la bissection de l'excentricité fut la motivation principale de la réalisation de la méridienne :

«*Pour ma part, bien que j'aie tenté pendant plusieurs années d'observer de multiples manières le diamètre solaire, en raison toutefois de l'insuffisance des instruments je n'ai pu rien déterminer de certain en cette matière. C'est ce qui m'a conduit à entreprendre la construction de cette installation astronomique de Saint-Pétronie.*»

En 1684, alors qu'il est maintenant à l'Observatoire de Paris, Cassini publie *Les Éléments de l'astronomie vérifiés* consacré aux résultats obtenus à l'aide des observations de l'astronome Jean Richer (1630-1696) faites à Cayenne. Cassini y donne une table du demi-diamètre solaire en fonction des mois⁵⁷ et précise (p. 29) :

«*Kepler avait distribué l'inégalité du Soleil en deux parties : l'une optique, qui résulte de l'excentricité à cause de la perspective ; l'autre physique ou réelle, qui est un effet naturel d'accélération véritable à mesure que la distance du Soleil à la Terre diminue, & d'un retardement réel à mesure que cette distance augmente : ce qui avait déjà été établi dans les Planètes supérieures, & dans Venus par Ptolémée. Cette distinction ayant été vérifiée dans la construction de nos Tables par la comparaison de la variation apparente du diamètre du Soleil depuis l'Apogée jusqu'au Périhélie avec l'accélération apparente de son mouvement laquelle se fait en même temps, on trouva que la vitesse apparente du Soleil augmente en proportion double de*

56. G. D. Cassini, *Specimen Observationum Bononiensium*, op. cit., p. 24–26.

57. Cette table (p. 22) intègre les mesures effectuées au micromètre par Jean Picard (1620-1682), Jean Richer et Cassini. On vérifie que le diamètre à l'apogée est de 31' 40" contre 32' 46" au périhélie, valeurs différentes de celles obtenues à San Petronio (cf. *supra*). Sur les mesures du diamètre solaire au cours des siècles, voir Michel Toulmonde, *Étude comparative de diamètres solaires observés à partir d'instruments astrométriques*, thèse de doctorat, Observatoire de Paris, 1995 (disponible dans HAL).

l'augmentation de son diamètre apparent : de sorte que quand le diamètre du Soleil en passant de l'Apogée vers le Périgée augmente de sa trentième partie, le mouvement apparent augmente de deux trentièmes, dont l'une est optique, & vient de la même cause qui fait l'augmentation apparente du diamètre du Soleil; & l'autre par conséquent est physique, à peu près égale à l'optique».

Dans l'ouvrage qu'il publie en 1695 avec Domenico Guglielmini, *La Meridiana del Tempio di S. Petronio*, Cassini explique très bien (p. 14) sa démarche et ce qu'il a obtenu :

*«Après quelque temps, en comparant entre eux des points de l'écliptique très éloignés les uns des autres avec les temps des observations, on constatait l'inégalité du mouvement annuel du Soleil, qui faisait tantôt croître, tantôt diminuer son mouvement propre quotidien. Et, en comparant en même temps le diamètre apparent du Soleil observé à ces mêmes moments, on constatait aussi son augmentation et sa diminution. Enfin, en comparant les mouvements journaliers avec les diamètres observés aux mêmes moments, on découvrait que l'inégalité des mouvements était presque double de l'augmentation du diamètre du Soleil — au lieu d'être égale, comme cela devrait être le cas si les variations du mouvement quotidien sur l'écliptique, et celles du diamètre, provenaient entièrement d'une seule cause, c'est-à-dire de la seule variation de distance. Car, selon l'optique, c'est cette variation de distance qui cause la variation du diamètre apparent du Soleil. Il fallait donc que, en plus de la cause optique, qui doit aussi modifier le mouvement apparent du Soleil sur l'écliptique, il y eût une autre cause, qui le faisait varier davantage⁵⁸. Cela soutenait fortement l'opinion de Kepler, qui avait introduit dans le Soleil, comme Ptolémée l'avait fait pour certaines autres planètes, une inégalité de mouvement physique et réelle, correspondant à la variation des distances entre le Soleil et la Terre. Ainsi, pour imiter ce que Ptolémée avait fait pour les autres planètes, il fallait introduire un équant [NDT : point fictif autour duquel un corps céleste semble se mouvoir uniformément], dont le centre serait éloigné du centre de la Terre d'une distance équivalente à celle que l'on attribuait communément à l'excentrique du Soleil; cet équant réglerait l'inégalité de son mouvement apparent, sans que le Soleil se déplace réellement le long de cette circonférence, mais plutôt sur un cercle excentré de moitié par rapport à cette distance. Or, comme plusieurs astronomes venus après Kepler — tels que Lansbergue et Riccioli — n'acceptaient pas ces hypothèses et affirmaient au contraire qu'elles contredisaient les observations du diamètre du Soleil et de ses mouvements quotidiens, je jugeai bon de publier une feuille contenant certaines de ces observations de Saint-Petronio. Cet avis ne fut pas inutile, car il poussa le P. Riccioli à s'éclaircir sur ce point, au point qu'il abandonna son hypothèse initiale, qu'il avait pourtant défendue avec vigueur dans son *Astronomia Reformata*, publiée quelques années plus tôt. Ce point était l'un des plus importants en astronomie, non seulement pour ce qui concerne le Soleil — dont les éclipses ne peuvent être bien calculées sans connaître avec exactitude la variation apparente de son diamètre*

58. Précisons que Kepler dans l'*Astronomia nova* (chap. 60), divisait l'équation du centre, en deux composantes : une composante dite « optique » et une composante dite « physique ». La première correspond à l'angle sous lequel on voit la distance Terre-Centre (donc l'excentricité) sur la ligne des apsides (on suppose que c'est le Soleil qui tourne autour de la Terre) et qui rend compte du ralentissement apparent ; la seconde correspond à l'angle sous lequel on voit la distance Centre-Point équant (donc aussi l'excentricité) et qui est due au fait que le Soleil a réellement une vitesse non uniforme. Voir Curtis Wilson, « Kepler's Derivation of the Elliptical Path », *Isis*, vol. 59, n°1, 1968, p. 1-25.

— mais aussi pour ce qui concerne les autres planètes, dont on ne peut calculer les mouvements tels qu'ils sont vus depuis la Terre, sans connaître les proportions exactes des distances entre le Soleil et la Terre. Or, dans l'hypothèse des Anciens, cette distance variait du double par rapport à ce que nous avons constaté selon nos observations modernes ».

Cassini se prononce ici sur le fait que sa méridienne a confirmé la bissection de l'excentricité par l'introduction d'un équant solaire. Il ne manque pas de rappeler que ses mesures ont eu un impact important sur une personnalité influente ; car lorsque Cassini construit la méridienne de San Petronio, l'astronomie bolonaise est dominée par un astronome jésuite de premier plan, Giovanni Battista Riccioli (1598-1671). Anti-copernicien notoire, Riccioli est l'auteur d'un ouvrage majeur du XVII^e siècle, l'*Almagestum novum*, paru à Rome en 1651, dans lequel il consacre un chapitre à l'équant solaire de Kepler qu'il rejette totalement en arguant qu'il est incompatible avec les mesures de diamètre solaire effectuées depuis l'Antiquité⁵⁹. Riccioli va activement participer aux mesures du diamètre solaire faites avec la méridienne pendant plusieurs années. Cela l'amènera à revoir sa position sur la bissection de l'excentricité dans un ouvrage ultérieur tout aussi fondamental que le premier, l'*Astronomia Reformata*⁶⁰ — tout en restant toujours anti-copernicien.

En 1712, Fontenelle⁶¹ commente également le succès de Cassini à la méridienne :

« Une des premières réponses qu'il⁶² [NDR : la ligne méridienne de San Petronio] rendit fut sur la variation de la vitesse du Soleil. Il prononça nettement en faveur de Kepler & Bouillaud, qu'elle était en partie réelle (...). Les nouvelles Observations de M. Cassini furent si exactes, & si décisives, qu'il en composa des Tables du Soleil, plus sûres que toutes celles qu'on avait eues jusqu'alors. »

Voyons maintenant ce qu'écrit Eustachio Manfredi dans *De Gnomone Meridiano Bononiensi* (p. 67) :

« Kepler considéra que, pour expliquer les phénomènes, il fallait abandonner la figure circulaire et adopter la forme elliptique, et que l'égalité ne devait pas être recherchée dans les arcs ou dans les angles, mais dans les aires. Il convainquit presque tous les astronomes à ce sujet pour Mars et pour presque toutes les autres planètes ; en ce qui concerne le Soleil, toutefois, la question restait encore douteuse lorsque Cassini, ayant construit ce gnomon, estima que l'occasion lui était offerte de la trancher. En effet, si aucune irrégularité, hormis apparente, n'avait été constatée dans le mouvement du Soleil, il fallait que sa vitesse augmentât en proportion de la diminution de la distance ; et puisque la grandeur apparente [NDT : du disque solaire] devait être proportionnelle aux distances, il en résultait que le rapport entre les vitesses suivrait les mêmes règles que le rapport entre les diamètres. Il jugea que, grâce à cet instrument, on pourrait certainement vérifier si tel était bien le cas,

59. *Almagestum novum*, t. 1, p. 119 et p. 147–152. Le tableau donné p. 119 regroupe toutes les mesures effectuées depuis l'Antiquité, y compris celles de Riccioli qui aboutissent à un diamètre variant de 30' 50" à 33' 8". Sur Riccioli et sa compréhension de Kepler, voir Flavia Marcacci, « Understanding, Disseminating, and Interpreting Kepler : The Role of Giovanni Battista Riccioli and the Law of Orbits », *Atti del XLI Convegno Annuale SISFA*, Arezzo, 2021, p. 307–316.

60. *Astronomia Reformata*, *op. cit.*, p. 37, Riccioli donne les valeurs du diamètre solaire qu'il a obtenu à l'aide de la méridienne de San Petronio : 31' 0" à l'apogée et 32' 4" au périhélie.

61. Bernard de Fontenelle, « Éloge de M. Cassini », *op. cit.*, p. 83–104.

62. L'emploi du pronom personnel *il* s'explique par le fait que Fontenelle qualifie la méridienne de San Petronio de « *nouvel oracle d'Apollon* », métaphore soulignant son statut de lieu sacré destiné à interroger la divinité solaire Apollon.

car il permettait de mesurer le diamètre du Soleil jour après jour, et d'en déduire les vitesses à partir des dimensions relevées à deux ou plusieurs jours d'intervalle. Ainsi, après avoir effectué de nombreuses mesures de ce genre, non seulement il mit en évidence la fausseté de l'ancienne hypothèse, mais il trouva que le rapport entre les vitesses se retrouvait dans celui entre les diamètres, ce qui s'accordait merveilleusement avec l'égalité des aires de Kepler. Il est plutôt surprenant que cette loi de proportionnalité entre les vitesses, qui a ensuite été confirmée par d'autres astronomes, ait pu être déterminée par lui avec une telle précision à partir des diamètres solaires, étant donné que les diamètres mesurés à l'aide de cet instrument ne sont absolument pas exacts, comme nous l'avons dit au chapitre IV⁶³. Mais il se trouva que, dans les observations dont il s'est servi, les diamètres conservaient leur juste rapport, bien qu'ayant une valeur inférieure à la réalité.

L'importance d'une telle constatation pour l'astronomie peut se comprendre par le fait que la distance entre la Terre et le centre de l'orbite du Soleil devenait inférieure à la moitié de ce qu'était l'inégalité apparente, de sorte que la distance de l'apogée solaire devait être augmentée, par rapport au périhélie, seulement de la moitié de la différence prévue par l'hypothèse précédente. Il en résultait donc une variation considérable de toutes les autres distances entre les apsides ; sans en tenir compte, il devenait impossible de déterminer la position des autres planètes par rapport à la Terre. En utilisant ces données, Cassini construisit en 1660 ses tables du Soleil, rendant obsolètes les précédentes, qu'il avait établies avant de découvrir les réfractions. Pour leur élaboration, il se basa, avec Kepler, sur la forme elliptique de l'orbite solaire. Mais en adoptant l'hypothèse de Kepler sur l'égalité des aires, la répartition annuelle de l'anomalie solaire se présentait semée de difficultés, et la détermination de l'apogée devenait également beaucoup plus ardue. »

Enfin, dans son autobiographie⁶⁴ parue en 1810, Cassini revient sur cet épisode important de sa carrière scientifique :

*« Un des principaux usages que je fis de mes observations à la nouvelle méridienne de Sainte-Pétronne, fut de montrer par leur moyen que l'inégalité du mouvement apparent du soleil ne dépend pas immédiatement de son excentricité, qui est cause que son diamètre apparent paraît plus grand dans le périhélie que dans l'apogée. Mes observations firent voir que le diamètre apparent du soleil, qui diminue en s'éloignant du périhélie, ne diminue pas à proportion comme le mouvement de cet astre dans l'écliptique. Kepler l'avait déjà avancé ; mais les astronomes, entr'autres le père Riccioli, n'avaient pu se le persuader jusqu'alors. Le savant jésuite, convaincu par mes observations, auxquelles il assistait quelquefois y revint à l'opinion de Kepler, comme on le voit dans son *Astronomie réformée*. À cette occasion même il me proposa de coopérer avec lui à ce grand ouvrage et de le publier ensemble ; mais je m'y refusai, ne me croyant pas autant de facilité que lui pour écrire.*

63. Manfredi dans le chapitre IV rapporte la difficulté qu'il y a à mesurer le diamètre solaire qui doit être corrigé de l'effet de pénombre. Cassini corrigeait les mesures de 1/60 du diamètre de l'image mais Manfredi dit explicitement que cette règle n'est pas toujours valable. Il conclut en disant qu'il est préférable d'utiliser une lunette plutôt qu'une méridienne pour déterminer le diamètre apparent du Soleil.

64. J.-D. Cassini (alias Cassini IV), « Anecdotes de la vie de J.-D. Cassini (alias Cassini I) rapportées par lui-même », *Mémoires pour servir à l'histoire des sciences et à celle de l'Observatoire royal de Paris, suivis de la vie de J.-D. Cassini, écrite par lui-même, et des éloges de plusieurs académiciens morts pendant la Révolution*, 1810, p. 268–269.

Le tremblement assez considérable qu'éprouvait l'image du soleil, marquée sur le pavé de notre méridienne y rendait souvent difficile la détermination exacte du diamètre. Pour plus de précision, j'avais soin de marquer sur le pavé les termes où arrivait l'élançement du soleil; ce qui ne laissait pas encore d'être assez difficile à cause de la faiblesse de la lumière vers les extrémités de l'image. De là vient qu'on ne saurait établir une hypothèse du mouvement du soleil sans l'incertitude de quelques secondes. Cela cependant ne m'empêcha pas de reconnaître, comme je l'ai dit ci-dessus, que la variation apparente du diamètre du soleil, dans son passage de l'apogée au périhélie, est environ la moitié plus petite que l'inégalité du mouvement apparent dans le même intervalle de tem(p)s. »

7 Les résultats obtenus par Cassini

Les deux dernières pages du *Specimen Observationum Bononiensium* sont riches d'enseignements. C'est à notre connaissance la seule source imprimée de Cassini dans laquelle l'astronome explicite sa démarche en fournissant les valeurs numériques qu'il utilise. Cassini utilise la « première méthode » (cf. *supra*), à savoir celle qui consiste à comparer les observations faites sur deux intervalles de temps distincts.

- **Premier intervalle**⁶⁵ : du 19 (équinoxe de printemps) au 20 mars 1656.

Diamètre solaire apparent : 31' 40" (19 mars) et 31' 23" (20 mars)

*Longitude écliptique*⁶⁶ : 359° 35' 36" (19 mars) et 360° 35' 17" (20 mars).

Mouvement en longitude écliptique : 59' 27"/jour.

- **Second intervalle** : du 25 au 30 juillet 1655.

*Diamètre solaire apparent*⁶⁷ : 31' 5", soit 1865".

*Longitude écliptique*⁶⁸ : 122° 14' 35" (25 juillet) et 127° 1' 0" (30 juillet).

Mouvement en longitude écliptique : 57' 17"/jour.

Le choix des intervalles d'observations s'avère particulièrement judicieux et permet de maximiser le succès de la méthode. Cassini précise en effet qu'il est important de veiller « à ce que le mouvement diurne de déclinaison, à partir duquel est déduit le mouvement diurne dans le Zodiaque, ait une vitesse suffisante pour qu'une erreur insensible dans le premier n'entraîne pas une erreur notable dans le second »⁶⁹.

Cette recommandation justifie pleinement le choix de l'équinoxe de printemps, moment de l'année où la vitesse de variation de la déclinaison est maximale. Quant au second intervalle,

65. Voir les pages 5, 6 et 10 de l'ouvrage *Specimen Observationum Bononiensium*, op. cit.

66. À la différence des constellations zodiacales, les signes zodiacaux ont tous une longueur de 30° sur l'écliptique. À l'époque, les longitudes écliptiques sont fréquemment exprimées à partir du début du signe considéré. Par exemple, puisque les Poissons sont le 11^e signe zodiacal, une longitude de 29° 35' 36" dans les Poissons correspond à $11 \times 30^\circ + 29^\circ 35' 36'' = 359^\circ 35' 36''$.

67. Cassini affirme avoir observé du 25 au 30 juillet 1655. Pourtant dans *De Gnomone Meridiano Bononiensi*, p. 99, Manfredi (tout comme Riccioli dans *Astronomia Reformata*, livre I, chap. 3) consigne les observations du 26, 29 et 30 juillet 1655 mais déclare n'avoir aucune trace des observations du 25, 27 et 28 juillet. La valeur de 31' 5" est donc une moyenne des diamètres mesurés les 26, 29 et 30 juillet 1655.

68. On se trouve ici dans le signe zodiacal du Lion avec une longitude écliptique variant de 120° à 150°.

69. G. D. Cassini, *Specimen Observationum Bononiensium*, op. cit., p. 31–32. Cela exclut d'office l'observation aux apsides (contrairement à la « deuxième méthode », cf. *supra*), où la vitesse en déclinaison est faible, ainsi qu'aux solstices, où cette fois la vitesse en déclinaison est nulle.

la position $\lambda \approx 120^\circ$ constitue un bon compromis. Elle est à la fois suffisamment proche de l'apogée pour garantir un diamètre solaire plus petit qu'à l'équinoxe de printemps (et donc une variation de son diamètre plus facilement mesurable) mais aussi suffisamment éloignée de l'apogée pour éviter une vitesse minimale en longitude, difficile à mesurer.

Du 25 juillet 1655 au 19 mars 1656, le diamètre apparent s a subi une variation relative égale à $\Delta s/s = (31' 40'' - 31' 5'')/31' 5'' = 7/373$. Puisque le diamètre apparent a augmenté entre ces deux dates, cela signifie que sur la même période la distance Terre-Soleil r a diminué. On a $\Delta r/r \approx -\Delta s/s \approx -7/373$.

De manière générale, la longueur l d'un arc de cercle s'écrit $l = r \cdot \alpha$ où α est l'angle en radians sous lequel est vu l'arc. Dans l'hypothèse du modèle excentrique, le Soleil décrit une orbite circulaire à vitesse constante, et donc les arcs de cercle parcourus en des intervalles de temps égaux sont de longueurs égales. On aura ainsi, pour deux intervalles de temps égaux, $l_1 = l_2$ d'où $r_1 d\lambda_1 = r_2 d\lambda_2$ avec $d\lambda_{1,2}$ la variation de longitude écliptique durant l'intervalle de temps considéré (ici un jour)⁷⁰. La relation précédente s'écrit alors $r_1 d\lambda_1/dt = r_2 d\lambda_2/dt$ qui devient $r_1 \Delta\lambda_1/\Delta t = r_2 \Delta\lambda_2/\Delta t$ en utilisant les différences finies. En posant $\Lambda_{1,2} = \Delta\lambda_{1,2}/\Delta t$, on obtient $r_1 \Lambda_1 = r_2 \Lambda_2$ ce qui implique $r\Lambda = \text{constante}$ et donc $\Delta\Lambda/\Lambda = \Delta r/r$. Enfin, comme $\Delta r/r \approx -\Delta s/s$, on aboutit à la relation $\Delta\Lambda/\Lambda \approx -\Delta s/s$.

Quelle sera alors la variation $\Delta\Lambda$ du mouvement diurne en longitude écliptique induite par l'augmentation Δs du diamètre apparent (elle-même induite par la diminution Δr de la distance Terre-Soleil) mesurée entre juillet 1655 et mars 1656 ?

C'est la question à laquelle Cassini tente de répondre. Si l'hypothèse du modèle excentrique est correcte alors diminuer la distance de Δr (ou de manière équivalente, augmenter le diamètre apparent de Δs) doit permettre d'obtenir un mouvement en longitude identique sur les deux intervalles considérés (juillet 1655 et mars 1656).

L'application numérique permet d'obtenir $\Delta\Lambda \approx (\Delta s/s)\Lambda \approx (7/373) \cdot (57' 17'') \approx 1' 4'',5$ qui, ajouté au mouvement en longitude observé en juillet 1655, donne : $57' 17'' + 1' 4'',5 = 58' 21'',5 \neq 59' 27''$. La variation de la distance Terre-Soleil ne permet pas donc de retrouver un mouvement en longitude égal à celui observé à l'équinoxe de mars 1656. Un effet, autre que celui dû à la variation de distance, est donc à l'œuvre.

Cassini conclut en ces mots :

« Si nous ajoutons cela au mouvement journalier du début du Lion (57 minutes et 17 secondes), nous obtenons 58 minutes et 22 secondes, ce qui représente le mouvement équivalent au début du Bélier (NDT : à l'équinoxe de printemps). Si le mouvement journalier au début du Bélier est inférieur à cette valeur, le Soleil sera clairement plus lent, même s'il paraît plus rapide ; s'il le dépasse, il sera plus rapide. Or, nous avons trouvé ici un mouvement journalier non pas de 58 minutes et 22 secondes (comme l'aurait impliqué la proximité (NDT : du Soleil) s'il se mouvait uniformément sur son orbite), mais de 59 minutes et 27 secondes. Le Soleil était donc plus rapide au début du Bélier. La différence est de 1 minute et 5 secondes, et cette vitesse physique diffère imperceptiblement de la vitesse apparente. Ainsi, cette comparaison d'observations démontre non seulement que l'inégalité observée du Soleil est en partie apparente et en partie physique, mais aussi que le Soleil subit autant d'inégalité physique que d'inégalité apparente. »

70. L'intervalle de temps considéré est ici suffisamment court (24 h) pour que la variation dr de la distance Terre-Soleil soit telle que $dr \approx 0$. D'autre part, puisque la Terre est excentrée du centre de l'orbite, deux arcs suffisamment éloignés l'un de l'autre sur l'orbite ne seront donc pas vus depuis la même distance Terre-Soleil, c'est-à-dire que $r_1 \neq r_2$.

Le modèle à équant s'impose face au modèle excentrique. Il existe effectivement une variation réelle de la vitesse du Soleil (inégalité physique), qui s'ajoute à l'effet apparent déjà connu, lié à la variation de la distance Terre-Soleil (inégalité apparente). Cassini affirme même que ces deux effets sont d'amplitudes égales (fig. 12). En effet, on observe que : $57' 17'' + 1' 4'',5 = 58' 21'',5$ et $58' 21'',5 + 1' 5'',5 = 59' 27''$.

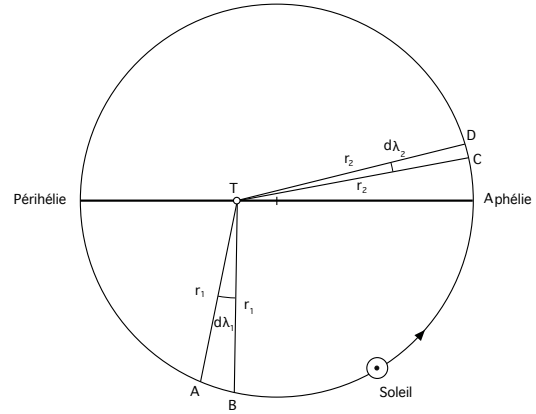


FIG. 12 – Dans le cas d'un modèle à équant et képlérien, l'égalité $r_1 d\lambda_1 = r_2 d\lambda_2$ n'est plus vraie, puisqu'en 24 h l'arc AB mesuré au voisinage de l'équinoxe de printemps n'est pas égal à l'arc CD mesuré après le passage à l'aphélie. Le Soleil a donc une vitesse variable sur sa trajectoire.

Notons que, dans ses écrits, Cassini évoque à plusieurs reprises une proportion double entre la variation du mouvement et celle du diamètre. Cette relation n'apparaît toutefois pas de manière évidente dans l'exemple développé ci-dessus.

Pour les modèles excentriques et à équant, on montre que la distance Terre-Soleil r et l'anomalie vraie v s'écrivent, au premier ordre de l'excentricité e :

$$r \approx 1 + A \cos M + B(1 - \cos 2M)$$

$$v \approx \omega t + C \sin \omega t + D \sin 2\omega t$$

avec M l'anomalie moyenne ($M = \omega t$), ω le moyen mouvement ($\omega = \frac{2\pi}{365,2596}$) et A, B, C, D quatre coefficients multiples de l'excentricité e . On peut montrer que le quotient de la variation relative $\Delta\dot{v}/\dot{v}$ du mouvement par la variation relative $\Delta r/r$ de la distance au Soleil est donné par :

$$(\Delta\dot{v}/\dot{v})/(\Delta r/r) \approx C/A$$

ou

$$(\Delta\dot{v}/\dot{v})/(\Delta s/s) \approx -C/A \quad (\text{car } \Delta r/r \approx -\Delta s/s)$$

On a, pour le modèle excentrique, $A = -C = -2e$ et $A = -C/2 = -e$ pour le modèle à équant de Kepler. Ainsi, le quotient des variations relatives vaut ± 1 dans le cas du modèle excentrique et ± 2 pour le modèle à équant.

Revenons à l'exemple présenté par Cassini dans *Specimen Observationum Bononiensium*. En juillet 1655, le diamètre apparent est de $31' 5''$ et de $31' 40''$ à l'équinoxe de mars 1656. Le mouvement en longitude⁷¹ est de $57' 17''$ en juillet 1655 et de $59' 27''$ à l'équinoxe de printemps de 1656. D'où :

71. L'anomalie vraie v et la longitude écliptique λ sont égales à un terme additif près, appelé longitude du périhélie ω , considéré comme constant sur des échelles de temps « courtes » (typiquement plusieurs années), ce qui est notre cas ici. On a ainsi $\lambda = \omega + v$ et donc $\dot{\lambda} = \dot{v}$; en 1656, on a $\omega \approx 97^\circ 2'$.

$$\frac{\frac{59' 27'' - 57' 17''}{57' 17''}}{\frac{31' 40'' - 31' 5''}{31' 5''}} \approx 2,015$$

La variation relative de la vitesse angulaire est pratiquement deux fois plus grande que celle du diamètre apparent du Soleil, excluant donc le modèle excentrique de Ptolémée en faveur du modèle à équant de Kepler.

Comparons à présent avec les éphémérides modernes (JPL Horizons et IMCCE⁷²) calculées pour la Basilique de San Petronio (44° 29' 34" N et 11° 20' 36" E, coordonnées modernes WGS84) à l'instant du passage du Soleil au méridien.

	25 juillet 1655		30 juillet 1655	
	<i>G. D. Cassini</i>	<i>JPL - IMCCE</i>	<i>G. D. Cassini</i>	<i>JPL - IMCCE</i>
Diamètre solaire apparent	31' 5" (valeur moyennée sur 5 jours)	31' 30"	31' 5" (valeur moyennée sur 5 jours)	31' 31"
Longitude écliptique	122° 14' 35"	122° 12' 50"	127° 1' 0"	126° 59' 57"

	19 mars 1656 (équinoxe)		20 mars 1656	
	<i>G. D. Cassini</i>	<i>JPL - IMCCE</i>	<i>G. D. Cassini</i>	<i>JPL - IMCCE</i>
Diamètre solaire apparent	31' 40"	32' 3"	31' 23"	32' 3"
Longitude écliptique	359° 35' 36"	359° 32' 26"	360° 35' 17"	360° 31' 50"

En juillet 1655, le diamètre apparent donné par les éphémérides modernes est de 31' 30" et de 32' 3" à l'équinoxe de mars 1656. Le mouvement en longitude est de 57' 25",2 en juillet 1655 et de 59' 25" à l'équinoxe de printemps de 1656.

D'où :

$$\frac{\frac{59' 25'' - 57' 25'',2}{57' 25'',2}}{\frac{32' 3'' - 31' 30''}{31' 30''}} \approx 1,992$$

On retrouve là encore une valeur très proche de 2.

Conclusion

L'examen attentif des différentes sources provenant de Giovanni Domenico Cassini et de ses contemporains conduit à la même conclusion. Par ses observations à San Petronio, l'astronome ligure a confirmé la nécessité de bissecter l'excentricité par rapport au modèle ptolémaïque. Il s'agit du premier résultat scientifique obtenu grâce à la méridienne de San

72. <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons> et <https://ssp.imcce.fr/forms/ephemeris>. Il s'agit des coordonnées apparentes de la date dans le repère topocentrique.

Petronio, lors des deux premières années d'utilisation de l'instrument, ce qui témoigne de l'importance que Cassini accordait à cette question. Les calculs qu'il effectua vinrent conforter non seulement l'hypothèse képlérienne, mais également celle d'Ismaël Boulliau, fondée sur le modèle à équant, lequel sera amélioré par plusieurs astronomes au cours de la seconde moitié du XVII^e siècle⁷³.

Néanmoins, l'expression « *hypothèse képlérienne* » a parfois été interprétée comme une référence explicite à la seconde loi de Kepler. Certaines sources anciennes utilisant cette appellation ont ainsi été reprises par des auteurs modernes qui y ont vu une preuve observationnelle de la loi des aires⁷⁴. Les sources disponibles montrent pourtant clairement que Cassini n'a jamais affirmé une telle démonstration, et cela pour une raison essentielle : en 1656, départager les deux modèles képlériens — le modèle à équant et le modèle elliptique — était hors de portée des observations même pour les plus grandes méridiennes. Cette limitation observationnelle s'explique principalement par la faible excentricité de l'orbite terrestre, mais aussi par le fait que la seconde loi de Kepler n'était pas encore formellement mise en équation. Si Newton en proposa une démonstration⁷⁵ élégante dans les *Principia*, il faudra attendre le XVIII^e siècle et le développement du calcul différentiel pour en établir l'expression analytique : $r^2 \frac{d\lambda}{dt} = C$.



73. Voir M. de Lalande, *Astronomie*, t. 2, Paris, 1771, p. 41–45. Parmi les astronomes qui ont fait usage de cette hypothèse elliptique simple (expression due à Cassini selon Lalande), on peut citer Seth Ward (1617-1689) et Edmund Halley (1656-1742).

74. Paradoxalement, l'un des auteurs du XVIII^e siècle à diffuser ce raccourci est Eustachio Manfredi qui, dans *De Gnomone Meridiano Bononiensi*, *op. cit.*, p. 67, évoque explicitement la loi des aires.

75. Voir la traduction par Émilie du Châtelet, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, édition critique par Michel Toulmonde, t. 1, Paris, 2015, p. 239-240.

D'une courbe diurne au tracé du cadran

par GILBERT VINCENT

MOTS CLEFS

Cadran solaire; courbe diurne; direction (déclinaison); équinoxiale; gnomonique; hyperboles; inclinaison; lignes horaires; traitement statistique; vrai centre du cadran.

RÉSUMÉ

Cet article décrit en premier lieu une méthode de détermination des paramètres de l'orientation de la surface dédiée au cadran par enregistrement d'une courbe diurne et ajustement statistique; une possibilité existe même sans utilisation de l'heure! Ensuite, si le style est fixé avant le tracé, une aide originale est apportée pour calibrer au mieux les lignes souhaitées. Cette méthode est accessible à tout gnomoniste sachant se servir des fonctions élémentaires d'un tableur.

©2026 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1 Introduction

L'orientation d'un cadran et en particulier sa direction ou déclinaison¹ est un paramètre crucial qui fait l'objet d'un numéro spécial de la CCS [1] dans lequel de nombreuses solutions sont proposées, dont une de l'auteur qui consiste à enregistrer une courbe diurne sur une table provisoire fixée sur la future surface du cadran. C'est cette dernière méthode qui est tout d'abord développée ici. Si on ajoute à la direction ainsi déterminée la latitude (facile!), l'inclinaison, le type et la longueur du style, le cadran peut alors être complètement calculé, tracé et le style positionné.

Pour une réalisation plus précise il est fortement conseillé de placer tout d'abord le style, muni d'un œilleton, et de l'utiliser pour calibrer le tracé. Nous verrons que l'enregistrement

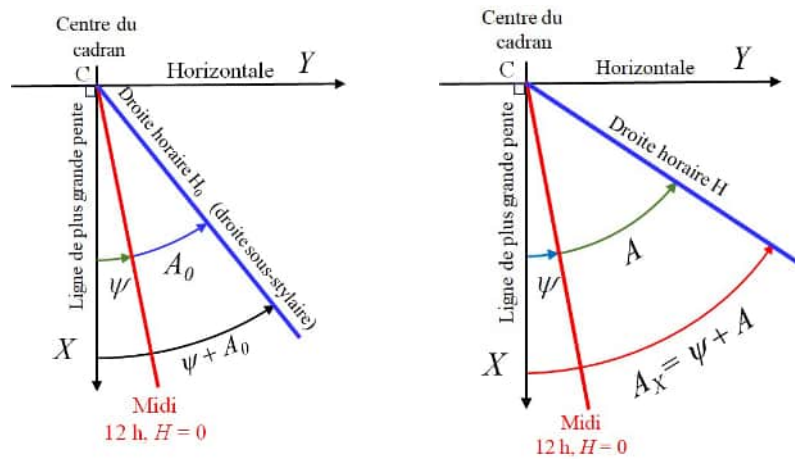
1. Le mot déclinaison, très largement employé, prête à confusion avec la déclinaison du soleil et il fait d'ailleurs plus penser à un angle vertical; il serait mieux nommé azimuth du cadran, mais là aussi il y a conflit avec celui du soleil. L'auteur préfère, sans changer la notation habituelle (D), appeler cet angle *Direction*; on dit bien d'un mur qu'il est dirigé vers l'Est ou le Sud, ou sur un sentier que l'on prend la direction Ouest puis Sud-Ouest. Déclinant quant à lui pourra être remplacé par *désorienté*, ou *décalé*, par rapport au Sud, Est, Ouest ...

d'une nouvelle courbe diurne peut alors rendre de précieux services et notamment servir à déterminer la « vraie » longueur du style et le « vrai » centre du cadran.

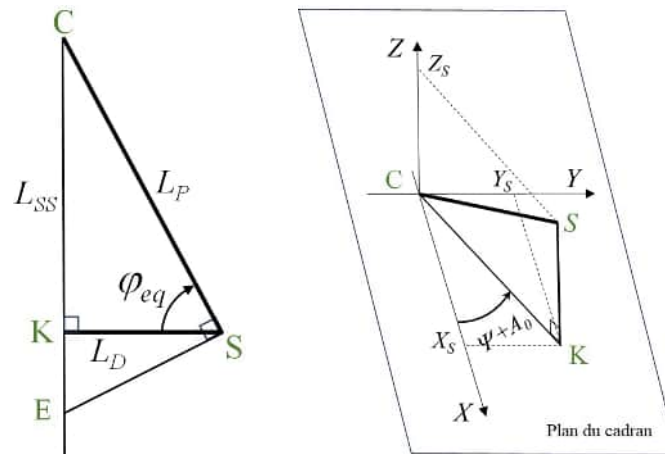
Pour faciliter la présentation, nous nous placerons dans l'hémisphère nord en nous focalisant sur les cadrans pas trop désorientés par rapport au méridien, ni trop inclinés ; pour les cas plus extrêmes, et plus rares, le gnomoniste pourra consulter l'article [2] qui traite de manière simple et concise tous les cas de figure, hémisphère sud compris, avec des exemples numériques pour valider les relations.

2 Formulaire de calcul

Ces préliminaires permettent de calculer les grandeurs caractéristiques du cadran et les coordonnées de l'extrémité de la tige et du spot lumineux de l'œilleton en utilisant principalement les coordonnées polaires. Les notations et la définition des grandeurs utilisées sont explicitées dans l'Annexe 2 en fin d'article et les principales résumées sur la figure 1.



(a) Droites de référence, angles constants Ψ et A_0 et angles variables A et A_x



(b) Style polaire L_P , droit L_D et sous-style L_{SS} . Positionnement X_S , Y_S , Z_S de l'extrémité

FIG. 1 – Principales grandeurs utilisées (suite page suivante).

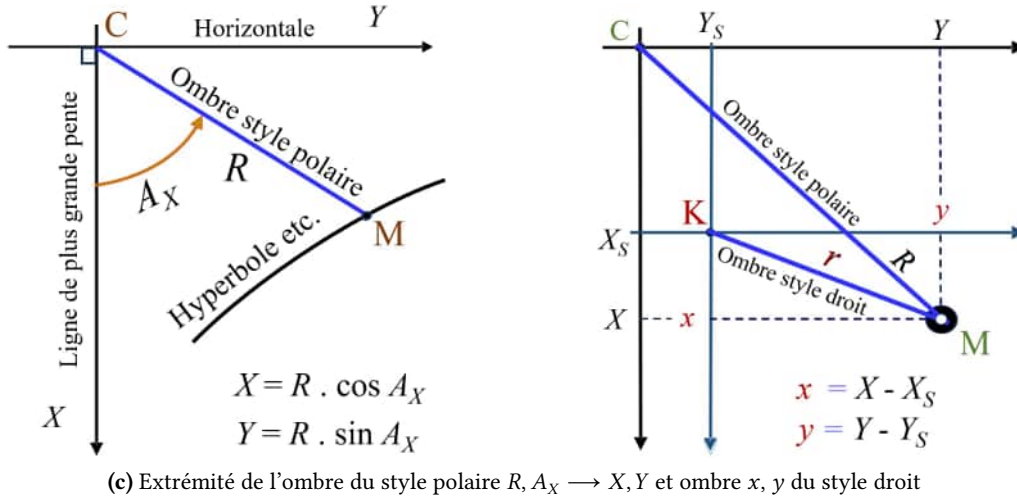


FIG. 1 – Principales grandeurs utilisées (suite et fin). La convention sur l'orientation des axes n'est pas habituelle, voir l'[Annexe 2](#) à ce sujet.

2.1 Constantes du cadran

Voir les figures 1a et 1b.

$$q = \cos \varphi \cos I \cos D - \sin \varphi \sin I \quad (2.1)$$

$$\cos \varphi_{eq} = q \quad \varphi_{eq} \text{ latitude équivalente}^2 \quad 0 < \varphi_{eq} < \pi \quad (2.2)$$

$$\tan H_0 = \frac{\sin D}{\sin \varphi \cos D + \cos \varphi \cdot \tan I} \quad \text{décalage temporel}^3 \quad (2.3)$$

$$\tan A_0 = q \cdot \tan H_0 \quad \text{décalage spatial (angulaire)} \quad (2.4)$$

$$\tan \Psi = \sin I \cdot \tan D \quad \text{angle ligne midi/axe } X \quad (= 0 \text{ si } D \text{ ou } I = 0) \quad (2.5)$$

2.2 Choix du style et longueur L_s

Voir la figure 1b page précédente.

Un style droit est perpendiculaire au plan du cadran, tandis qu'un style polaire, parallèle à l'axe $N - S$ de la terre possède une direction indépendante de celle du cadran. Quel que

2. $\varphi_{eq} = \arccos q$ représente la latitude équivalente. Cette «latitude» peut être $> \pi/2$ si $q < 0$, ce qui se produit notamment pour des cadrans orientés Nord (dans l'hémisphère Nord) et/ou très inclinés. Dans ce cas, se référer à [2] où l'on trouvera des relations très compactes, débarrassées des conditions trigonométriques.

3. Pour TOUS les arcs définis par leur tangente, il faut utiliser la fonction $\arctan2(x, y)$, ou un équivalent. Elle retourne un angle :

- dont la tangente est égale à y/x
- compris entre 0 et π si $y > 0$ 0 et $-\pi$ si $y < 0$

Exemple pour l'angle A (éq. 2.11), écrire : $A = A_0 + \arctan2[\cos(H - H_0); q \cdot \sin(H - H_0)]$.

soit le type du style et l'orientation du cadran, il est extrêmement efficace de conduire les calculs avec une seule grandeur L_S définie de la manière suivante [2] :

$$\text{style polaire de longueur physique } L_P : \quad L_S = L_P \cdot \text{signe } q \quad \text{OU} \quad (2.6)$$

$$\text{style droit de longueur physique } L_D : \quad L_S = \frac{L_D}{q} \quad (2.7)$$

2.3 Positionnement du style

Voir la figure 1b.

$$X_S = L_S \cdot (\sin \varphi \cdot \cos I + \cos \varphi \cdot \sin I \cdot \cos D) \quad (2.8)$$

$$Y_S = L_S \cdot \cos \varphi \cdot \sin D \quad (2.9)$$

$$Z_S = L_S \cdot q \quad (2.10)$$

2.4 Angle de l'ombre pour une heure solaire H /midi : $H \rightarrow A_X$

Voir la figure 1a.

$$\tan(A - A_0) = q \cdot \tan(H - H_0) \quad A : \text{angle / ligne midi} \quad (2.11)$$

$$A_X = \Psi + A \quad A_X : \text{angle / axe } X \quad (2.12)$$

2.5 Coordonnées de l'ombre : $H, \delta \rightarrow R, A_X \rightarrow X, Y \rightarrow x, y$

Voir la figure 1c.

$$\tan \gamma = \cos(H - H_0) \cdot \tan \varphi_{eq} \quad \gamma = \pi/2 - \text{angle (style/ombre du style)} \quad (2.13)$$

$$R = L_S \cdot \frac{\cos \delta}{\sin(\gamma - \delta)} \quad \text{longueur de l'ombre} \quad (2.14)$$

$$X = R \cdot \cos A_X \quad Y = R \cdot \sin A_X \quad \text{origine au centre du cadran} \quad (2.15 \text{ et } 2.16)$$

$$x = X - X_S \quad y = Y - Y_S \quad \text{origine au pied du style} \quad (2.17 \text{ et } 2.18)$$

2.6 Autres méthodes de calcul

Les calculs du §3 étant basés sur un style droit, il peut sembler plus naturel de calculer x et y par l'intermédiaire de l'azimut A_Z et de la hauteur h : pour ce faire voir [2, 3, 4]. Les couples x, y peuvent aussi être obtenus directement en coordonnées cartésiennes [5] : les relations sont robustes et conviennent, pour l'hémisphère Nord, quelles que soient la direction et l'inclinaison du cadran.

Quoi qu'il en soit, ces méthodes n'ont pas la souplesse des coordonnées polaires qui comme nous le verrons procurent des renseignements précieux grâce à leur réversibilité directe $H, \delta \leftrightarrow X, Y$.

3 Courbe diurne et direction D du cadran

3.1 Matériel

Voir les figures 2 et 3.



FIG. 2 – Table d'enregistrement d'une courbe diurne en situation sur l'Église de Biviers, Isère. Elle est ici fixée (exceptionnellement!) sur les règles en aluminium du coffrage de la table du futur cadran. Matériau Forex Classic 80 cm×60 cm, épaisseur 1 cm. *Crédit photo* : D. Cottier, 2020.

L'enregistrement se fait sur un panneau aux bords très droits et bien rectangulaire (vérifier l'égalité des diagonales). Il doit présenter une surface lisse sur laquelle un crayon ou un feutre très fin laisse bien sa trace. L'auteur utilise du mélaminé ou une matière plastique de dimensions maximales 80 cm×60 cm, soit une diagonale de 1 mètre ; il est malcommode et inutile de prendre plus grand.

Le « style » est tout d'abord constitué par une tige filetée de diamètre 6 mm et de hauteur 250 mm vissée dans un des filetages réalisés avec un taraud sur le pourtour du panneau, bloquée par un écrou sur des rondelles très larges (*cf.* fig. 3). Elle supporte une barre métallique d'épaisseur 0,8 mm munie de trous de diamètres de 4 et 6 mm⁴. On a de fait réalisé un style droit de longueur L_D : un des trous et sa projection orthogonale sur le panneau.

3.2 Mise en œuvre

Au préalable une évaluation des heures d'ensoleillement avec une valeur approximative de D et I sera utile [2, 6] ainsi qu'une simulation de la courbe diurne (*cf.* §2.5) en utilisant la déclinaison δ du soleil pour le jour des mesures.⁵ Sachant en outre que les points situés à

4. Un trou d'œillet cylindrique génère un écart systématique qui croît avec l'obliquité des rayons qui le traversent ; bien penser à pratiquer un fraisage du trou.

5. Internet (le site de l'IMCCE en particulier), les éphémérides (de la SAF par exemple) donnent accès à l'heure solaire H , à la déclinaison du soleil δ ainsi qu'à ses coordonnées locales azimut Az et hauteur h . Le plus commode est aujourd'hui

plus de deux fois la longueur L_D du style sont difficiles à exploiter, le spot lumineux étant moins bien défini, on peut alors décider d'un emplacement adéquat du style sur le panneau.

Avant les mesures, il faut pointer le pied de ce style droit. Différentes méthodes sont possibles : équerres, fil à plomb avec le panneau posé horizontalement, nappe laser avec la plaque maintenue verticale en utilisant deux bords perpendiculaires car seule la nappe horizontale a ici du sens, voir le commentaire de la figure 11. Ne plus toucher le style, après l'enregistrement vérifier qu'il n'a pas bougé et attendre la fin des calculs pour le démonter.

Le panneau doit être fixé sur la table définitive et tenu sur le pourtour et au centre, par vis ou autre moyen efficace. Bien veiller à cette fixation car le soleil et l'humidité fréquente de la table peuvent déformer le matériau. Vérifier sa planéité et, point important, il doit être parfaitement horizontal/suivant la ligne de plus grande pente ; des droites tracées parallèlement aux bords dans deux directions perpendiculaires seront très utiles.

Pour les faibles inclinaisons, l'auteur privilégie le fil à plomb (les jours sans vent !) et tracer un trait en haut et en bas de son ombre quand le soleil est sensiblement en face du cadran ($D \sim A_{Z \text{ soleil}}$, cf. figure 12 page 133) constituera un excellent contrôle a posteriori.

Autres moyens possibles : un niveau à bulle ou électronique, à retourner gauche/droite pour vérification, ou encore une nappe laser horizontale, voir une illustration sur la figure 11 page 133.

NB : la nappe verticale d'un laser peut être facilement vérifiée par éclairage d'un long fil à plomb en intérieur ; par construction la nappe horizontale lui est parfaitement perpendiculaire.

3.3 Mesures

Voir la figure 3.

Le trou dans la barre du style constitue un œilleton dont le centre de la tache lumineuse, de forme ellipsoïdale, sera pointé et l'heure solaire correspondante notée à côté⁶. Plus le nombre de points est important, plus on pourra être confiant dans la direction calculée. Un bon relevé nécessite au moins une trentaine de points répartis sur l'ensoleillement du cadran ; les intervalles de temps n'ont pas à être réguliers mais s'ils le sont les mesures seront plus faciles à consigner.

Les couples x_{mes} , y_{mes} peuvent être obtenus en appuyant une règle (le dessous d'un niveau à bulle fera l'affaire) successivement sur deux bords perpendiculaires du panneau et en mesurant la distance de chaque bord aux différents points avec un réglet calé contre la règle. Ils doivent être repérés à $\frac{1}{2}$ mm près et seront ensuite corrigés de la distance du pied du style au bord considéré. Les valeurs obtenues sont à reporter dans un tableur (Excel pour l'auteur) ou un logiciel dédié qui conserve donc au final les H , x_{mes} , y_{mes} de chaque point relevé. On notera n le nombre de points.

d'utiliser un smartphone qui les procure en temps réel. L'auteur utilise un logiciel personnel conçu à partir des excellents ouvrages de notre confrère de la SAF Jean Meeus : *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs* (SAF) et *Astronomical Algorithms* (Wiley). Pour information, la variation de la déclinaison δ du soleil est la plus rapide aux équinoxes : 1 minute d'angle (0,000 3 rad.) par heure écoulée. Si on utilise pour δ celui du temps médian du cadran l'écart est faible, mais à prendre en compte pour des tracés très précis. Un exemple simple pour un cadran vertical plein Sud (équinoxiale horizontale) : sous une latitude de 46° , s'il mesure 1 m×1 m avec $L_p = 300$ mm, autour de l'équinoxe de printemps la courbe diurne sera 2 mm plus haute à gauche du cadran (8 h solaire) qu'à droite (16 h).

6. Voir note 5.

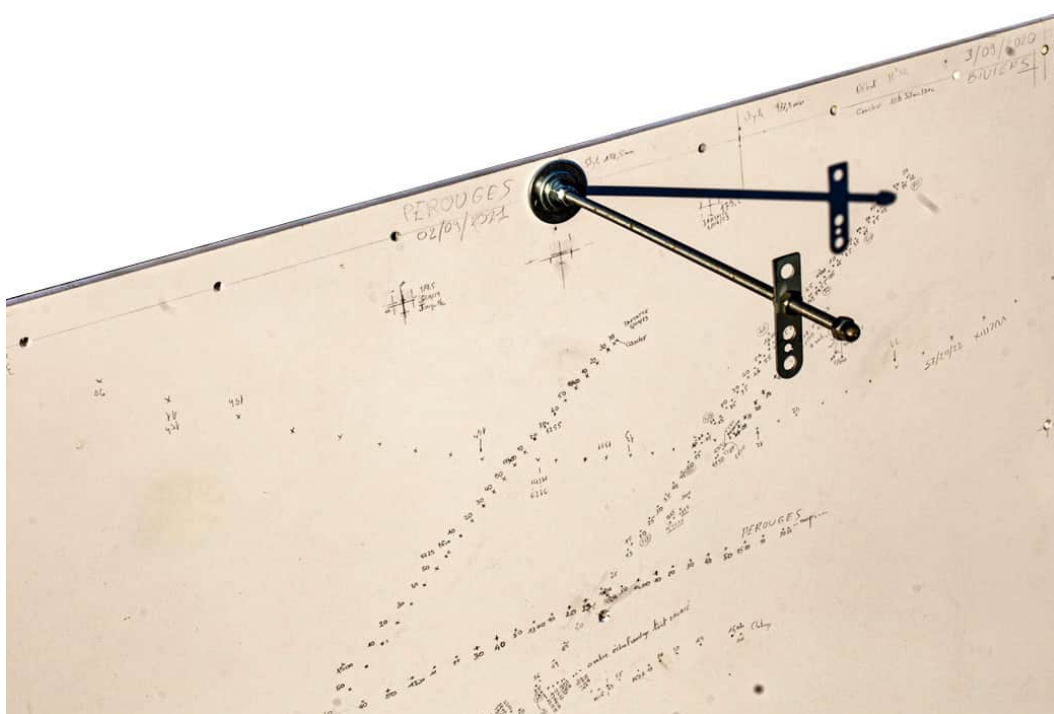


FIG. 3 – Table de la figure 2 page 124 après plusieurs enregistrements en des lieux différents. Le style de longueur 250 mm et 6 mm de diamètre peut être fixé en plusieurs endroits dans des trous filetés dans le matériau ; on notera les larges rondelles pour assurer sa stabilité. *Crédit photo : L. Vincent, 2026.*

L'inclinaison I du panneau doit être mesurée précisément avec une ou plusieurs des méthodes évoquées ci-dessus, mais elle n'est pas facile à appréhender quand elle s'écarte notablement de la verticale (cf. Annexe 1). Attention au signe de I : positif si fruit, négatif si surplombant.

3.4 Calcul de la direction (déclinaison) D sans utilisation de l'heure

Le spot lumineux est pointé n'importe quand, sans noter l'heure. Sur un même graphique, porter alors (voir la figure 4 page ci-contre) :

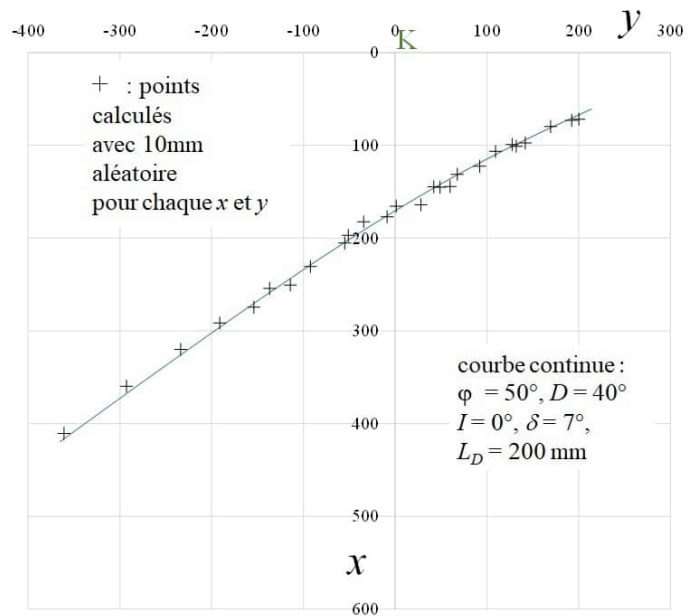
- les points de mesure $x_{\text{mes}}, y_{\text{mes}}$. Si des points semblent aberrants, les vérifier et éventuellement les éliminer,
- la courbe théorique continue x, y (cf. §2.5) en utilisant une direction D approximative (boussole, vue satellite, alignement ...), l'inclinaison I mesurée, la latitude φ et la déclinaison du soleil δ du jour⁷.

Ensuite faire varier D jusqu'à obtenir la meilleure correspondance mesures-calculs et conserver cette valeur.

Si la courbe refuse obstinément de s'inscrire entre les points expérimentaux, des corrections sont possibles, voir au §3.6, les points 2 et 3. Suite à de nombreux essais l'auteur estime que la précision est de l'ordre de 0,2 degré, ce qui sans connaissance de l'heure est un bon résultat.

7. Voir note 5.

FIG. 4 – Simulation : 26 points de mesures (+) créés à partir des calculs du §2.5 avec $\varphi = 50^\circ$, $D = 40^\circ$, $I = 0^\circ$, $\delta = 7^\circ$, $L_D = 200$ mm, en superposant à leur valeur théorique des variations aléatoires pour x et y de ± 10 mm, ce qui est très exagéré, les mesures pouvant être pointées au $\frac{1}{2}$ mm près. $H \sim -2 \rightarrow 5$, les intervalles de temps sont inégaux. La courbe continue est « pilotable » par le gnomoniste qui peut à loisir choisir ses paramètres pour assurer une bonne correspondance avec les points (+); il n'aura généralement à faire varier que D . Cet ajustement est plus facile quand les fluctuations sont plus faibles que les 10 mm de la simulation; l'auteur estime la précision sur D à $\pm 0,2$ degré quand elles sont de l'ordre du mm.



3.5 Calcul de la direction (déclinaison) D avec utilisation de l'heure

Nous donnons ci-dessous la procédure à suivre, illustrée par les figures 5 et 6 :

1. Pointer une courbe diurne en notant chaque fois l'heure solaire H que l'on écrira à côté du point.
2. Porter sur un graphique les points mesurés x_{mes} , y_{mes} . Une inspection visuelle permet de détecter les pointages ou reports manifestement faux : les corriger ou les supprimer.
3. Choisir une direction D raisonnable (plan, vue satellite ...).
4. À l'aide du tableur ou d'un logiciel, calculer tous les points x_{cal} , y_{cal} correspondant à chaque heure H (cf. §2.5) en utilisant la latitude φ du lieu, l'inclinaison I mesurée et la déclinaison δ du soleil au mitan des mesures⁸.
5. Calculer tous les $e^2 = (x_{\text{mes}} - x_{\text{cal}})^2 + (y_{\text{mes}} - y_{\text{cal}})^2$.
6. Sommer tous les e^2 .
7. Faire varier la direction D et chercher celle qui correspond à la somme minimale : c'est elle qui correspond le mieux à la direction du mur. Une boucle informatique permet d'automatiser cette étape.
8. Pour avoir une idée des écarts, diviser cette somme par le nombre de points n et en prendre la racine carrée ; le résultat sera noté σ .

Cette racine carrée ne doit guère dépasser 1 mm (voir un exemple figure 6 page suivante), si ce n'est pas le cas, voir le paragraphe suivant 3.6. Les gnomonistes familiers avec les mathématiques auront reconnu la méthode des moindres carrés caractérisée par son écart

8. Voir note 5.

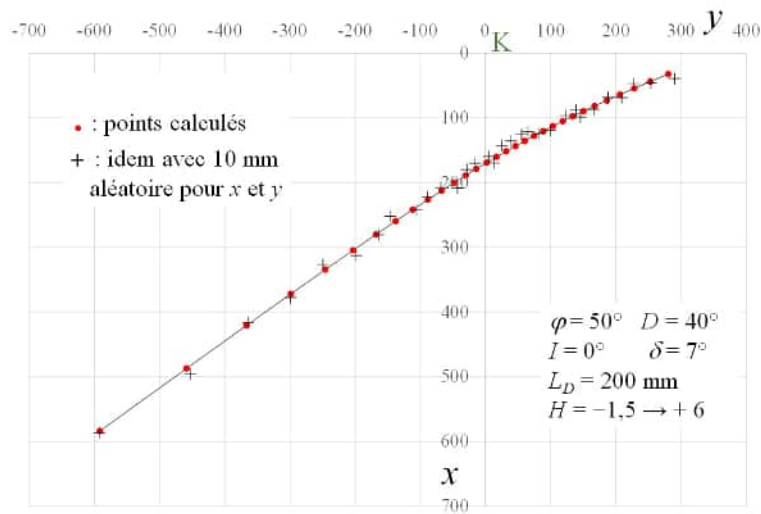
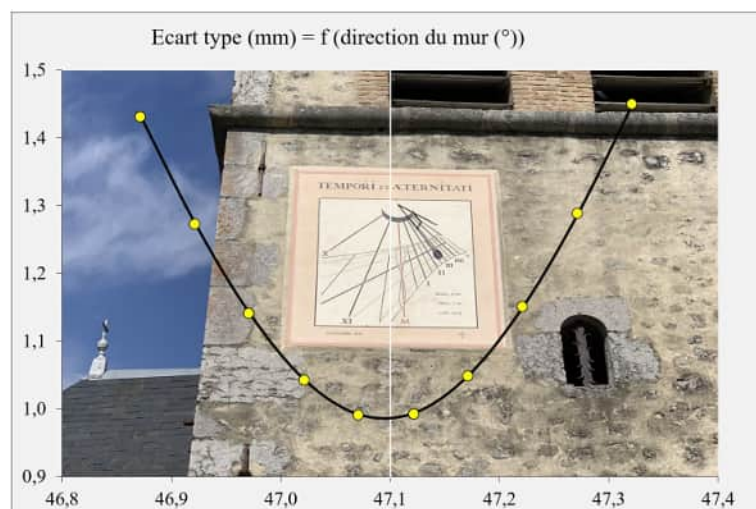


FIG. 5 – Simulation : points calculés (points rouges) situés sur la courbe continue ($\varphi = 50^\circ$, $D = 40^\circ$, $I = 0^\circ$, $\delta = 7^\circ$, $L_D = 200$ mm) et points de mesures (+) créés en superposant aux points calculés des variations aléatoires de ± 10 mm, donc grandement amplifiées par rapport aux possibilités des mesures. Connaissant H pour chacun des 33 points de mesure, on peut calculer les écarts en x et en y , et employer une méthode mathématique du type *moindres carrés* pour déterminer D , les autres paramètres étant généralement plus faciles à mesurer.

Malgré les variations énormes utilisées ici pour la simulation, cette méthode procure D avec un écart de 0,02 degré. Pour un cas réel, avec des relevés au mm et compte tenu des impondérables, la précision estimée pour D est bien meilleure que 0,1 degré.

type σ^9 . D'autres méthodes d'extraction statistique de données existent, voir par exemple [7]. La multiplication des mesures améliore grandement la précision, avec une loi en $\sqrt{n}$, loi qui est toutefois à manipuler avec précaution.

FIG. 6 – Dépouillement de l'enregistrement correspondant à la figure 2. Pour chaque heure H des 70 pointages nous avons suivi la séquence du §3.5, mais en traçant directement l'écart type σ en fonction de D . Il est minimum pour $D = 47^\circ 10'$, qui est la meilleure valeur à utiliser pour la suite du tracé. On remarquera la valeur de σ au minimum soit ~ 1 mm. *Crédit photo* : G. Vincent, 2020.

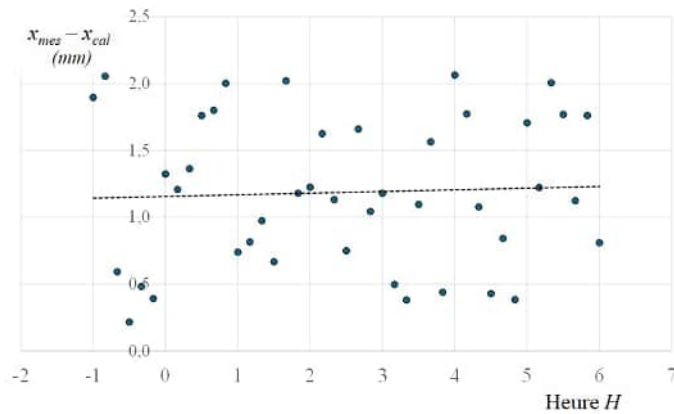


9. On retrouvera l'écart type des mathématiques si le point 1 du §3.6 est respecté : valeur moyenne des écarts $x_{\text{mes}} - x_{\text{cal}}$ nulle, et idem pour les $y_{\text{mes}} - y_{\text{cal}}$.

3.6 Contrôles et optimisation

1. Tracer sur un graphique les différences $x_{\text{mes}} - x_{\text{cal}}$ (cf. fig. 7) en fonction des heures et *idem* pour les $y_{\text{mes}} - y_{\text{cal}}$. Elles peuvent fournir une explication sur l'origine des écarts. En particulier si la moyenne de ces écarts n'est pas nulle, il est possible que la projection orthogonale du style ne soit pas exactement repérée sur le panneau. La correction s'opère directement dans le tableur sur les x et/ou y mesurés. Assurer la moyenne des $x_{\text{mes}} - x_{\text{cal}}$ et $y_{\text{mes}} - y_{\text{cal}}$ nulle procure un auto-centrage efficace de la projection orthogonale du style.

FIG. 7 – Simulation : écarts aléatoires $x_{\text{mes}} - x_{\text{cal}}$ en fonction de l'heure de relevé. Leur amplitude et leur valeur moyenne de l'ordre du mm sont typiques d'un cas réel. Pour corriger les pointages, il faudrait dans le tableur diminuer toutes les valeurs des x_{mes} de 1,2 mm (cf. courbe moyenne en pointillé). Avec des amplitudes extrêmes plutôt constantes en fonction de l'heure, sans inclinaison sensible, une telle distribution est la signature d'une projection orthogonale de l'ocillon repéré 1,2 mm trop haut.



2. Si la courbe calculée reste encore en-dessous (au-dessus) des pointages, deux causes sont possibles — la longueur L_D du style utilisée pour le calcul est trop grande (trop petite) — l'inclinaison I supposée est trop petite (trop grande). Attention au signe de I . Voir les figures 8a et 8b.

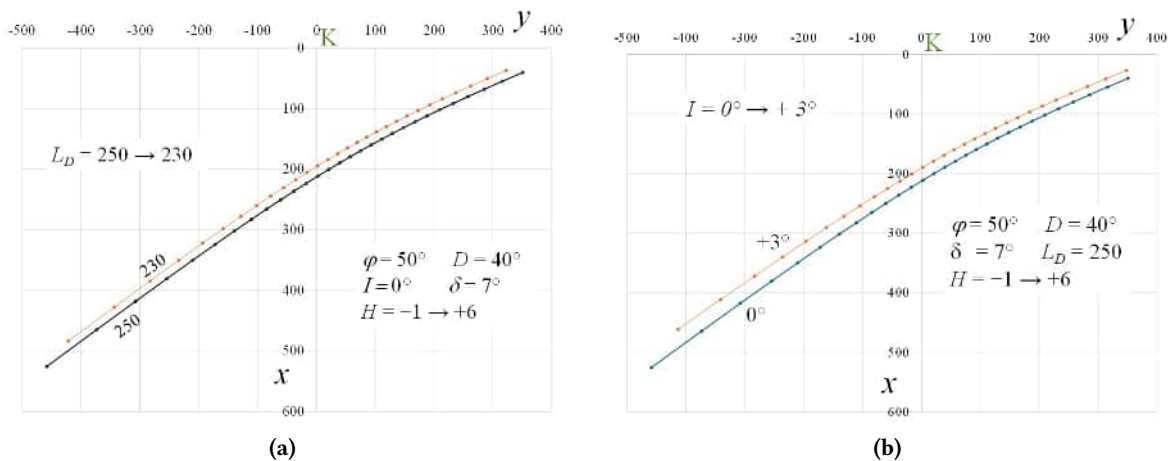
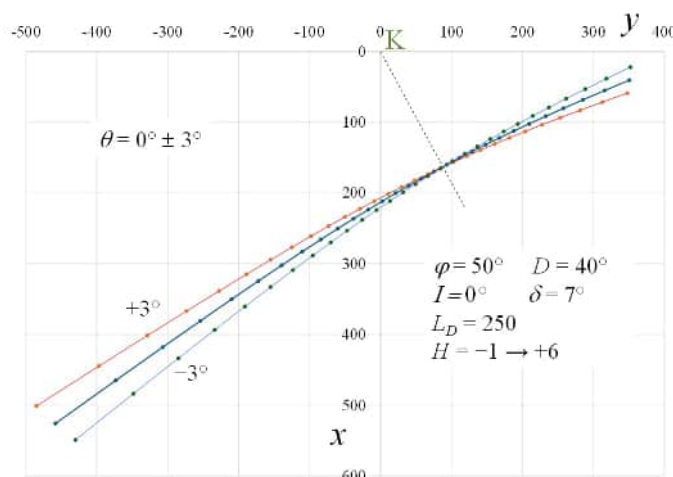


FIG. 8 – Simulations des effets de la longueur du style (250 mm $\rightarrow$ 230 mm, fig. 8a) et de l'inclinaison de la table ($0^\circ \rightarrow +3^\circ$, fig. 8b); ces écarts sont très exagérés. Les effets sont assez similaires, mais présentent une différence notable : les écarts e sont, pour la longueur du style, parfaitement proportionnels à la longueur de l'ombre correspondante, ceux liés à l'inclinaison ne suivent pas de loi simple.

3. Si quelle que soit la valeur de D la courbe calculée croise systématiquement les points expérimentaux, ceci indique que les axes du panneau de l'enregistrement sont mal orientés, voir fig. 9. Effectuer alors une rotation graphique des axes de la table et recommencer tous les relevés $x_{\text{mes}}, y_{\text{mes}}$! ou, beaucoup plus court, réaliser une rotation mathématique à l'aide du tableur¹⁰.

FIG. 9 – Simulation de l'effet de la rotation des axes de mesure. La courbe centrale correspond à $\varphi = 50^\circ$, $D = 40^\circ$, $I = 0^\circ$, $\delta = 7^\circ$, $L_D = 250$ mm. Les courbes extrêmes sont celles qui correspondent aux points qui auraient été mesurés avec des axes ayant pivoté d'un angle θ de ± 3 degrés, valeurs très amplifiées par rapport à l'erreur plausible sur l'orientation des axes du panneau de mesure. Les courbes se croisent sur la droite sous-stylaire, axe de symétrie des hyperboles.



Au final, avec ces trois réglages, la courbe calculée DOIT s'inscrire entre les points expérimentaux. Par expérience, cette méthode est robuste¹¹ et la précision attendue est nettement meilleure que 0,1 degré, de l'ordre de 1 mm à 1 mètre de distance.

Pour mieux cerner le couple D, I , l'Annexe 1 propose une méthode basée sur l'enregistrement des lignes d'azimut.

4 Style, équinoxiale et centre du cadran

4.1 Implantation du style

Nous allons nous intéresser à un cadran muni d'un style polaire de longueur L_p . Nous connaissons maintenant les valeurs des 3 paramètres φ, D et I nécessaires pour sa fixation sur la table : l'œilleton aura pour cotes X_s, Y_s et Z_s , cf. §2.3. Si le style est droit, voir le §2.2.

10. Pour effectuer une rotation des axes dans le sens trigonométrique (antihoraire) d'un angle θ il faut simplement effectuer :

$$x = x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$y = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

Si on se trompe de sens dans cette rotation, l'erreur est facile à détecter car les écarts doublent !

11. La méthode de dépouillement des données utilise l'inclinaison I mesurée. Un écart sur I en induit un sur D , mais l'effet est amorti. Prenons l'exemple d'un cadran supposé vertical avec $\varphi = 50^\circ$, $I = 0^\circ$, $\delta = 7^\circ$, valeurs qui sont donc utilisées pour l'optimisation de D . Si l'inclinaison réelle n'est pas nulle, mais égale à $0^\circ 3'$, soit 5 mm pour une distance de 1 mètre, le dépouillement de la courbe diurne ne correspondra donc pas à la réalité.

Une simulation indique que pour un cadran tel que $D = 0^\circ$ il n'existe aucune incidence de cet écart d'inclinaison de $0^\circ 3'$, pour $D = 20^\circ 00'$ le dépouillement conduirait à $20^\circ 05'$ et à $40^\circ 10'$ pour $D = 40^\circ 00'$. En fait ces « fausses » valeurs de D sont là pour atténuer l'effet de l'erreur sur l'inclinaison I , par essence inconnue. Il faut bien garder en tête que le couple D, I , déterminé par une approche statistique est celui qui conduit à la meilleure correspondance avec les points expérimentaux.

La fixation du style relève du domaine des trucs et astuces ! Il peut être guidé par un montage en carton renforcé, en bois ou aggloméré (cf. fig. 10), haubané avec des fils fixés en dessus du cadran... c'est toute l'expérience des cadraniers !

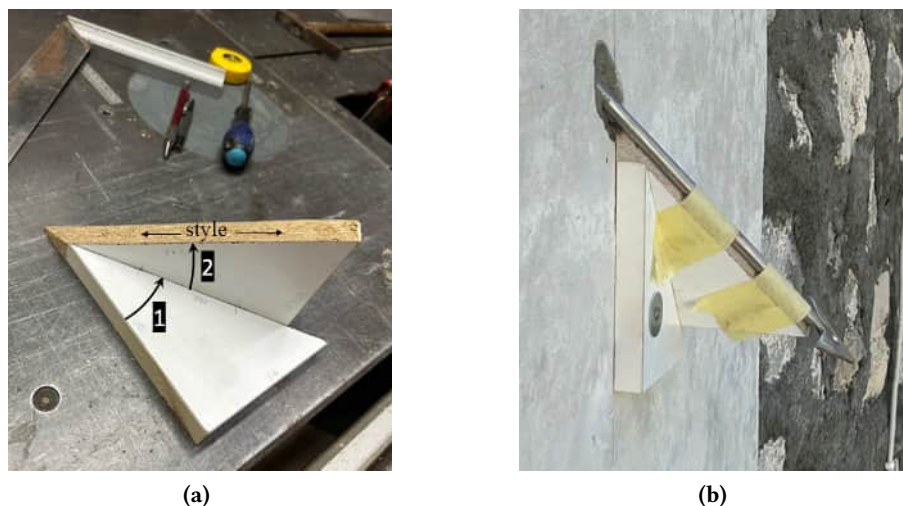


FIG. 10 – Cales en aggloméré mélaminé pour maintenir le style durant son scellement, en fabrication et sur site (La Jarjatte, Drôme). Dans le cas d'un style posé avant le tracé, ce sont surtout les angles qu'il faut respecter, voir fig. 1b : angle 1 = $\Psi + A_0$, angle 2 = $\pi/2 - \varphi_{eq}$. *Crédit photo : C. et A. Chantre, 2023.*

Précisons maintenant les deux cas qui se distinguent par la chronologie de fabrication du cadran.

4.2 Tracé antérieur à la fixation du style

Tous les paramètres étant connus, il est dorénavant possible de tracer le cadran. Il faut alors que le style respecte les lignes présentes. Généralement si la ligne de midi existe, on se cale sur le midi solaire. Si les hyperboles et/ou l'équation du temps sont prévues, il n'y a pas que l'orientation du style qui importe, mais aussi sa longueur, son extrémité devant respecter les points correspondant à la déclinaison δ du jour.

L'auteur ne pratique pas cette méthode, sauf pour certaines restaurations qui exigent le *statu quo* de l'existant ... mais réservent quelquefois des surprises¹². Nous allons maintenant développer le cas d'un tracé postérieur à la pose du style ; le lecteur pourra s'y reporter dans le cas d'un tracé antérieur à la pose pour y piocher quelques aides.

4.3 Fixation préalable du style et changement de paradigme

Là aussi, on essaie de caler le style sur le midi solaire ; c'est plus simple pour un cadran vertical ($I = 0$ donc $\Psi = 0$) ! Une fois fixé, il est tentant de se servir du point de fixation du style P comme origine pour tracer l'axe Y (horizontal) et l'axe X (perpendiculaire, ligne de plus grande pente). Or quel que soit le soin apporté à son scellement, il existe toujours

12. La remarquable Chartreuse du Reposoir en Haute-Savoie possède une cour centrale orientée quasi plein Sud munie de 3 cadrans orientés Sud, Est et Ouest. Pour ces deux derniers, les lignes horaires de l'existant correspondaient à une latitude voisine de celle du cercle polaire ! Pour leur restauration, les autorités culturelles n'étaient pas très enclines (euphémisme) à autoriser une modification des lignes présentes, jusqu'à ce qu'une portion d'enduit dégagée révèle d'anciennes lignes beaucoup plus raisonnables ...

une petite erreur de positionnement. En fait c'est l'œilleton qui est maintenant la référence physique puisque c'est lui qui va fixer les coordonnées de la tache lumineuse.

Changement de paradigme, nous allons repartir d'un style fictif constitué par l'œilleton et sa projection orthogonale K sur la table du cadran. Pour arriver au vrai centre C et aux axes définitifs du cadran, nous proposons la séquence suivante :

- Déterminer au mieux la position du point K .
- Procéder à l'enregistrement d'une courbe diurne sur la table du cadran.
- Retourner sur les paramètres D et I et préciser le point K (optionnel).
- Calculer la longueur effective du style.
- Tracer l'équinoxiale.
- Déterminer la position du centre C .

4.4 Projection orthogonale de l'œilleton

Toutes les méthodes sont bienvenues pour localiser la projection K . Parmi elles :

- une tige rectiligne passant par le centre de l'œilleton, guidée dans deux directions perpendiculaires par des équerres aussi grandes que possible.
- une nappe laser horizontale passant par l'œilleton (voir figure 11 page ci-contre); elle matérialise en fait la ligne d'horizon dont la distance X_{hor} au centre est telle que :

$$X_{hor} = L_S \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos I} \quad (4.1)$$

La distance verticale $X_S - X_{hor}$ s'écrit (cf. éq. 2.8 pour X_S) :

$$X_S - X_{hor} = L_S \cdot \sin I (\cos \varphi \cos D - \sin \varphi \tan I) \quad (4.2)$$

Cette nappe permet de situer le point K suivant la direction X et aussi de tracer l'axe horizontal passant par K . Une perpendiculaire à cet axe X tracée avec une équerre ou un compas fournira la direction de la ligne de plus grande pente.

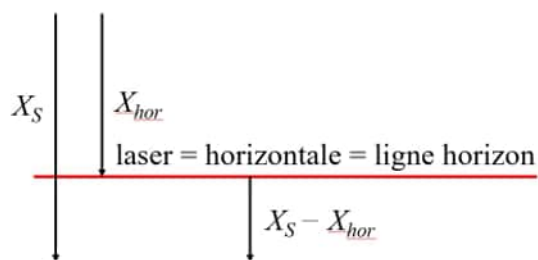
Le soleil quant à lui apporte deux contributions (cf. fig. 12) :

- Pour l'heure solaire $H = H_0$, cf. éq. 2.3, le soleil est dans un plan perpendiculaire au cadran contenant le style et la sous-style. Cette heure est indépendante du jour d'observation.
- Lors du passage du spot sur la ligne de plus grande pente qui passe par le pied K du style droit, le soleil est dans un plan vertical perpendiculaire au cadran et son azimut A_z est égal à la direction D du cadran. Cette heure H dépend de la déclinaison δ mais est indépendante de l'inclinaison I .

Elle s'obtient par :

$$\tan H_A = \sin \varphi \cdot \tan D \quad (4.3)$$

$$\sin(H - H_A) = -\frac{\tan \delta \cdot \sin H_A}{\tan \varphi} \quad (4.4)$$



$$X_S - X_{hor} = L_S \cdot \sin I (\cos \varphi \cdot \cos D - \sin \varphi \cdot \tan I)$$

FIG. 11 – Repérage de la position en X de la projection orthogonale de l'œilleton à l'aide de la nappe horizontale d'un laser. Important : la nappe verticale ne dessine pas la ligne de plus grande pente sauf si la surface est verticale et même dans ce cas, sauf précaution particulière, elle ne passe pas par la projection orthogonale ($Y = Y_S$) de l'œilleton. *Crédit photo* : G. Vincent, 2020.

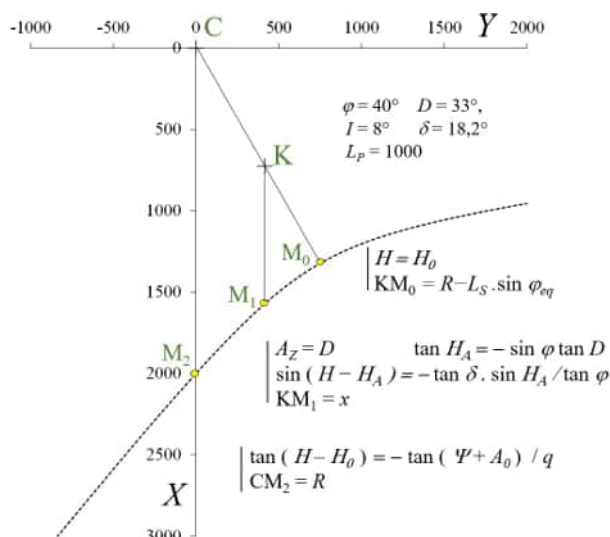


FIG. 12 – Contribution du soleil au repérage de la projection orthogonale de l’œilleton K et aussi du centre C (cf. §4.9). Pour le cas envisagé, dans son parcours le long de la courbe diurne, le spot va passer sur – la ligne de plus grande pente qui passe par C – celle qui passe par K – le prolongement de la sous-styloire. Ces heures sont évidemment indépendantes de la longueur du style. Pour $\varphi = 40^\circ$, $D = 33^\circ$, $I = 8^\circ$, $\delta = 18;2$, dans l’ordre chronologique, $H = -0,422$ ($KM_2 = 2000$), $H = 0,932$ ($KM_1 = 844$) et $H = 2,673$ ($KM_0 = 683$).

Les heures H étant calculées, les équations (2.13) à (2.17) conduisent facilement aux distances :

$$KM_0 = R - L_S \cdot \sin \varphi_{\text{eq}} \quad KM_1 = x \quad CM_2 = R \quad (\text{cf. § 4.9}).$$

Autre écriture pour KM_1 , assez intuitive sachant que $L_S \cdot q = L_D : KM_1 = L_S \cdot q \cdot \tan(h - I)$ où h = hauteur et $\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos H$.

4.5 Enregistrement d'une courbe diurne

On se retrouve dans la séquence du §3.5. Les heures, $\frac{1}{2}$ h et $\frac{1}{4}$ h, seront pointées; elles serviront plus loin au tracé des lignes horaires, qui ne présenteront donc aucune erreur pour la future lecture de l'heure dans cette zone de déclinaison δ du soleil.

4.6 Nouvelle détermination des paramètres D et I et du point K

On peut s'en passer si on est très confiant en D et I déterminés précédemment.

Pour une nouvelle détermination, retourner aux §3.5 et 3.6. Les cotes x , y sont à mesurer par rapport aux axes d'origine K que nous venons de déterminer et c'est l'occasion de bien le recalculer, cf. §3.6, point 1.

4.7 Longueur effective du style

Une méthode pour obtenir de manière précise la longueur effective du style consiste à utiliser les distances l entre les pointages de la courbe diurne (fig. 13a). Il est commode de se servir de la ligne de midi comme référence :

$$l^2 = R_0^2 + R^2 - 2.R_0.R.\cos A \quad (4.5)$$

En portant sur un graphique les longueurs mesurées en fonction de celles que l'on peut donc calculer (fig. 13b), on doit idéalement trouver une droite de pente 1 qui passe par l'origine. La fonction régression linéaire d'un tableur ou d'un logiciel fournira automatiquement la « meilleure » pente p et le coefficient de corrélation qui atteste de la linéarité. Si la pente est différente de 1, IL FAUT multiplier L_S qui a servi jusqu'à présent à tous les calculs par cette pente :

$$L_S = p \cdot L_{S \text{ antérieur}} \quad (4.6)$$

À tout le moins, il faut comparer la distance entre deux points distants fiables et les points calculés correspondants. Cette distance est proportionnelle à la longueur du style, donc si la mesure est différente du calcul, corriger proportionnellement L_S . Par exemple si la longueur mesurée est 3% plus courte que celle obtenue par le calcul, il faut diminuer L_S du même 3%.

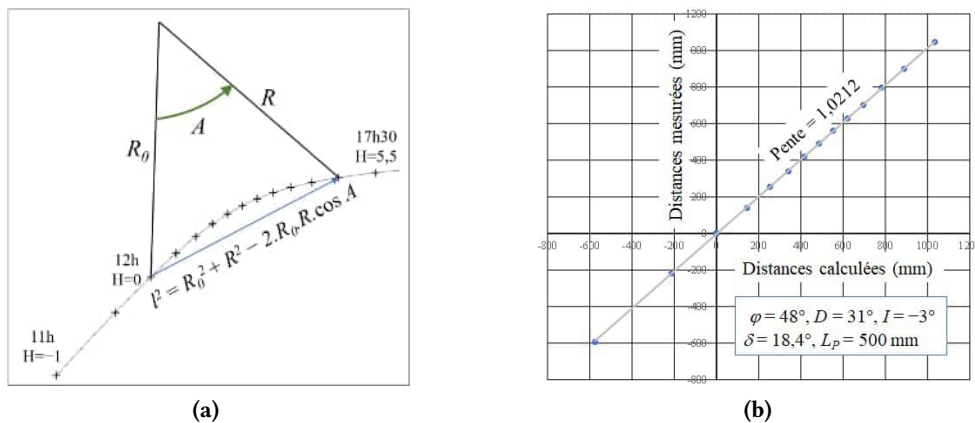


FIG. 13 – Détermination de la longueur effective du style. À gauche, expression théorique de la distance l entre le pointage de midi et celui de l'heure H ; à droite graphique représentant les distances mesurées en fonction de celles issues du calcul.

Dans cette simulation la pente déterminée par une régression linéaire (à disposition sur les tableurs) conduit à une valeur de : 1,0212. Si la longueur du style L_S était fixée à 500 mm, il faut dorénavant utiliser $500 \cdot 1,0212 = 510,6 \text{ mm}$; ne pas arrondir, les $\frac{1}{10}$ de mm ont un sens pour le futur tracé.

Cette précision provient des distances entre les points mesurés qui atteignent plus de 2 fois la longueur du style et surtout du traitement statistique. Il est conseillé de prendre un point tous les $\frac{1}{4} \text{ h}$.

Si lors d'une vérification on modifie un paramètre, repasser par toutes les étapes du §3.5. C'est le trio D, I, L_S qui est important, car c'est lui qui donne la meilleure adéquation entre les mesures et les calculs.

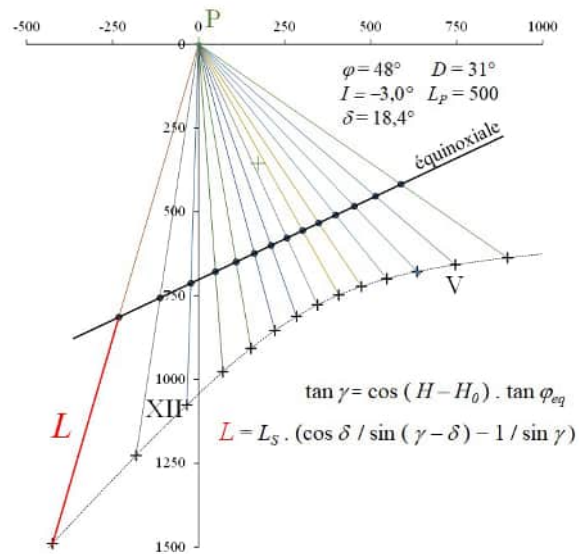
4.8 Équinoxiale, tracé et propriétés

Une méthode précise consiste à la tracer à partir de la courbe diurne enregistrée (cf. fig. 14). Il faut supposer momentanément que le point P , point de fixation du style, est le centre du cadran donc le point de convergence des lignes horaires. Sur chacune des lignes horaires ainsi définies, on porte à compter du point enregistré une longueur L telle que (cf. éqs. 2.13 et 2.14) :

$$L = L_S \cdot \left(\frac{\cos \delta}{\sin(\gamma - \delta)} - \frac{1}{\sin \gamma} \right) \quad (4.7)$$

Elle sera négative (dirigée vers P) au printemps et en été, positive en automne et hiver. Tous les points ainsi déterminés doivent être parfaitement alignés. Si tel n'est pas le cas, il y a un réel problème qui peut être lié aux grandeurs utilisées pour le calcul, mais pas seulement. En tout cas, si ce tracé est effectué à une date proche des équinoxes, une non-linéarité indique une non-planéité de la table car, aux petites variations de déclinaison près¹³, le jour de l'équinoxe l'ombre de n'importe quoi sur un plan décrit une droite.

FIG. 14 – Tracé de l'équinoxiale à partir d'une courbe diurne enregistrée de 11 h à 17 h 30 solaire. Les droites sont dirigées vers le point de scellement P du style polaire, a priori proche du centre C .



Propriété de l'équinoxiale : la distance l_e mesurée entre une ligne horaire et la ligne de midi suit une loi simple (cf. fig. 15) :

$$l_e = R \cdot \frac{\sin A}{\cos A_0} \quad (4.8)$$

Cette relation peut servir à tracer des lignes horaires qui n'auraient pas pu être pointées, ou d'autres lignes. Rappelons que les heures babyloniennes, italiques et inégales se croisent sur l'équinoxiale ; idem pour l'heure sidérale et l'heure solaire, et aussi l'horizon et $H = \pm 6$ [2, 3, 5].

13. Voir note 5.

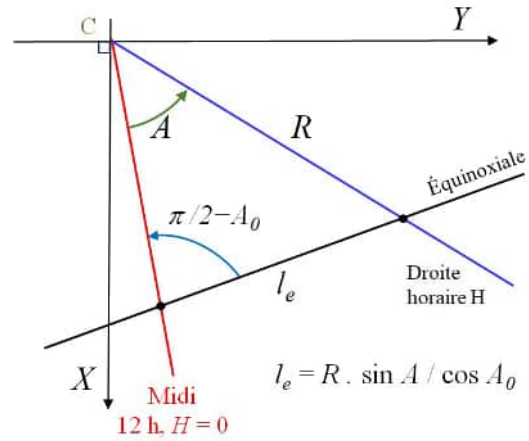


FIG. 15 – Distance l_e entre les intersections de la ligne de midi et d'une ligne horaire avec l'équinoxiale : $l_e = R \cdot \frac{\sin A}{\cos A_0}$.

Les équations cartésiennes qui gèrent la droite sous-style et l'équinoxiale peuvent s'avérer utiles :

$$XY_S = YX_S \quad \text{sous-style} \quad (4.9)$$

$$XX_S + YY_S = L_S^2 \quad \text{équinoxiale} \quad (4.10)$$

4.9 Vrai centre C du cadran

Il faut disposer d'une équerre qui glissera sur une règle qui suit l'équinoxiale (cf. figure 16). En la calant sur le point K, elle va permettre de tracer la droite sous-style sur laquelle on portera la longueur (cf. point E sur la fig. 1b) :

$$CE = \frac{L_S}{\sin \varphi_{eq}} \quad (4.11)$$

On pourra aussi utiliser un compas adapté aux dimensions du cadran, voir les arcs de cercle sur la figure 16.

Le point C, vrai centre de convergence des lignes horaires, est donc déterminé. Il n'est généralement pas confondu avec le point de fixation P du style mais doit en être assez proche ; pour un cadran de dimensions supérieures à 1 mètre, il est courant qu'il soit distant d'une fraction de centimètre.

Une information supplémentaire pour situer le point C est apportée par le soleil (cf. fig. 12) : il passe sur sa ligne de plus grande pente pour une heure H telle que :

$$\tan(H - H_0) = -\frac{\tan(\Psi + A_0)}{q} \quad \text{heure indépendante de la déclinaison } \delta \quad (4.12)$$

Ce qui autorise une autre détermination du point C, avec (cf. éq. 4.10 avec $Y = 0$) :

$$CF = \frac{L_S^2}{X_S} \quad (4.13)$$

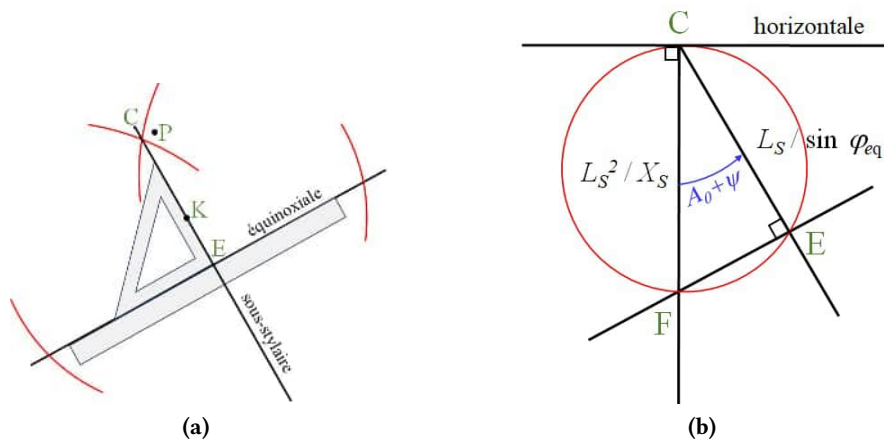


FIG. 16 – Détermination du vrai centre du cadran, point de convergence des lignes horaires $CE = \frac{L_S}{\sin \varphi_{eq}}$. Pour confirmation, $CF = \frac{L_S^2}{X_S}$. Les 3 points C, E et F sont sur un cercle de diamètre CF.

5 Tracé du cadran

5.1 Lignes horaires

Elles doivent a priori joindre les pointages de la courbe diurne au centre C. Un problème se pose si C est décalé de manière sensible par rapport à P, car l'ombre du style coupera les lignes horaires : dilemme entre précision et esthétique laissé à l'appréciation du gnomoniste cadranier, ces deux « spécialités » de l'homme — la femme — de l'art ne conduisant d'ailleurs pas toujours aux mêmes exigences !

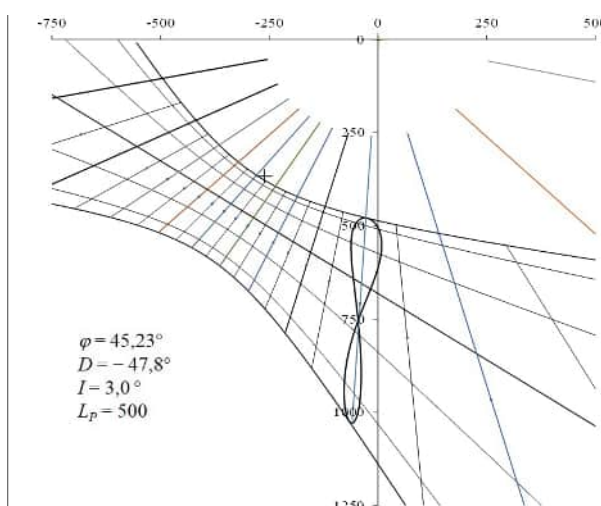
5.2 Hyperboles, équation du temps, heures babyloniennes ...

Pour toutes les autres courbes, il faut se servir du repère de centre C, de l'axe horizontal qui passe par C et de la ligne de plus grande pente qui lui est perpendiculaire. Les relations des nombreuses courbes possibles (hyperboles, équation du temps, droites d'azimut et de hauteur, heures babyloniennes, italiques, sidérales, temporaires ...) se trouvent dans les ouvrages généraux tels que [3, 5] et la publication [2]. L'équinoxiale sera d'une grande utilité, notamment pour tracer les hyperboles en utilisant l'équation 4.7. Un cadranier laisse toujours des « traces » de sa construction : point K, courbe diurne...

Un tracé de cadran désorienté Est et incliné classique est donné sur la figure 17 avec : les lignes horaires, les hyperboles du zodiaque, l'équation du temps.

S'il s'avère dans le fonctionnement du cadran que des écarts trop importants existent par rapport à la précision attendue, il faut enquêter pour en trouver les causes ; voir à ce sujet [5, 8].

FIG. 17 – Cadran classique désorienté Est et incliné (fruit), avec lignes horaires, hyperboles du zodiaque et équation du temps. $\varphi = 40;23$, $D = -47;8$, $I = 3^\circ$, $L_p = 500$.



6 Discussion et comparaison

Généralement, la direction (déclinaison, azimuth) D d'un cadran, son inclinaison I et la longueur du style L_s sont mesurées indépendamment. La direction D est souvent issue d'une mesure d'azimut par la méthode de la planchette qui consiste à lire les azimuts de l'ombre d'un fil ou style vertical sur une table horizontale dont un bord est appuyé contre le mur [1]. Toutes ces mesures étant entachées d'une incertitude, les calculs le seront aussi, et ces mesures étant indépendantes, les écarts de chacune n'ont aucune raison de conduire à une compensation partielle dans leurs effets; dans le pire des cas, les erreurs se cumulent.

La méthode proposée ici consiste à trouver la meilleure courbe qui passe par les points d'un enregistrement diurne. S'il y a une erreur sur I , les opérations proposées vont amortir son effet¹⁴. De plus ces mesures s'effectuent « au plus près du terrain » que ce soit avec le panneau plaqué sur la table du cadran ou directement sur cette surface, ce qui fait que peu ou prou les défauts de planéité seront pris en compte.

En fait il ressort de cette méthode un quatuor φ, D, I, L_s qui s'ajuste au mieux avec une courbe diurne. *Stricto sensu* cet ajustement n'est valable que pour la déclinaison δ du jour des relevés, mais c'est de bon augure pour la ronde des saisons!

7 Conclusion

La direction (ou déclinaison) D d'un cadran peut être déterminée par enregistrement d'une courbe diurne sur un panneau fixé sur la table du cadran et ceci avec une bonne précision, 0,2 degré avec un enregistrement sans utiliser l'heure et nettement meilleure que 0,1 degré avec la connaissance de l'heure solaire. Le matériel utilisé est très simple, les quelques calculs nécessaires très accessibles et les séquences de mesures et leur exploitation sont détaillées.

Si le style est préalablement fixé, l'ensemble des paramètres nécessaires au tracé pourra atteindre une très bonne précision par l'enregistrement d'une courbe diurne sur la table même du cadran. L'équinoxiale peut alors être très précisément fixée, le vrai point de

14. Voir note 11.

convergence des lignes horaires bien localisé et la longueur effective du style déterminée. Tous les paramètres étant finement calculés, le repère orthonormé est alors prêt pour le tracé définitif des différentes lignes envisagées.

En dernier lieu, il faut bien réaliser que la détermination exacte de la direction D du cadran n'est pas une fin en soi ; on recherche en fait un ensemble cohérent des grandeurs φ , D , I , L_S que l'approche statistique proposée contribue très efficacement à optimiser.

Références

- [1] Philippe Sauvageot & al., SAF, CCS. Guide : *Orientation d'un cadran et déclinaison gnomonique*, mai 2025.
- [2] Gilbert Vincent, SAF, CCS, « Calculs concis pour tout cadran solaire plan », *Cadran Info*, n°52, octobre 2025, pages 155–181.
Attention, les variables X^K , Y^K de [2] sont remplacées par x , y dans le présent article.
- [3] Gianni Ferrari, *Formule e Metodi per lo Studio degli Orologi Solari Piani*, You Can Print, 2015. Ouvrage qui utilise l'azimut pour la direction (déclinaison) du cadran.
- [4] Denis Savoie, SAF, CCS, « Plan incliné et déclinant », *Cadran Info*, n°9, mai 2004.
- [5] Denis Savoie, *La Gnomonique*, Les Belles Lettres, 2001 et 2007.
- [6] Philippe Sauvageot & al., SAF, CCS. Guide : *Ensoleillement d'un cadran solaire*, mars 2022.
- [7] Marc Sauzeat, SAF, CCS, « Mode opératoire d'étalonnage de la déclinaison gnomonique », *Cadran Info*, n°45, mai 2022, pages 116–120.
- [8] Gilbert Vincent, SAF, CCS, « Écarts des cadrans solaires, leurs origines, impacts et corrections », *Cadran Info*, n°39, mai 2019, pages 202–210.

ANNEXE 1 : méthode de la planchette généralisée

Dans la recherche du couple direction D / inclinaison I optimal, la méthode de la courbe diurne a privilégié la mesure de la direction D . Or l'inclinaison n'est aisée à déterminer par les moyens simples que nous avons évoqués que lorsque le plan n'est pas trop éloigné de la verticale ou de l'horizontale.

Si nous voulons déterminer les deux inconnues D et I , il nous faut donc une deuxième méthode. Celle de la planchette [1] qui pour mesurer D , utilise usuellement la projection de l'ombre d'un fil à plomb ou d'un style vertical sur un plan horizontal appuyé contre le mur peut apporter une solution : il suffit de repérer la projection de cette ombre sur le panneau de mesure des courbes diurnes ou sur la surface de la table du cadran.

Voyons le côté calcul. L'équation d'une droite d'azimut s'écrit :

$$Y = Y_S + (L_S \cdot \cos \varphi \cdot \cos D - X \cdot \sin I) \tan (A_Z - D) \quad (A1)$$

Les droites d'azimut possèdent deux propriétés intéressantes (cf. fig. 18) :

- elles convergent toutes vers le point :

$$Y = Y_S = L_S \cdot \cos \varphi \cdot \sin D \quad (\text{A2})$$

$$X = L_S \cdot \cos \varphi \cdot \cos D / \sin I \quad (\text{A3})$$

- leur pente s'écrit simplement :

$$\text{pente} = \frac{dY}{dX} = -\sin I \cdot \tan(A_Z - D) \quad (\text{A4})$$

à laquelle on associe un angle A_p :

$$\tan A_p = \text{pente} \quad (\text{A5})$$

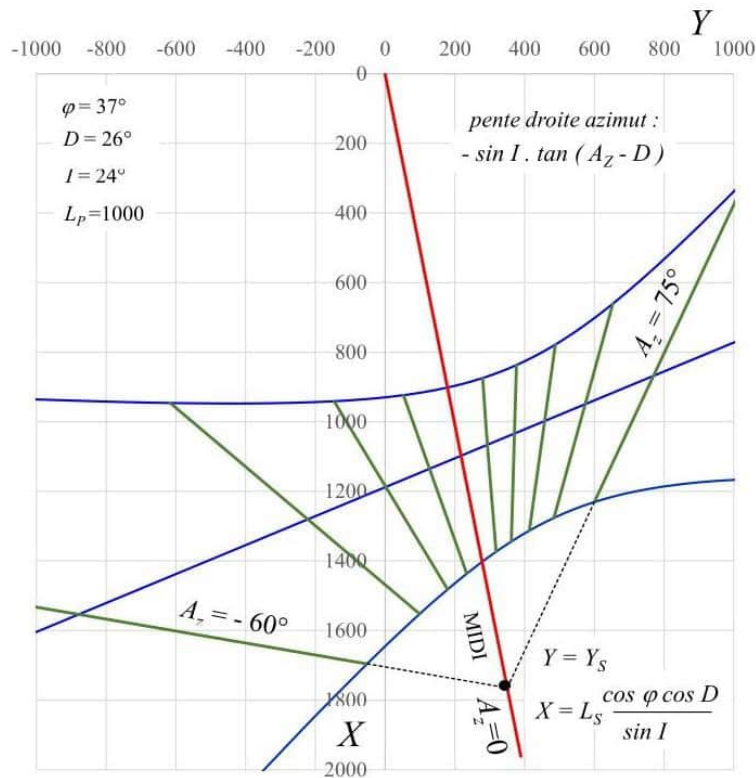


FIG. 18 – Droites d'azimut pour un cadran désorienté Ouest et incliné. Elles se rejoignent toutes en un point et leur pente par rapport à la ligne de plus grande pente s'écrit : $\frac{dY}{dX} = -\sin I \cdot \tan(A_Z - D)$. On retrouve la méthode de la planchette classique horizontale pour $I = \pi/2$.

Le point de convergence procure une première indication, mais il est plus intéressant de mesurer l'ensemble des angles A_p pour profiter des apports de la statistique. On se retrouve alors exactement dans la situation du calcul de la longueur effective du style (cf. §4.7), mais on parle ici d'angles et non plus de distances. Les points représentant les couples angles mesurés – angles calculés ne se trouveront sur une droite de pente 1 que si les variables D, I sont adéquates. L'auteur n'a pas encore testé cette approche « grandeur nature ».

NB : selon l'équation A4, $\sin I$ étant stationnaire autour de $I = \pi/2$, la méthode n'est pas adaptée à la détermination de I dans cette zone d'inclinaison; cette même équation A4 permet de préciser la tolérance requise pour l'horizontalité de la classique planchette qui conduit à la mesure de D .

ANNEXE 2 : notation et définition des grandeurs

Les paramètres du cadran

φ : Latitude $0 < \varphi < \pi/2$

D : Direction (déclinaison) $-\pi < D < \pi$ Ouest > 0

I : Inclinaison $-\pi/2 < I < \pi/2$ vertical = 0, fruit > 0 ¹⁵

L_p : Longueur du style polaire, parallèle à l'axe de rotation de la Terre, OU

L_D : Longueur du style droit, perpendiculaire au cadran.

Système d'axes et coordonnées

CXYZ : Trièdre orthonormé de centre C, point de convergence des lignes horaires

Axe X : Ligne de plus grande pente. Valeurs positives vers le bas¹⁶.

Axe Y : Horizontal. Valeurs positives vers la droite

Axe Z : Dirigé vers l'observateur du cadran

X_S, Y_S, Z_S : Coordonnées de l'extrémité libre du style polaire

L_S : Longueur du style polaire équivalent

L_{SS} : Longueur de la sous-stylaire

R : Longueur de l'ombre du style polaire

X, Y : Point du cadran, généralement extrémité de l'ombre du style

x, y : Point du cadran, avec origine au pied du style

r : Longueur de l'ombre du style droit

e : Écart (distance) entre un point mesuré et un point calculé pour la même heure H

n : Nombre de pointages d'une courbe diurne

σ : Écart type d'une distribution

15. L'inclinaison I est considérée comme positive si la distance entre le fil d'un fil à plomb et le mur augmente lorsqu'on se dirige vers le haut du fil. On dit qu'il présente du fruit et dans le cas contraire il est dit déversant ou surplombant. L'inclinaison est directement l'angle entre le fil à plomb et le mur.

16. La convention la plus habituelle, proche de nos souvenirs d'études, consiste à prendre un axe X horizontal dirigé vers la droite et un axe Y perpendiculaire orienté vers le haut. Un inconvénient majeur est que pour les cadrans verticaux plutôt Sud qui représentent la très grande majorité des réalisations, les Y sont tous négatifs. Avec la convention adoptée ici, pour les cadrans verticaux, X est positif pour toutes les heures utiles, Y négatif avant midi ($H < 0$) et positif après-midi ($H > 0$). Si malgré ces points « positifs » le souvenir des années lycée reste « in(con)tournable », l'auteur conseille de regarder les figures des cadrans de cet article en inclinant légèrement la tête vers la droite pour « retrouver » la disposition habituelle des axes ... si, si, ça marche !

Grandeurs angulaires et heures

φ_{eq} : Latitude équivalente $0 < \varphi_{eq} < \pi$

$q = \cos \varphi_{eq}$ $-1 < q < +1$

H_0 : Décalage horaire de la sous-stylique / ligne midi

A_0 : Angle sous-stylique / ligne de midi

Ψ : Angle de la ligne de midi / ligne de plus grande pente

H : Heure solaire, angle du cercle horaire : midi = 0, après midi > 0

δ : Déclinaison du soleil, d'un astre

A : Angle de la direction de l'ombre du style polaire / ligne midi

A_X : Angle de la direction de l'ombre / ligne de plus grande pente

$\gamma : \pi/2 -$ angle entre le style polaire et son ombre

A_Z : Azimut (direction, cap) du soleil : midi = 0, Ouest > 0

h : Hauteur du soleil au-dessus de l'horizon

Les calculs sont à effectuer préférentiellement en radians et 1 heure = $\pi/12$ radian. Pour alléger les notations nous emploierons « ° » au lieu de « deg. ». Les distances sont souvent données en unité arbitraire, on peut penser à des mm pour être concret.

L'auteur remercie sa famille pour les relectures et l'informatique, D. Cottier pour le partage de son expérience de cadranier, D. Collin pour son excellente mise en page et l'ensemble de la CCS pour tous les très sympathiques et fructueux échanges.



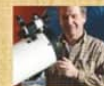
de A à Z ...

(...) le site web amateur ou professionnel des membres de la CCS consacré à la gnomonique ou abordant ce domaine

ELIE Gérard : <http://q.elie.free.fr/>

Bienvenue sur mon site !

Vos commentaires seront très appréciés à g.elie@arobase.free.fr (remplacer AROBASE par @) A bientôt !



1 Dernières découvertes ou réalisations

– Histoire de faucon : Joseph Zagni CCS

Monsieur J. Zagni a contacté notre Commission pour faire part de la création d'un nouveau cadran à Rorschwihr (68 590), au 7 rue des Vignes, au pied du château du Haut Koenigsbourg.

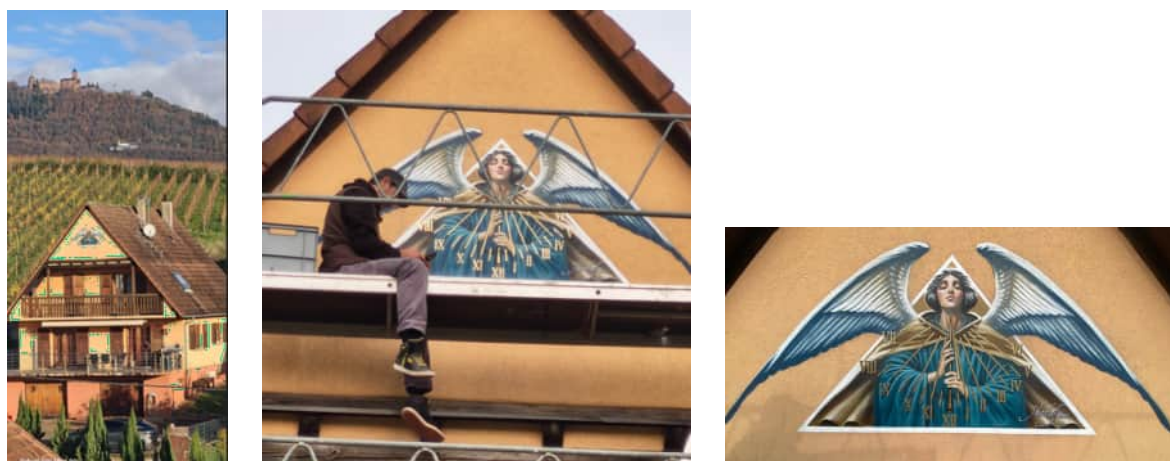


FIG. 1 – Nouveau cadran solaire à Rorschwihr (68 590).

Celui-ci remplace un autre cadran mentionné dans notre inventaire (photos 2 ci-dessous). Il nous conte l'histoire.

« Il y a 25 ans j'ai profité de l'échafaudage pour faire le crépis de la maison. La maison étant exposée plein sud, j'ai acheté un livre sur les cadrans solaires où tout était bien expliqué. Un ami du village a fait les calculs avec une maquette en carton correspondant au triangle blanc que l'on voit sur les photos ci-dessous. Je voulais cette forme en triangle. Il a été calculé sur le méridien de Greenwich. Il a toujours très bien rempli son rôle et j'aurai pu me satisfaire de celui-ci, mais ...

Il y a 3 ans un faucon c'est installé sur la poutre faîtière au-dessus du cadran pour observer les souris qui traversaient la cour, et je me retrouvais tous les matins avec

une grosse tartine de crottes et de boules de poils sur ma terrasse. Alors la nuit j'ai pris le tuyau d'arrosage pour le chasser. Au bout de quelques temps il est parti mais c'était trop tard pour mon cadran solaire qui était complètement délavé !

J'ai sollicité l'artiste Jean Linnhoff, « Graffeur » professionnel à Colmar, pendant 3 ans avant qu'il n'accepte de réaliser le nouveau cadran. »



FIG. 2 – Ancien cadran de Rorschwihr.

— Cadran déclinant : Christophe Marion CCS

J'ai réalisé et installé début janvier un cadran solaire sur la maison de mon père dans le Var. Je l'ai conçu avec le logiciel « Shadows pro ». Il est déclinant de 34° vers l'Est. Sa devise est "*Tempus est dentibus posterioribus mordere*" qui signifie « Il est temps de mordre avec les dents du fond ». Il s'agit d'une expression pour signifier qu'il ne faut rien lâcher.



FIG. 3

Pour tester sa précision, j'ai utilisé bien sûr mon « Papophoplon »¹ virtuel installé sur mon site.

Le cadran sera inscrit dans l'inventaire CCS dans la catégorie « privée ».

1. Voir description dans l'article « Le Papophoplon » page 63 de ce numéro de *Cadran Info*.

— **Cadran analemmatique : Pierre Carrillo (CCS)**

En 2024 (*Cadran Info* n°50 page 149), Pierre nous présentait un cadran analemmatique réalisé avec les élèves de l'école de Carboneras (Almeria) en Espagne. Cette fois il s'agit d'un travail des 23 et 24 octobre 2025 avec ceux du collège des « Cuatros Caños » de Vera (Almeria) en Andalousie.



FIG. 4 – Photo de groupe des élèves du Collège des "Cuatros Caños" à Almeria en Andalousie.



FIG. 5



FIG. 6

La méthode pédagogique a été la suivante :

« Dans un premier temps je leur ai montré comment déterminer la direction Nord-Sud avec l'ombre d'un fil à plomb à midi solaire et par le tracé de la médiatrice d'un segment, ils ont ensuite déterminé la direction Ouest-Est (Cf. Fig. 5).

En appliquant le principe dit du "jardinier" ils ont dessiné l'ellipse à l'aide d'une corde dont les extrémités sont fixées sur les deux foyers². Pour les points horaires, il est 12 h au Nord, 6 h à l'Ouest et 18 h à Est.

Sur la ligne Nord Sud ont été tracés les points des différents mois de l'année sur lesquels le "style humain" se positionnera pour marquer les heures.

Une vidéo réalisée par l'un des professeurs montre l'ensemble du processus.

Cette nouvelle expérience en milieu scolaire a été pour moi une grande satisfaction. Les élèves se sont investis ...

Ils voulaient tous dessiner et peindre. Ils ont compris que le Soleil pouvait donner l'heure. Enfin, Les professeurs et les responsables du collège ont été enthousiasmés. Tout le monde a adoré les quelques notions d'astronomie données au « tableau » (Fig. 6). Cela a été un régal!!! »

En annexe de la version numérique :

Le fichier :

 VIDEO-2026-03-12-00-58-14.mp4 fait revivre l'expérience.

— Méridienne à Bagnolet : Roland Querry

En 2019 j'avais inauguré un cadran analemmatique sur la Place Salvadore Allende à Bagnolet (93 170) (cf. Fig. 7) tout près du cinéma le « Cin'Hoche », avec mon copain Jules Jamet.



FIG. 7



FIG. 8 – Montage explicatif mais sans soleil !



FIG. 9 – Discours inaugural.

Six ans plus tard, c'est avec lui que j'ai inauguré le 27 septembre 2025, la "méridienne Cin'Hoche" (cf. fig. 8, 9 & 10).

Comme anecdote, je mets le discours que nous avons lu tous les deux avec Jules. À noter que, j'avais préparé un petit montage explicatif mais le soleil ne s'est pas montré ce jour-là !

2. La méthode du jardinier est présentée dans la vidéo à l'adresse : <https://share.google/tdJyoPD7mbwkAvGbZ>.



FIG. 10 – Inauguration et plaque.

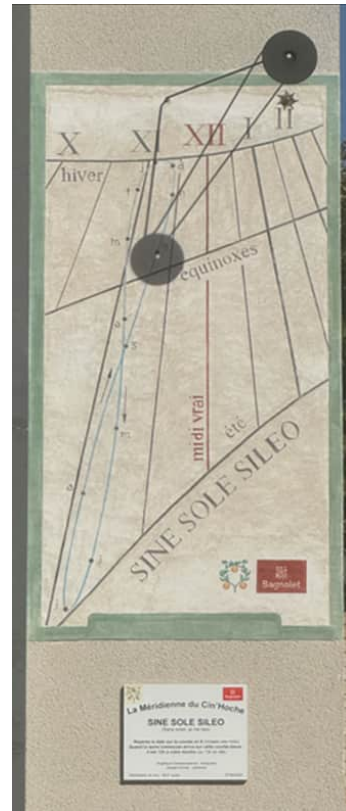


FIG. 11 – La méridienne dans son ensemble.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez le fichier le discours d'inauguration du cadran :

 [Discours-Méridienne.pdf](#).

— Canon de lumière : Denis Schneider (CCS)

Il existe à Toulouse un monument à la gloire de la Résistance. À l'extrémité sud de l'allée Frédéric Mistral (cf. Fig. 12), le mémorial évoque la résistance à travers un parcours souterrain scandé de salles dédiées aux déportés et fusillés. Au plus profond du tunnel, tous les ans, le 19 août, à 11 heures du matin, heure légale, le Soleil est censé éclairer une plaque commémorative de la libération de Toulouse (Fig. 13). Comme le Monument a été inauguré en 1971, c'est-à-dire avant le changement d'heure d'été à partir de 1975, c'est depuis ce changement que le Soleil éclaire la plaque à midi, heure légale.

Voici ce qu'en disent les concepteurs de l'Atelier des Architectes Associés (les 3A) :



FIG. 12 – Extrémité supérieure du tube de visée sortant de la butte du Monument.

« Dans le tunnel, lorsqu'on se trouve devant la crypte des torturés, il fait tout à fait nuit, l'entrée est déjà loin. Il nous est venu à l'idée un rappel des Cathares qui se référaient souvent au soleil, mais aussi aux égyptiens qui construisirent le temple d'Abou Simbel : faire intervenir le soleil à l'intérieur du Monument. Aucun de nous ne savait comment s'y prendre, aussi nous nous sommes adressés aux astronomes de l'Observatoire de Toulouse qui nous ont donné toutes les informations : disposer un tube qui traverserait tout le talus qui recouvrira et ensevelira l'ouvrage jusqu'au plafond de la crypte des torturés de telle manière que tous les ans, à 11 heures du matin, le 19 août, le soleil vienne éclairer pendant quelques minutes une plaque qui rappelle le jour de la libération de Toulouse ».

C'est Roger Bouigue, directeur de l'Observatoire de Toulouse de 1961 à 1971 qui en a fait les calculs pour l'azimut du tube et sa hauteur (Fig. 14).



FIG. 13 – Plaque du 19 août 1944 au sol et extrémité inférieure du tube de visée au plafond de la crypte des torturés.

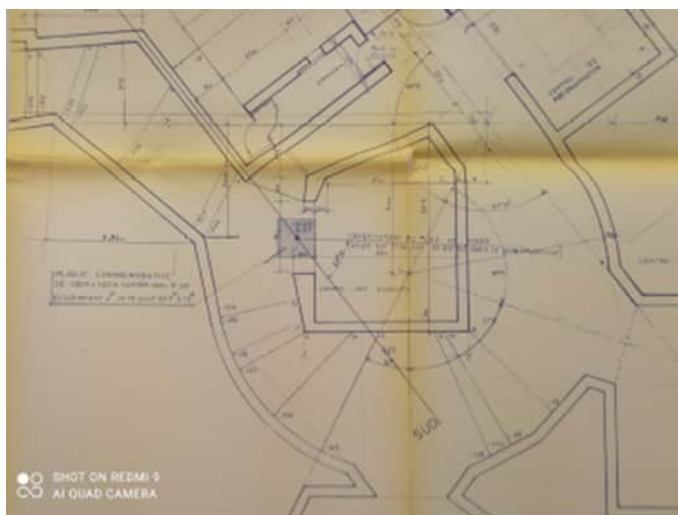


FIG. 14 – Plan montrant l'orientation du tube de visée ($-49^{\circ} 10'$). Musée départemental de la Résistance et de la Déportation/ fonds MGR.

$-49^{\circ} 10'$ (dans le sens anti-horloge depuis le sud) est l'azimut du tube de visée qui correspond à l'azimut du Soleil le 19 août à 12 H, heure légale depuis 1975, date de changement de l'heure d'été. $49^{\circ} 50'$ est la hauteur du tube de visée au-dessus de l'horizon, correspondant à la hauteur du Soleil le 19 août à 12 heures légales ou 10 heures solaires.

La question de l'heure de la libération de Toulouse s'avère plus délicate quand on considère qu'en 1944 la France est à l'heure allemande (2 heures de plus en été). Le plan de R. Bouigue n'est juste que si l'heure de la libération de Toulouse est 12 H, heure allemande de 1944 et heure légale de nos jours depuis 1975 et donc 10 heures solaires. L'illumination de la plaque à 11 H (heure légale = GMT+1) se réalisait donc en 1971, date de la construction du Monument. Personne n'a cependant pu m'expliquer la retenue de cette heure pour la libération de Toulouse.

En effet, il convient de considérer qu'il fallut la journée entière du 19 août pour que Toulouse soit libérée : Elerika Leroy du Musée de la Résistance et de la Déportation précise :

« La présence d'unités allemandes est encore signalée tardivement dans la soirée du 19 août. Des échanges de tirs se produisent encore le 20 août provoquant la mort de combattants FFI ».

Ce court exposé n'avait pas d'autre but que de mieux faire connaître le canon de lumière du Monument à la gloire de la Résistance à Toulouse quand j'appris par E. Leroy que le tube de visée (Fig. 15) était maintenant fermé et la plaque commémorative éclairée artificiellement ...

Heureusement qu'une guide du Musée, Mila Cheikh, me rassura par téléphone quant au rétablissement du système de visée après une décision malheureuse lors de la modernisation de l'installation électrique en m'adressant un extrait du discours donné par Roger Tassera (coréalisateur du Monument) à l'Assemblée Générale du Conseil national de la Résistance le 24 novembre 2006 :

« Dès que j'ai eu connaissance de ce sacrilège, j'ai eu la réaction subite d'écrire à Monsieur le Maire pour lui faire part de mon indignation ».



FIG. 15

La remise en état initial ne se fit pas attendre !

— Stèle gnomonique à l'«Espace muséographique Georges Baccrabère» ; analyse du blason, côté nord : Denis Schneider (CCS)

Cette stèle est connue dans notre inventaire SAF sous le n°3155519 depuis 1992 et se trouvait dans la collection d'objets mis à l'abri par l'abbé G. Baccrabère dans une salle de l'Institut catholique de Toulouse (31, rue de la Fonderie). Notre fiche technique signalait heureusement qu'elle provenait d'Aigrefeuille (12 km ESE de Toulouse).

Lors de ma première visite, il y a trente ans, le bloc était à l'abri (inventaire n°403). Le petit musée constitué à partir de 1973 par G. Baccrabère et des bénévoles a été remanié pour ouvrir en 2010 sous son nom actuel. Voulant la revoir en 2023, on me dit que le musée était à nouveau fermé pour travaux et le souvenir de la stèle,



FIG. 16

disparu ...On la retrouva par hasard dans le jardin de l'I.C.T servant de borne à un parterre (Fig. 16).

Si notre fiche technique parlait bien des trois cadrans verticaux (l'occidental n'ayant plus de traces de lignes à ce jour), elle passait sous silence l'existence d'un blason côté nord. C'est cette face qui m'attirait le plus car elle pouvait documenter la stèle en provenance d'Aigrefeuille (Fig. 17).



FIG. 17



FIG. 18

La seigneurie d'Aigrefeuille ayant été achetée en 1610 par Pierre de Caumels, avocat au Parlement de Toulouse, il ne fut pas très difficile en consultant un nobiliaire de reconnaître les armes de son fils, François de Caumels, avocat et capitoul dès 1649 :

« d'azur, à une bisse (serpent) tournée en couronne d'or, au milieu de laquelle est un oiseau d'argent, becqué et membré de gueules (canette, appelée avant le XV^e « merlette » quand ce même oiseau stylisé héraldique n'avait ni bec ni pattes), le tout accolé de trois étoiles d'or, rangées en chef ».

L'écu est dit timbré, c'est-à-dire surmonté d'un casque ou heaume sommé d'un cimier (ici, instrument de parade). Le casque est taré (orienté) de profil à dextre (en héraldique, le côté dextre de l'écu est à gauche quand on regarde l'écu et donc le serpent regarde dextre en tournant en sens senestre), avec bourrelet, visière ouverte, nasal relevé et vantail (grille) à cinq ou six barreaux montrant le rang élevé de son possesseur, François de Caumels, maintenu noble en 1670. Le collier, ne correspondant à aucun insigne d'ordre, est décoratif (Fig. 18).

Cette étude avait pour but de documenter ce bloc gnomonique ; l'actuel château du XVIII^e (aujourd'hui location saisonnière « Les Hortensias ») a été bâti sur l'emplacement du château seigneurial et il est impossible de savoir où le bloc se trouvait même avec les plans. Grâce à la présence du blason il a été possible de connaître le commanditaire du bloc et de le dater. Placé à l'extérieur pendant les travaux de réaménagement de « L'espace muséographique Georges Baccrabère », ce bloc de prestige va rejoindre les découvertes accumulées par l'abbé G. Baccrabère qui fut un archéologue et historien toulousain réputé et conservateur du Musée archéologique de l'I.C.T.

Remerciements : à Paul Gagnaire pour le partage de ses très précieuses connaissances héraldiques.

— Cadran de Claude Gahon (CCS) : « Boules de Noël »

Le 24 décembre, dans l'après-midi, Claude a adressé ce cadran spécial Noël à accrocher au sapin.

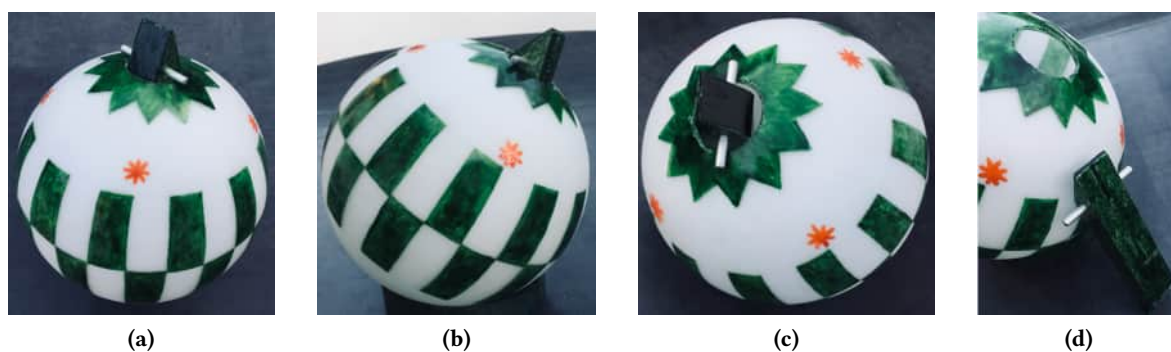


FIG. 19 – Cadran Solaire de C. Gahon — C131 : Boules de Noël.

« Je ne pouvais pas passer à côté de Noël sans m'en inspirer pour une nouvelle création. Et puis cela faisait longtemps que je n'avais pas eu d'inspiration. Voilà donc de quoi décorer votre sapin mais il est préférable de s'en servir comme cadran.

Le manque de soleil ne m'a pas permis des photos significatives mais je sais que vous n'aurez pas de difficulté à comprendre le truc ».

Fiche technique — C131 – Boules de Noël. Cadran de type « équatorial ».

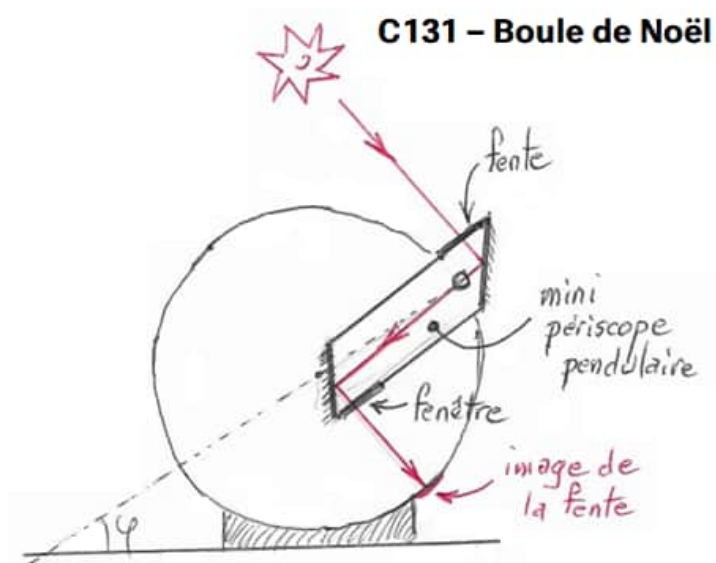


FIG. 20 – Fiche technique — C131.

Orienter le périscope dans la direction du Soleil et le basculer jusqu'à obtenir une image de la fente sur l'extérieur de la sphère translucide.

L'heure solaire est alors indiquée par la position de l'image dans les bandes horaires. À noter que l'appareil est réglable en latitude.

— Cadran de Claude Gahon (CCS) : « Boîte »

Il est temps de se mettre au boulot, l'année est bien entamée. Alors recyclage oblige, voici ce que j'ai imaginé à partir d'une petite boîte sauvée *in extremis* de la poubelle.

J'ai voulu, par défi, garder la structure complète, ce qui m'a posé le problème de la lecture suivant la période de l'année, le basculement s'est vite imposé comme solution.

Naturellement, ce n'est pas très pratique mais pas contraignant si on place judicieusement le cadran à une bonne hauteur.

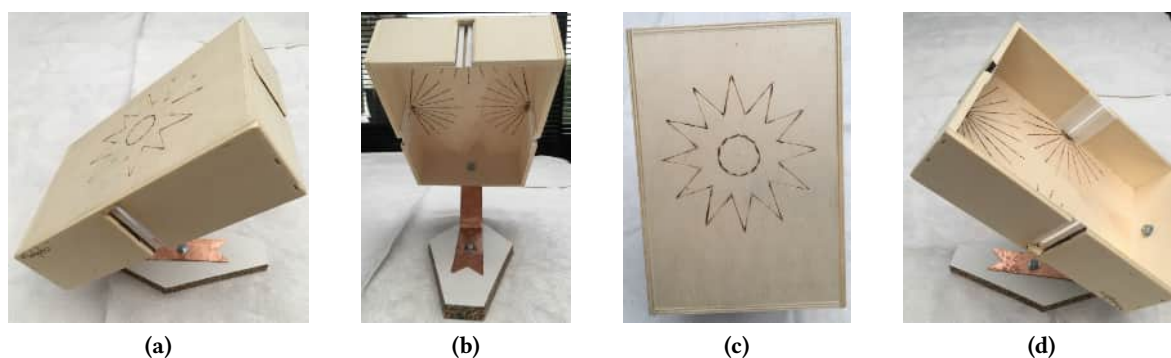


FIG. 21 – Cadran Solaire de C. Gahon — C131 : Boules de Noël.

Pas de nouvelle théorie mais un jeu de double lecture sur un type de cadran bien connu.

Fiche technique — C132 – Boîte. Cadran de type « équatorial » à plusieurs styles.

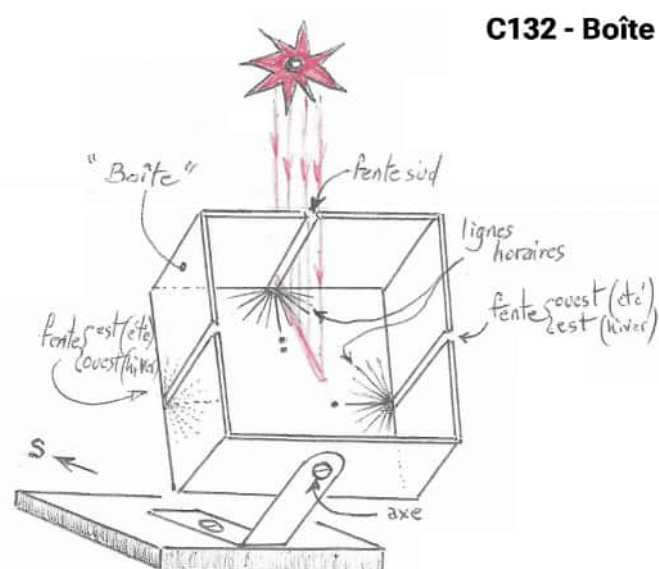


FIG. 22 – Fiche technique — C132 : Boîte.

Chaque fente est un style parallèle à l'axe polaire et possède ses propres lignes horaires réparties tous les 15°.

Le fond de la boîte est parallèle au plan de l'équateur.

La boîte a 2 positions :

- l'une pour la période « été » comme sur le croquis.
- l'autre s'obtient en tournant la boîte de 180° autour de l'axe pour pouvoir faire une lecture pendant la période « hiver » quand le soleil est sous le plan équatorial.

Les fentes et les lignes horaires sont donc à lecture inversée selon la position de la boîte. L'heure s'apprécie selon la position de la raie lumineuse sur les lignes horaires.

Nota 1 : l'appareil est réglable en latitude grâce à la flexibilité de la plaque du pied.

Nota 2 : en position « hiver », la lecture sera plus aisée si le cadra est placé assez haut. Il y a bien sûr au moins une solution (que j'ai en tête) pour éviter le mouvement de retournement. Je vous laisse cogiter.

— Cadran de Claude Gahon (CCS) : « Color Box »

Alors avez vous trouvé une solution à la boîte ?

Je vous avez prévenu, voici ma variante à ma « Boîte » qui ne nécessite pas de manipulation pour chaque période particulière de l'année.

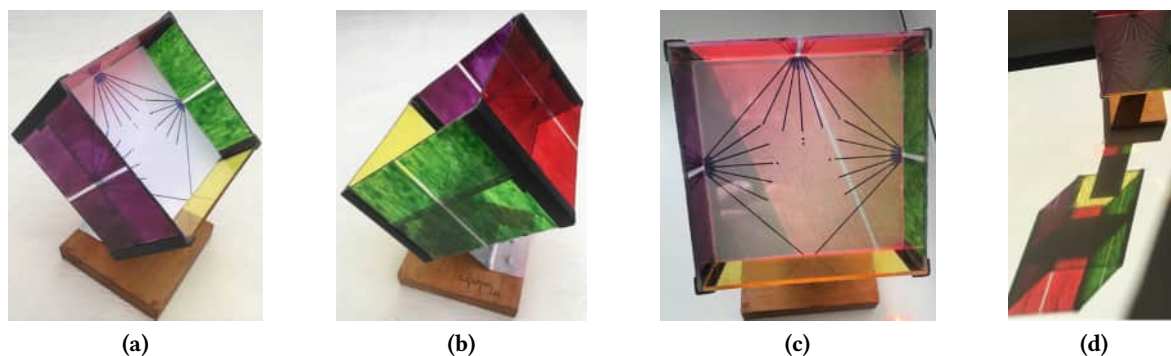


FIG. 23 – Cadran Solaire de C. Gahon — C131 : Boules de Noël.

Donc rien de nouveau sur le principe. La plaque équatoriale est une simple feuille de papier d'imprimante, prise entre deux plaques de plexiglas transparent. Les cotés de la « boîte » sont aussi en plexiglas.

J'y ai mis des couleurs, d'où le nom, avec des peintures « vitrail », qui agrémentent la « machine » et offrent quelques effets grâce à la transparence des faces.

Malheureusement pas de soleil pour le test, mais la lampe artificielle a prouvé le bon fonctionnement.

J'espère qu'il vous satisfera et toutes remarques seront les bienvenues.

Fiche technique — C133 – Color Box. Cadran de type "équatorial" à plusieurs styles.

Chaque fente est un style parallèle à l'axe polaire et possède ses propres lignes horaires réparties tous les 15°.

La plaque translucide est à mi-hauteur des cotés de la « boîte », elle est parallèle au plan équatorial.

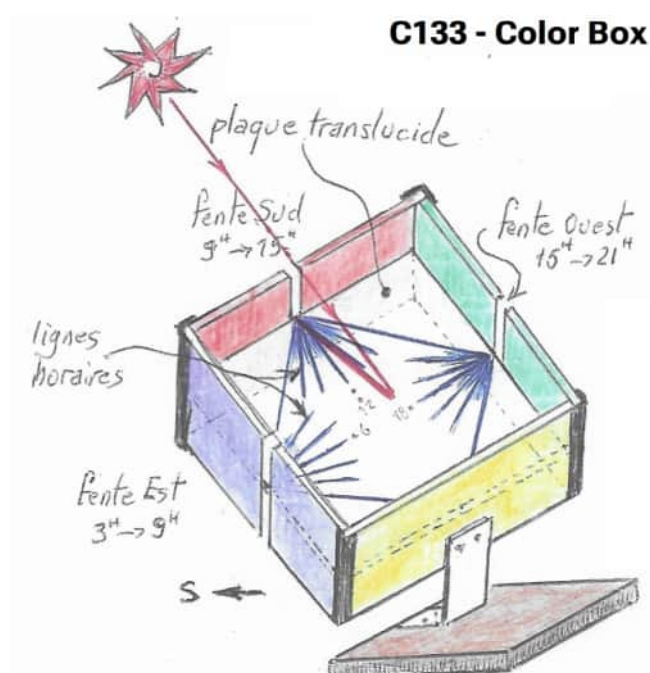


FIG. 24 – Fiche technique — C133 : Color Box.

Cette plaque permet par transparence, une lecture des heures de la période « automne-hiver », quand le soleil est sous le plan équatorial.

L'heure s'apprécie selon la position du rai de lumière sur les lignes horaires. Sur le croquis ci-dessus on peut estimer environ 11 h 15.

Nota : l'appareil est réglable en latitude grâce à la flexibilité de la plaque du pied.

2 Lettres/Courriels gnomoniques

— Gérard Hory (CCS) : rectification article *Cadran Info* 52

Dans le dernier numéro de *Cadran Info* (N° 52, page 85), Gérard Hory présentait un article intitulé "Calcul de l'heure apparente résultant des erreurs affectant toutes les variables d'un cadran plan".

Son exposé sur le sujet lors de la réunion de la Commission en novembre dernier, l'a amené à des modifications.

Merci de prendre en compte la nouvelle version en annexe qui remplace et annule l'article publié précédemment.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez le fichier :

 [erreurs cadrans 28.11.25.pdf](#).

— Pierre Causeret (CCS) : cadran en terre cuite

« Lors de fouille de l'INRAP³ dans une ancienne clinique dijonnaise, la clinique Sainte Marthe, qui fut un couvent des religieuses de la Visitation au XVII^e siècle, on a découvert deux fragments d'un cadran solaire en terre cuite.

Les graduations sont croissantes dans le sens horaire, ce qui pourrait faire penser à un cadran horizontal mais les heures sont à peu près régulièrement espacées. Cela ressemblerait plutôt à un cadran équatorial, face printemps été, mais il me semble que c'est assez rare. L'autre face n'est pas graduée et on n'a pas trouvé d'autres fragments de cadran.

On trouve en bas plusieurs chiffres, 16 ...et ... 2 apparemment. Que pouvait-il y avoir entre les deux ? Il y a pas mal de place. Il y a également un début de dessin, peut-être de croissant de Lune.

Qu'en pensent les historiens ? ».



FIG. 25 – Reproduction "Cadran solaire en terre cuite découvert dans la fosse 3039 (MC0203)". ©Équipe de fouille, INRAP.



FIG. 26 – Essais de reconstitution plausible du cadran en terre cuite.

Jean Scordia (CCS) :

« C'est un beau cadran, original par sa couleur. Les chiffres sont très bien conservés. Il est, je pense, du début du XVII^e siècle par la façon de tracer les chiffres. Le 3 a une barre horizontale très longue ; le 5 a la barre verticale penchée et n'a pas au sommet de barre horizontale ; les 6 et 9 n'ont pas encore de boucle bien fermée ; et surtout le 8 est encore à tête plate.

Pour la date, je penche pour 1612 ou 1622. Entre les deux moitiés du chiffre, peut-être le haut de IHS (= Iesvs).

L'orifice du trou du gnomon paraît plutôt net. Les heures inégales, le cercle n'étant pas fermé (forme "fer à cheval") et la table ayant une forme carrée, je pencherai pour

3. Institut National de Recherches Archéologiques Préventives.

un cadran horizontal, à style droit, indiquant des durées appelées "heures" (?). Ce seraient des heures variables d'activités journalières mais précises pour les individus concernés. Un style polaire ajouté plus tard est aussi possible, faute de mieux. En Fig. 26 un essai de restitution plausible du cadran. »

Denis Savoie (CCS) :

« Pour moi ce n'est pas un canonial, c'est sûr. On pourrait supposer qu'il s'agit de la face nord d'un équatorial mais *quid* de la face sud qui devrait être tracée ? Je penche donc pour un cadran horizontal (les heures limites et le sens de rotation des heures plaident en ce sens) tracé par quelqu'un qui n'y connaissait rien et qui a mis des angles égaux entre les lignes horaires. Il suffit de bien orienter le cadran sur le méridien pour qu'il donne des heures, — certes erronées —, mais comment ceux qui y lisaient l'heure pouvaient constater la fausseté sans un étalon fiable de référence ?

Il y avait un style polaire (j'ignore de quel genre par contre) qui partait de l'intersection 6 h-18 h et 12 h. On voit d'ailleurs comme un trou à cet endroit. À noter qu'un style droit n'est pas compatible avec des lignes horaires qui vont du lever au coucher du Soleil. »

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez le fichier :

📎 "CADRAN SOLAIRE.pdf" transmis par P. Causeret.

Il s'agit du "Rapport de fouille archéologique Volume I" (Données administratives et Résultats archéologiques) communiqué à P. Causeret par Madame Gaëlle Pertuisot, responsable INRAP à Dijon (21).

— Michel Lambalieu (CCS) : Conservation du patrimoine

Michel ne rate jamais une occasion de soutenir le patrimoine gnomonique de sa région avignonnaise. Ainsi il écrit à l'adjoint au Maire de Montfavet le 29 janvier, Monsieur Sebastien Giorgis :

« Hier soir, à l'occasion de notre rencontre, lors de la présentation des vœux de Madame le Maire aux habitants de Montfavet, vous m'avez appris que le cadran analemmatique des Doms avait été démonté à l'occasion de la remise en état du jardin. Ainsi que je vous l'ai dit, la restauration précédente comportait une erreur de gravure concernant son auteur, Mr Bonnet et l'occasion se présente donc d'y remédier. Je vous remercie donc de bien vouloir me communiquer la façon de joindre la ou le responsable des travaux pour en examiner la suite ».



FIG. 27 – Photo du cadran, issue du dépliant des "Journées européennes du patrimoine 19 et 20 septembre 2015, Avignon".

La demande a été transmise sans attendre à monsieur Dupays, directeur du patrimoine, qui me répondit qu'il avait été démonté en vue d'un éventuel nouvel emplacement.

Par courriel du 3 mars, Hélas, Michel fait parvenir ce message :

«Je me permets de vous exprimer toute ma tristesse par la redécouverte du jardin des Doms qui serait, si l'on en croit la plaque d'entrée, redevenu identique à celui du XIX^e. On aime ou on n'aime pas, chacun jugera, c'est autre chose. On notera par conséquent la disparition du cadran solaire qui n'aura donc pas vécu 100 ans (il datait de 1930) malgré ses particularités rares et pédagogiques. Le terrain a été retourné et est mamelonné avec des entrées d'eau. Ce travail ne laisse pas présager sa réinstallation (et par quel spécialiste ?). Comment s'expliquer que ce jardin qui est classé monument historique depuis le 24 janvier 2024 n'inclue pas de facto le cadran. Il y a problème à comprendre ? ».



FIG. 28

« À noter que « le 6 février a eu lieu la proclamation des projets participatifs pour 2025 retenus par les décideurs d'Avignon. Hélas, aucun ne figure dans le groupe "culture/patrimoine". Par conséquent la restauration du cadran solaire du Petit Palais-Louvre n'aura pas encore lieu cette fois-ci. Les votes nombreux de ceux et celles qui ont apporté leur suffrage n'ont pas suffi. Merci à eux d'avoir appuyé cette proposition. Après la disparition du cadran de la rue du vieux sextier, de la rue Carnot, du Petit Palais surtout, que restera-t'il du petit patrimoine d'une ville qui se prétend historique, hors celui, heureusement, des habitations privées (Hôtel Madon de Chateaublanc, collège du Roure ...) ? ».

— Didier Benoit CCS) : Conservation du patrimoine (suite)

D. Benoit, cadranier répond :

« Merci Michel pour l'information ci-dessus et de ton investissement. Je ne suis pas surpris sur les choix. Par les temps qui courent, le patrimoine n'a pas la vedette. On peut même dire qu'en dehors des grandes et médiatiques restaurations, le petit patrimoine est en souffrance. Les préoccupations sont ailleurs et cela est bien normal au vu de la conjuncture.

Aux portes des nouvelles élections, les sujets sur la valorisation du patrimoine sont loin d'être abordés de façon honnête. C'est bien d'en parler, au même niveau que celui de la culture. À Carmaux, le mandat qui se termine s'est déroulé sans élu nommé à la culture. Et notre commune est loin d'être une exception.

En matière de restauration à venir, les projets s'accumulent, mais aucun n'a abouti en 2025. Je pense en réaliser deux en 2026, mais rien n'est vraiment fait actuellement. Les maires regardent à deux fois avant d'investir.

Ne perdons pas espoir ».

— Cura Bernard CCS) : Conservation du patrimoine (conclusion)

La conclusion est apportée par B. Cura, responsable du groupe "Conseils à la sauvegarde du patrimoine gnomonique".

« J'avais en effet évoqué à plusieurs reprises lors des bilans d'activité les mêmes difficultés de la part des particuliers qui sollicitent le groupe restauration.

Les restaurations engagent des sommes assez conséquentes (jusqu'à plusieurs milliers d'euros parfois comme à l'abbaye de Fontgombault dans l'Indre) et seules quelques institutions très motivées peuvent se le permettre.

En quelques mots ce que je peux dire sur ce sujet au regard des dernières sollicitations du groupe restauration.

Parmi les dossiers en attente chez les particuliers, il y a prévalence de la recherche de financement, sans toutefois aboutir, car en général la remise en état du bâti attaché au cadran grève le budget. C'est selon le cas une sollicitation de la fondation du patrimoine, une demande de protection au titre des monuments historiques lorsque le bâtiment n'est pas totalement inscrit, ou bien s'il s'agit d'un bien privé non inscrit la planification des travaux repousse la restauration au-delà de celle du bâti. C'est le cas par exemple des sollicitations du groupe pour de récentes demandes de restaurations en 2022/2023 à Verrières-le-Buisson (Essonne), au Manoir de la Ville-es-vents (Morbihan) ou Château de Biéville-Beuville (Calvados).

Concernant les dernières restaurations, il s'agit pour la période 2021/2023 essentiellement de chantiers financés par des institutionnels : Église Dorlisheim (Bas-Rhin) 2021, Haguenau (Bas-Rhin) 2022, Abbaye de Fontgombault (Indre) 2022, Église de Humbauville (Marne) 2023, Hôtel de ville de Sucy-en-Brie (Val-de-Marne) 2023. Mais depuis 2025 même ces derniers commencent à trouver des raisons de différer comme à Notre-Dame des Menus Boulogne (Hauts-de-Seine), ou au château de Vaulserre (Isère).

Tout cela conduit progressivement à un ralentissement notable des restaurations. Il y eut 6 restaurations de cadrans en 2022, seulement 3 en 2024, puis 2 en 2025 ».

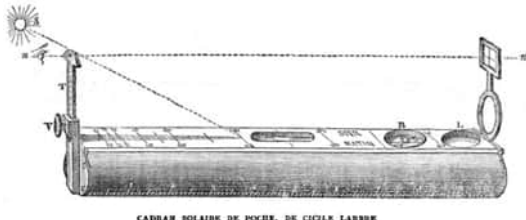
— Michael Hromek : cadran de poche

« C'est avec grand plaisir que j'ai lu l'article sur le cadran solaire de poche de Cicile-Larbre (*Cadran Info* 52 page 184). Depuis environ 20 ans, une photocopie fortement agrandie du graphique représentant le cadran solaire décrit est accrochée à mon tableau d'affichage ! Ce graphique provient d'un article de magazine allemand datant de 1867.

Je me permets d'ajouter 4 autres articles concernant ce cadran (*cf.* table 1 page suivante).

Cicile-Larbre a déposé d'autres brevets au cours de sa vie, mais ceux-ci n'ont aucun rapport avec la gnomonique. »

TABLE 1
Hromek — Articles de Cecile-Larbre

1 FKSU AP 1867 Anonym_LXXIX. Ueber eine Taschen-Sonnenuhr mit sonstigem Zubehör, von Cicile Larbre	LXXIX. Ueber eine Taschen-Sonnenuhr mit sonstigem Zubehör, von Cicile Larbre in Rheims. Im Auszuge aus der Revue chronométrique, October 1866, S. 208. Mit einer Abbildung auf Tab. VI.
2 FKSU AP 1866 Anonym_Cadran solaire de poche	Cadran solaire de poche. — Plusieurs journaux ont annoncé avec bruit un instrument appelé pompeusement : <i>Cadran solaire de poche</i>, et qui a pour auteur M. Cicile Larbre, de Reims. L'organe essentiel
3 FKSU AP 1866 Giraud_Cadran solaire de poche de Cicile Larbre	 CADRAN SOLAIRE DE POCHE, DE CICILE LARBRE
4 FKSU AP 1866 Giraud_Cadran solaire de poche, etc. — De Cicile Larbre de Rheims	CADRAN SOLAIRE DE POCHE, ETC. De CICILE LARBRE de Rheims.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez le dossier :

 **Articles CS Cicile.zip** contenant les 4 fichiers "pdf" présentés en table 1 page suivante.

— André Goffin (CCS) : projet méridienne

Un projet de méridienne est en cours dans le village de Bosset, près de Bergerac (24). J'ai lancé l'idée en 2022 et la progression ce fait à petits pas.

Fin décembre 2025 il a été organisé un week-end « *Gnomon de Bosset* ». Il s'agissait, de sensibiliser la population locale dans le cadre d'un « emprunt citoyen » qui pouvait être lancé pour le financement.

Le projet, initialement modeste, a en effet pris de l'ampleur grâce à l'arrivée dans l'équipe d'une société de travaux de restauration de monuments qui propose de réaliser la méridienne en dalles de calcaire du pays. Des cabochons en céramique marqueront les points zodiacaux ainsi que les solstices et équinoxes.

La "future" méridienne en l'église Saint Jacques Le Majeur est décrit en détail sur le document en PJ : De quoi s'agit-il ? Les fonctions d'un gnomon, Où en trouve-t-on ? Histoire du projet, Une réalisation par des ressources locales, Finalités du projet.

Pour contact : andre.goffin@outlook.com.



FIG. 29 – Œillette aménagée dans le vitrail de l'église.



FIG. 30 – Prototype d'un mètre à l'échelle réelle et incorporant les matériaux définitifs dont la pierre calcaire de Montagnac pour border la ligne méridienne.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez le fichier :

 [Descriptif du projet nominatif \(1\).pdf](#).

— Éric Mercier (CCS) : de faux en faux

Après nous avoir fourni une abondante collection de faux cadrans solaires de mosquée du XVII^e siècle (*Cadran Info* n°44, p. 110-122), puis d'avoir exploré les XIV-XV^e siècles (*Cadran Info* 51, p. 226-228), le « célèbre » gnomoniste « Abu al-Hasan al-Mansur » semble décidé à s'installer à la fin du XIX^e siècle (1309H / 1891-92JC).

Une de ses œuvres datée de cette époque a notamment été proposée aux enchères en Mai 2024. Il s'agit cette fois d'un cadran de table. Sa taille est plus modeste que ce à quoi il nous a habitué (26×27 cm).



A BRASS QIBLA INDICATOR AND SUNDIAL.
INSCRIBED SHEIKH ABU HOSSEIN AL
MANSOUR, DATED 1309AH

[VIEW CATALOG](#)

SOLD FOR £1,500.00

ESTIMATE: £2000 - £3000

(SOLD PRICE INCLUDES BUYER'S PREMIUM)

MAY 14, 2024 10:00 PM BST

LONDON, UNITED KINGDOM

FIG. 31

Site web : https://www.plakasauctions.com/auction-lot/a-brass-qibla-indicator-and-sundial-inscribed-she_BED4F2E9E7.

En dehors de la signature, on retrouve sur cet instrument les erreurs caractéristiques de cette production, (voir la figure redressée, à comparer avec la fig. 7 de l'article de *Cadran Info* n°44).

Encore une fois, on ne peut que s'interroger sur le sérieux des vérifications qui sont effectuées par les maisons de vente ... l'article dans *Cadran-Info* et sa traduction en anglais (BSS, 33-iii, p. 2-9) sont largement référencées sur le web.

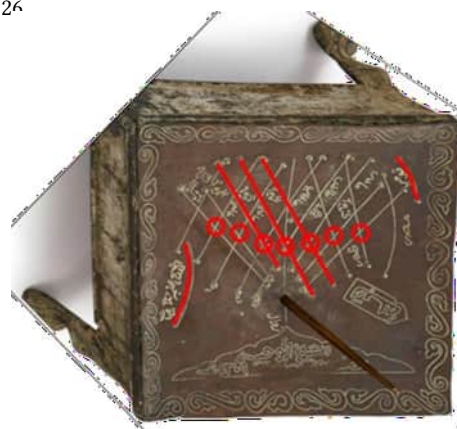


FIG. 32

— Échanges (CCS) : Direction de la Qibla⁴

Le courriel de la CCS (Info-Mail 130_2025) du 7 décembre dernier, informait de la publication par « arXiv » d'un article⁵ sur « La détermination de la direction de la Qibla par des méthodes astronomiques et géométriques » (<https://arxiv.org/pdf/2512.03271>). Ci-dessous un résumé des échanges et /ou remarques de membres de la Commission.

J-C Reita communique « une méthode moderne, simple, ludique, pédagogique pour trouver la direction de La Mecque d'après une information de l'IMCCE⁶ remontant à 8 ou 10 ans ».

Elle repose sur les propriétés de la zone intertropicale et sa possibilité d'un Soleil au « zénith » (90°) à « midi solaire » (TSVL). La Mecque est dans ce cas. La ville se trouve à l'intérieur du tropique du Cancer (21° 25' 20" N et 39° 49' 34"). On relève qu'en ce lieu le soleil est au zénith à son passage au méridien le 28 mai 2026 (89° 56') et le 15 juillet 2026 (89° 56'). Soit deux jours pour réaliser l'expérience proposée à La Ciotat.

« A l'une de ces dates, on installe un gnomon bien vertical ou mieux un fil à plomb avec un cordeau épais. Au même instant où le Soleil est au Zenith à La Mecque, on trace l'ombre du fil au sol où est réalisée l'expérience. On obtient alors la direction de La Mecque dans le sens "ombre → gnomon → La Mecque" c'est-à-dire vers la zone Sud/Est.

Autre méthode encore plus simple pour la prière musulmane : se placer debout le 28 mai à 11 h 43 (à la montre), face soleil, marquer la trace de ses pieds ... la direction du soleil lui donne la bonne direction ».

En « Pièce Jointe », J-C Reita propose :

- Sa méthode en utilisant des « termes pour une compréhension par tous ».
- Ses calculs détaillés, en s'appliquant à convertir l'heure légale de La Mecque en heure vraie de La Ciotat.
- Ses réflexions.

Il convient en premier de définir à quelle heure l'expérience doit être menée, puis relever l'azimut indiqués par la trace de l'ombre. Cf. tableau 2 ci-après.

4. Sur la Qibla : *Cadran Info* n°19, 30, 33, 40.

5. Méthodes pour calculer l'azimut de la Qibla (astrolabe, compas, trigonométrie sphérique, constructions géométriques et présentation d'un modèle informatique).

6. <https://www.imcce.fr/>.

TABLE 2
Données relevées sur IMCCE

Ville	Latitude (DMS)	Latitude (DD)	Longitude (DMS)	Longitude (DD)
La Mecque	21° 25' 20" N	21,422 22	39° 49' 34" E	-39,826 111
La Ciotat	43° 11' 0" N	43,183 333	5° 35' 24" E	-5,59

Jean-Claude Berçu signale que pour les données éphémérides de LTE (ex IMCCE), il peut être utilisé le « Logiciel Cartes du Ciel ».

Calculs en UTC (heure de la montre) d'après André Goffin. Cette approche se base sur un lien direct entre les deux lieux via le Temps Universel.

- Heure de l'expérience : Si le midi solaire (TSVL) est donné à La Mecque à 09:18 UTC, l'observation à La Ciotat doit aussi se faire à 09:18 UTC + 2 h (heure d'été en France au mois de mai), soit 11 h 18 min UTC⁷.
- Azimuh de la Mecque à l'instant ci-dessus relevé à La Ciotat : Le calcul réalisé avec le logiciel « eCdT », disponible en téléchargement libre et gratuit sur le site de l'IMCCE, donne, pour le 28 mai 2026, les résultats suivants :

La Mecque : passage au méridien à 09:17:58 UTC (arrondi à 9 h 18 min).

À La Ciotat : à 11 h 18 min l'azimut du soleil est 116;3 SE.

Ce résultat correspond parfaitement avec celui d'un « calcul orthodromique ».

Calculs en TSVL (heure solaire du lieu) d'après Paul Gagnaire. Cette approche se base sur le Temps Vrai du soleil entre les deux lieux via la différence de longitude.

- Heure de l'expérience : Quand il est 12 h TSVL à La Mecque, il est à La Ciotat 12 h (TSVL) moins l'écart en longitude en temps. Différence des longitudes 39,826 111 – 5,590 00 = 34,236 111 équivalant en temps à $(34,236 111 \times 4 \text{ min}) / 60 \text{ min} = 2,282 40 \text{ h}$ (2 heures et 16 minutes 56 sec) soit en TSVL à La Ciotat à 12 h - 2,282 40 h = 9,717 6 h ou 9 h 43 min TSVL⁸.
- Azimuh de la Mecque à l'instant ci-dessus relevé à La Ciotat, avec la « Calculette AstroGno » (problème numéro 12)⁹, donne 116;417 SE.

En complément, Éric Mercier signale :

« On trouve cette méthode originale de détermination de la qibla dans un texte d'Ibn-Shātir (1304-1375, le célèbre *muwaqqit* de la mosquée de Damas et inventeur du

7. 11 h 18 min UTC - 2 h (heure été) + 22 min 21 sec (écart longitude Est La Ciotat/Greenwich) + 2 min 43 sec (EqT) = 9 h 43 min TSVL.

8. 9 h 43 min TSVL + 2 h (heure été) - 22 min 21 sec (écart longitude Est La Ciotat/Greenwich) - 2 min 43 sec (EqT) = 11 h 18 min UTC.

9. Réf : « Guide des outils numériques du gnomoniste-cadranier » (<https://ccs.saf-astronomie.fr/les-50-ans-de-la-ccs-1972-2022/>) pages 23/24. Tableur gratuit : Astro Gno de Paul Gagnaire, Yvon Masse et Yves Opizzo (CCS) à l'adresse : https://gnomonique.fr/divers/astro-gno_v1_0.xls

cadran solaire à style polaire). Cette méthode est bien entendu, et comme les autres, tributaire de la précision des coordonnées géographiques (en fait de la différence de longitude = décalage horaire), mais la partie calculatoire est réduite à zéro. Cette méthode élégante et rigoureuse ne semble pas avoir trouvé d'écho dans le monde scientifique de l'époque. Voyons ce qu'en dit Ibn-Shātir :



FIG. 33 – Issu du site : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ibn_al-Sh%C3%A2tir.

Parmi les moyens les plus simples pour déterminer l'azimut de la qibla [...] on observe le transit du Soleil au zénith des gens de La Mecque — c'est-à-dire quand il est là-bas à midi dans le huitième ou le septième degré des Gémeaux ou bien dans le vingt-troisième degré du Cancer [soit environ les 21 mai et 8 juillet dans le calendrier julien de l'époque]. On prend l'écart entre les deux longitudes. On pose une heure pour chaque [portion] de quinze parts d'écart [= 15° de longitude], et quatre minutes pour chaque part [= 1°]. Le total, ce sont des heures à compter de midi. Puis on fait une observation, le même jour, à cet instant avant midi si La Mecque est à l'Est, après-midi si elle est à l'Ouest; alors l'azimut de l'ombre du gnomon à l'heure [où l'on observe] est l'azimut de la qibla.

IN p. 397. de : Penchèvre (E.), 2017. La « Nihaya al-sul fi tashih al-'usul » d'Ibn al-Šatir, éd., trad. et commentaire mathématique, arXiv :1709.04965v1 [math.HO], 514 p.

Très curieusement, on reconnaît cette méthode, plus ou moins altérée, dans des almanachs populaires franchement non-scientifiques ... Certains de ces manuscrits datent des environs de l'an mille, Ibn-Shātir n'est donc pas l'inventeur de cette méthode, ce qu'il ne revendique pas d'ailleurs ».

Yvon Massé qui s'est intéressé au sujet ... propose de consulter en annexe, sa communication illustrée de novembre 2008. Elle est titrée « *Le cherche-qibla origine des cadrans rectilignes de hauteur?* ». Cette présentation « reprenait un thème que j'avais développé dans un article du « Gnomoniste »¹⁰.

10. « De la résolution du triangle sphérique de position par l'analemme à différents cadrans de hauteur », Bulletin *Le Gnomoniste*, Volume XV, n°3, sept 2008 (en particulier page 10 et suivantes). Commission des Cadrans Solaires du Québec; <https://sites.google.com/site/ccsq2015/home>.

« Par la suite, j'avais repris cette matière pour éditer le livre *De L'Analemme aux cadrans de hauteur*. Dans celui-ci j'avais ajouté un autre instrument pour trouver la Qibla (Fig. 34). Le passage concerné est également en annexe. »

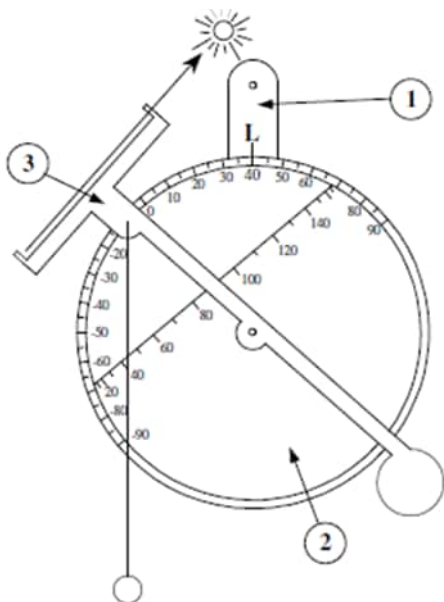


FIG. 34 – Représentation « d'un autre instrument permettant de trouver la qibla au Soleil », dessin issu du livre *De L'Analemme aux cadrans de hauteur*, page 63 (Y. Massé).



FIG. 35 – Expérience des jeux d'ombres sur un globe (J.-C. Reita).

Pour conclure, J-C Reita propose une "petite expérience sur les jeux d'ombres d'un gnomon". Sur un petit globe j'ai placé six gnomons (Fig. 35). Le premier, servant de référence, est placé à la position de la Mecque à 40° de longitude (arrondi) et à sa latitude. Le gnomon se trouve donc dans la zone intertropicale.

Les cinq autres sont placés à la latitude de 45°. Le premier à la même longitude que celui de la Mecque. Les autres placés de 10° en 10° soit : le premier à 40° le second à 30° le troisième à 20° le quatrième à 10° et le cinquième à 0° (Greenwich).

Le globe a été placé à la position approximative du 28 Mai 2026 soit un peu avant le solstice d'été. Une lampe torche éclaire le gnomon de la Mecque verticalement pour simuler le passage au méridien du soleil au zénith (90°). Dans ces conditions il n'y a pas d'ombre sur ce gnomon, il est 12 heures au soleil à la Mecque.

Le gnomon 1 placé à la même longitude que la Mecque a son ombre dirigée nord sud, vers la Mecque.

Le décalage horaire en longitude est de 60 minutes pour 15° donc 40 minutes pour 10°. Le gnomon 1er est à 12 heures comme la Mecque (même méridien). Le 2^e, 40 minutes plus tôt soit 11 h 20 min. Le 3^e, 80 minutes soit 10 h 40 min. Le 4^e, 120 minutes soit 10 h. Le 5^e, 160 minutes soit 9 h 20 min (Greenwich : 9 h 17 TU, la différence des trois minutes est le résultat des arrondies et de la négligence de l'équation du temps : 2 min 43 s).

L'heure à chaque gnomon est : 12 h, 11 h 20, 10 h 40, 10 h, 9 h 20 (Greenwich heure TU).

On constate que les ombres s'inclinent de plus en plus et se dirigent toutes vers le gnomon de la Mecque.

Donc : pour observer l'ombre du gnomon lors du passage du soleil au zénith à la Mecque il faut prendre le temps TU de Greenwich et le corriger du décalage de l'heure en longitude du lieu d'observation.

Nota : Les résultats d'une observation exécutée dans un référentiel seront identiques pour cette même observation exécutée dans un autre référentiel. Mon référentiel est la table de mon séjour, mon petit globe (notre terre), mes gnomons (des cure-dents), ma lampe torche (le soleil). Notre référentiel est notre bonne vieille terre, Greenwich, la Mecque, le soleil au zénith le 28 mai, et des observateurs répartis de 10° en 10° le long d'un parallèle à 45° de latitude. Les résultats seront identiques à mon expérience.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez :

– Fichiers de J.-C. Reita :

- 📄 [Directions de la Mecque JC Reita.pdf](#) : méthodes, calculs, réflexions ...
- 📄 [Expérience sur les jeux d'ombres d'un gnomon.zip](#) : Description de l'expérience et calculs.

– Fichiers de Y. Massé :

- 📄 [Cherche-quistla.pdf](#) : présentation du 25/11/2025 avec explications illustrées sur la recherche de la direction de la Qibla.
- 📄 [qibla.pdf](#) : pages 62–64 du livre « *De L'analemme aux cadrans de hauteur* ».

— Jean-Claude Reita (CCS) : ma méthode

J-C Reita nous communique « sa méthode » d'aborder la gnomonique et de tracer ses cadrans.

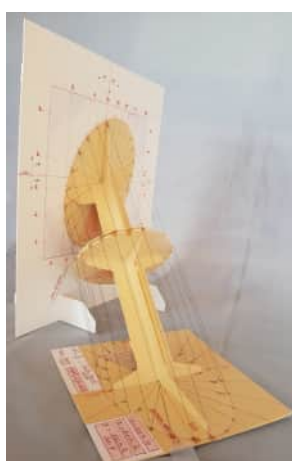


FIG. 36 – Ensemble pédagogique de cadrans déclinants.

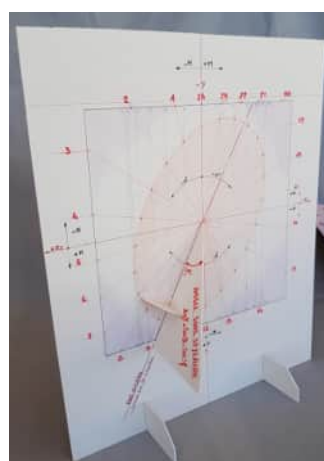


FIG. 37 – Cadran déclinant pour démonstration.

« Ancien « traceur de coque » de navire donc utilisateur de la » « géométrie descriptive » à forte dose, je peux tracer un cadran plein sud, déclinant, déclinant incliné, horizontal, analemmatique avec mes calculettes HP32s ou 35s¹¹ (c'est un luxe), et ce sans logiciel, en partant de la descriptive comme nos anciens ... (mais n'avaient pas de calculettes).

Leurs cadrans ne marchaient pas à la nanoseconde, ils marquaient l'heure. C'est moi qui ne les trace pas, un logiciel, mais restons modeste.

Le mythique navire « France » et ses célèbres cheminées a été construit vers 1960 sans CAO, sans calculettes (elles datent des années 1970 et n'indiquaient pas grand-chose).

La « règle à calcul » était obligatoire ! Marrant et superbe, mes cadrans marchent, j'en suis fier, voir photos ».

En figure 36 page précédente, un ensemble pédagogique de cadrans déclinants.

En figure 37 page précédente un cadran déclinant pour démonstration avec ellipse d'intersection, plan sous-style, angle sous-style.

« Nous avons pratiqué, mon épouse et moi, beaucoup d'interventions scolaires, publiques, nuit des étoiles, fête de la science etc. Pour nous faire comprendre nous avons toujours banni les termes compliqués, savants ou hermétiques. »

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez le fichier :

 Annexe JC Reita Ma methode.pdf.

— Jean-Claude Reita (CCS) : Cadrans solaires et "descriptive"

Après l'information sur « sa méthode » (ci-dessus), Jean-Claude Reita a confié l'ensemble de ses études. À lecture de ceux-ci Denis Savoie commente :

« J'ai regardé le travail de M. Reita, c'est vraiment superbe et didactique. Les maquettes qu'il a fabriquées sont absolument splendides et permettent une compréhension immédiate de la géométrie et des projections. Tout ceci mérite d'être diffusé par notre Commission ! »

C'est ainsi qu'il a été décidé de regrouper tous les documents dans un « guide ». Il vient compléter les 3 guides de membres de la Commission et les 5 de la CCS.

On peut le (les) télécharger à l'adresse : <https://ccs.saf-astronomie.fr/les-50-ans-de-la-ccs-1972-2022/>



FIG. 38

11. Pour ceux qui ont conservé ce genre d'instrument, en PJ, un exemple de programme pour calcul de cadrans déclinants.

— Dominique Collin (CCS) : cadran pour le sultan Mehmet II

Pour mieux comprendre l'article de David King et François Charette¹² (décembre 2024) sur la découverte d'un cadran solaire de hauteur, universel, fabriqué pour le sultan Mehmet, j'ai eu besoin de le traduire pour mieux comprendre l'aspect mathématique. Ce cadran solaire est assez exceptionnel, il faut le dire. L'étude fait près de 200 pages (et c'est un article, pas un livre !) avec une abondante référence particulièrement riche et intéressante.

Si c'est utile aux francophones, tant mieux. Pour la reproduction des caractères arabes via "Lualatex" c'est assez compliqué et je ne garanti pas d'avoir parfaitement reproduit les calligraphies arabes et persanes.

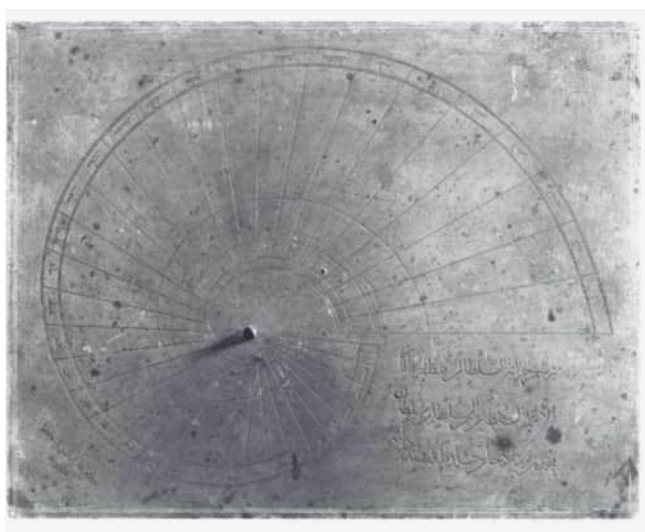


FIG. 39 – Le Cadran de hauteur universel.



FIG. 40 – Le Sultan Mehmet II par l'école italienne de Bellini.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez le fichier :

 [traduction_King_Charette_Cadran hauteur_Mehmet_II.pdf](#).

Traduction par D. Collin du livret "Instruments Astronomiques d'Istanbul à la Fin du XV^e Siècle", présentant un Cadran Solaire Universel réalisé pour le Sultan Mehmet II. Environ 150 pages, avec ajout d'une table des matières et numérotation de l'abondante bibliographie.

— Nicola Scapel : site WEB

L'article de Nicola Scapel "*Variations sur un thème d'Hipparque*" traduit par Dominique Beneult (*Cadran Info*, n°52, page 140), est également disponible en version italienne sur son site.

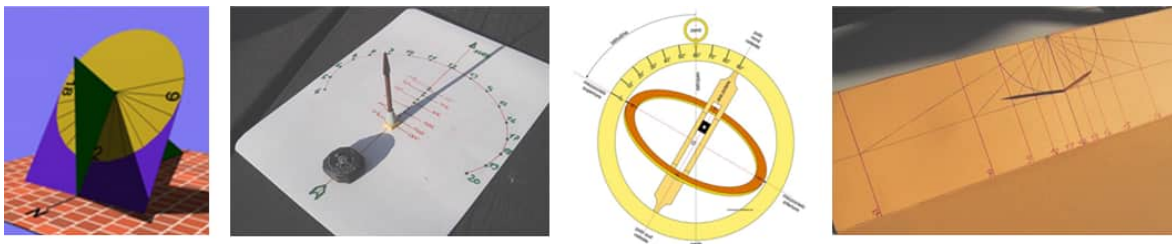
12. Suhayl. *International Journal for the History of the Exact and Natural Sciences in Islamic Civilisation*, Volume 21, décembre 2024, pp. 7–208

Ce site, très riche, pédagogique et complet, que l'on traduit automatiquement en français, peut répondre à de nombreuses questions générales ou spécifique à la gnomonique.

Il comporte à la fois des études, des calculs, de véritables cours d'astronomie, des articles sur le temps, la description et la réalisation d'instruments associés tels les horloges : stellaires, nocturlabes, astrolabes,



des cadrans solaires :



et calculateurs et outils (déclinaison solaire, archipézole, projections stéréographiques, sphère armillaire, heures d'éclairement ...).

Tous les items sont mentionnés en page d'accueil du site : <https://eratostene.vialattea.net/wpe/>.

— Jean Scordia (CCS) : jeu du chien et du chacal

Il y a deux ans, Monsieur A. Moreno, directeur du musée archéologique de Cabra (Cordoue, Espagne) demandait si la « pierre à trous » ci contre, ne serait pas un cadran solaire.

Les références de l'objet sont : "N° d'enregistrement 2023/5/1 — dimensions : 14,58 cm x 13,79 cm x 4,25 cm — La brique n'est pas perforée au centre et sa longueur a été volontairement raccourcie".

Les clichés du papyrus sont extraits des sites : papi-museo-egipzio-di-torino; celui du jeu du chien et chacal : bing.com/images.

Après étude la réponse était NON, mais que « cette pierre devait avoir une histoire » (*Cadran Info*, n°49, page 157), mais laquelle ?



FIG. 41

Dans le numéro suivant de *Cadran Info*, J. Scordia émet l'hypothèse que cette pierre est en fait un « jeu », celui du « chien/chacal », dont l'origine remonte à environ –2 000 B.C. (*Cadran Info*, n°50 page 164).

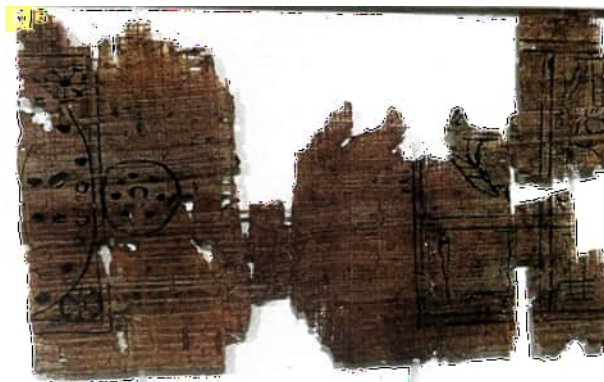


FIG. 42 – Papyrus (présenté tel que sur le site du Musée de Turin).



FIG. 43 – Le jeu (Musée du Louvre).

En mars 2026 J. Scordia revient sur le sujet et dans un courriel, annonce que :

« par hasard de lectures, j'ai découvert un vénérable et pitoyable papyrus du musée égyptien de Turin qui serait un dessin partiel du jeu du "chien et du chacal". »

Je suis tombé sur une image qui me semble confirmer une explication que j'avais donnée à la pierre curieuse du musée de Cabra. C'est un cliché des nombreux papyrus du musée égyptologique de Turin (Italie). L'image représente, en partie, des jeux antiques de société (jeu "senet" et, vraisemblablement, "le chien et le chacal"). J'avais supposé que la pierre particulière pouvait avoir été initialement un plateau de jeu du type "chien/chacal", connu particulièrement en Égypte ancienne (dont un beau modèle en forme d'hippopotame est conservé au Louvre ; Fig. 43). »

« Ce fragment de papyrus apparaît en tout petit format sur le site internet du musée de Turin. La figure 42 ci-dessus (numérotée 8B) est presque illisible et publiée renversée ! Je l'ai redressée et j'ai surligné en blanc et orange les détails intéressants (Fig. 44). »

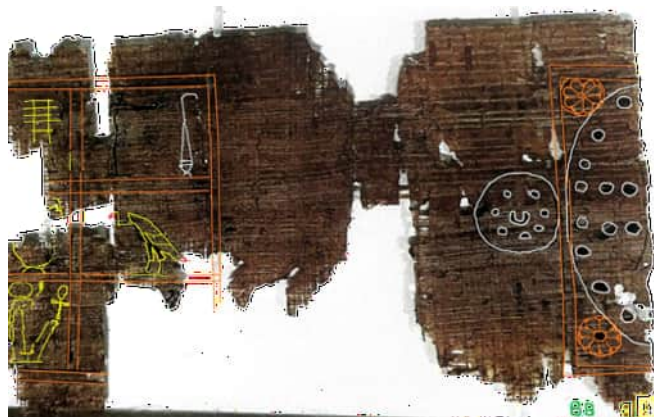


FIG. 44 – Lambeau de papyrus (Musée de Turin (Italie), inventaire 1775).

« Ce lambeau de papyrus (n° d'inventaire : 1775 ; datation : Nouvel Empire, –1543 à –1292 ; provenance : Louxor ?) décrit, au verso, le jeu de *senet*, les pions et les règles. Il illustre au recto quelques cases du jeu *senet* (sur la gauche) et une partie du jeu du “chien et du chacal” (sur la droite), me semble-t-il. En comparant cette partie gauche avec la même partie gauche du jeu exposé au Louvre, je constate la même disposition des perforations.

Les cases de gauche contiennent des dessins du jeu *senet* (pilier *djet*, sorte de pilon, ?, vautour, déesse solaire). À droite, deux détails de la partie postérieure de ce que je suppose fortement être le “jeu du chien et du chacal”. Le petit cercle extérieur au grand cercle serait un des deux grands trous du côté. L'orientation des trous de la portion du grand cercle est la même que celle de la partie arrière de l' “hippopotame” du Louvre (Fig. 44).

Cette découverte vient clôturer l'énigme et l'histoire de la pierre/brique à trous du musée archéologique de Cabra ».

— Gilles Montambaux et Yves Guyot (CCS) : le 20 mars

En complément des photos de cadrans solaires prises le 20 mars dernier, jour de l'équinoxe de printemps¹³, voici :

À **midi solaire**, G. Montambaux a photographié le passage du Soleil sur la plaque équinoxiale de la méridienne de Saint-Sulpice à Paris à 12 h 58 min 06 s, correspondant au « midi solaire » le 20 mars 2026, soit 2,79 heures avant l'instant de l'équinoxe donné pour 15 h 45 min 36 s.

Le déplacement de la tache autour de l'équinoxe le long du méridien est de 38.5 cm par jour, soit 1.6 cm/heure. L'observation ayant eu lieu 2.79 h avant l'équinoxe, on s'attend à voir la tache 4.4 - 4.5 cm au nord de la plaque.



FIG. 45 – Position de la tache à 12 h 58 min 05 s.

Mais les observations des équinoxes de 2024 et 2025 ont montré un petit décalage vers le sud d'environ 2.3 cm entre la position observée de la tache ramenée à l'équinoxe et la position de la plaque¹⁴.

Sur la photo 45, il est donc vérifié que le 20 mars 2026 à 12 h 58 min 06 s, la tache lumineuse est à environ 2,1 à 2,2 cm au nord de la plaque et que cette dernière présente un décalage sud d'environ 2,3 cm.

En annexe de la version numérique :

Le fichier :

13. Info-mails n°39_2026 : Méridienne en cours de réalisation à Bosset (A. Goffin); Méridienne à réflexion (G. Mesturini); Méridiennes des Invalides en 2022 (G. Grasia); Méridienne de Saint-Sulpice à Paris (G. Montambaux); Cadran église de Biviers (V. Gilbert)

14. Se reporter à l'étude : <https://gilles.montambaux.com/files/misc/plaque-equinoxiale.pdf>.

📄 [plaque-equinoxiale-20-mars-2026.pdf](#) présente, photos, schémas, calculs du décalage de la tache avec position théorique et relevée pour le printemps 2026. En conclusion sont présentés les positions prévisionnelles de la tache solaire pour les équinoxes (printemps/automne) de 2026 à 2030.

Dans la journée La tache lumineuse du Soleil saisie le vendredi 20 mars sur les trois cadrans de Y. Guyot installés chez lui au lieu dit Dégoulat à Thiers (63); Fig. 46 à 49.

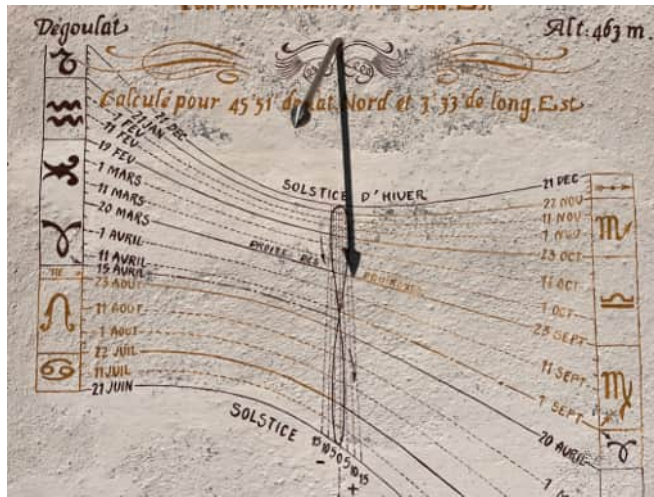


FIG. 46

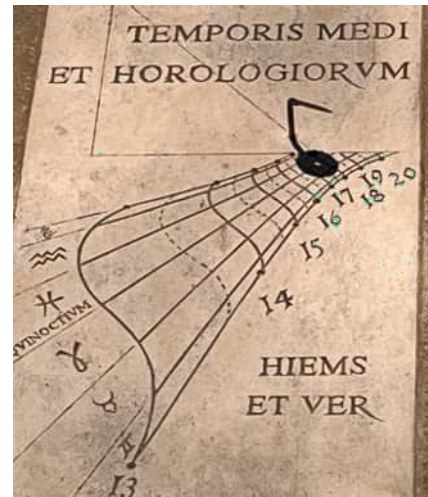


FIG. 47



FIG. 48

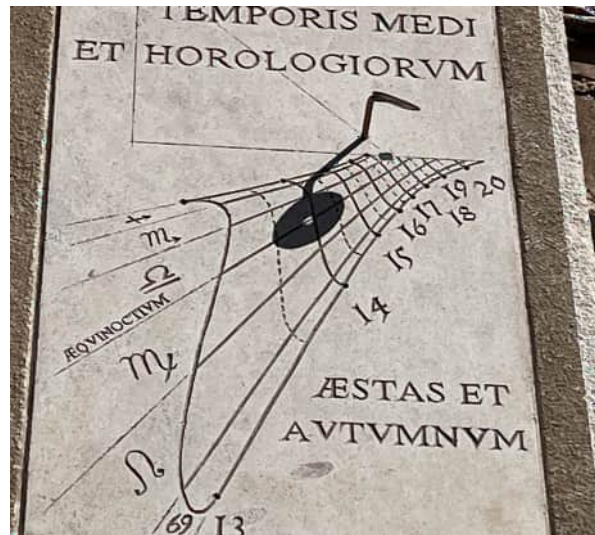


FIG. 49

— Guy Grasic et Denis Savoie (CCS) : remarques sur l'article CI 52 de la courbe en huit de Temps Moyen

Par G. Grasic. Dans l'article « La courbe en huit et l'utilisation dans les cadrans solaires » paru dans la revue *Cadran Info* n°52, il est écrit en bas de la page 61 « Ces deux boucles seraient de même taille si l'orbite de la Terre était une circonférence parfaite, et il n'y aurait qu'une boucle si l'axe de rotation n'était pas incliné ». Si la première affirmation est exacte, la deuxième ne l'est pas.

Dans l'hypothèse où l'axe de rotation de la Terre ne serait pas incliné, le plan de l'équateur serait confondu avec celui de l'orbite de la Terre et l'obliquité de l'écliptique serait nulle. Le soleil serait toujours à la verticale de l'équateur et sa déclinaison serait nulle toute l'année. L'équation du temps se limiterait à sa composante appelée équation du centre. Pour un observateur sur terre le soleil se déplacerait sur un segment de l'équateur céleste.

La figure 50 montre en rouge la trajectoire réelle du soleil dans le ciel. En bleu est représenté le segment décrit par le soleil si l'axe de rotation de la Terre n'était pas incliné. L'obliquité de l'écliptique serait nulle et l'équation du temps se limiterait à l'équation du centre. La courbe verte représente la trajectoire du soleil si l'orbite de la Terre était circulaire. L'excentricité serait nulle et l'équation du temps se limiterait à sa composante appelée réduction à l'équateur. Dans ce cas on voit que la courbe est un huit symétrique haut-bas et gauche-droite.



FIG. 50

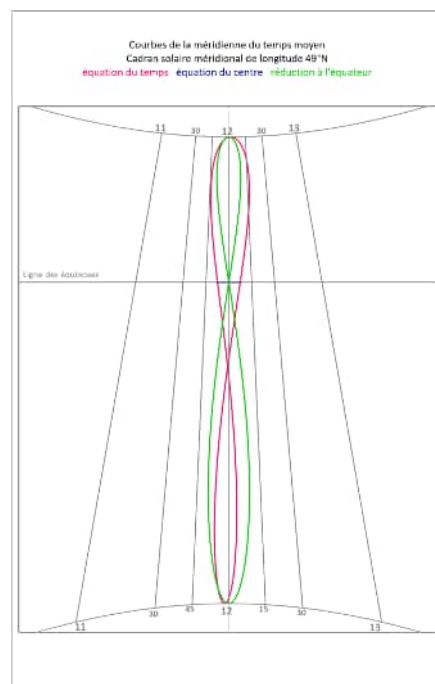


FIG. 51

La figure 51 montre les différentes formes de la courbe de temps moyen sur un cadran solaire méridional dans les trois cas présentés précédemment : équation du temps, équation du centre (inclinaison de l'axe des pôles nulle) et réduction à l'équateur (orbite de la Terre circulaire). Pour que la trajectoire du soleil présente une seule boucle il faut que l'excentricité de l'orbite terrestre soit plus importante que sa valeur actuelle (0,0167).

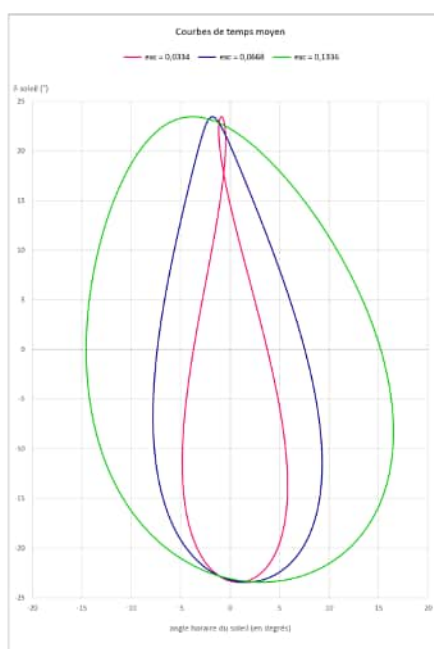


FIG. 52

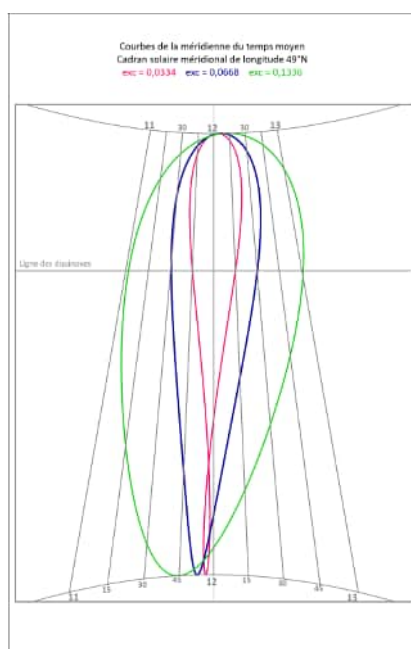


FIG. 53

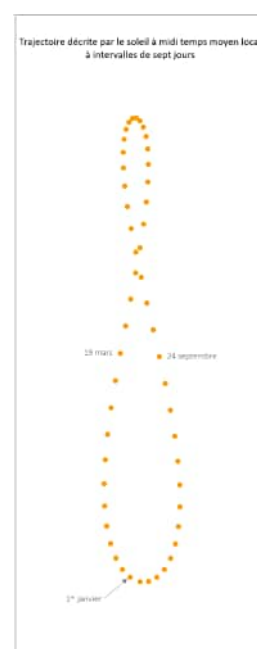


FIG. 54

La figure 52 montre la forme de cette trajectoire dans les cas où l'excentricité serait double (0,0334), quadruple (0,0668) et octuple (0,1336) de celle actuelle. La forme de la trajectoire du soleil prend l'aspect d'un huit ventrus, puis d'une goutte d'eau et enfin d'un œuf.

La figure 53 montre la forme de la courbe de temps moyen sur un cadran solaire méridional pour les trois valeurs de l'excentricité : 0,0334 ; 0,0668 et 0,1336.

La figure 54 présente la trajectoire du soleil à 12 h 00 temps moyen local. Elle est calculée à intervalles de sept jours. La durée de l'année n'étant pas multiple de sept jours, l'intervalle précédent le 1^{er} janvier comporte huit jours. Cette représentation graphique de la courbe du temps moyen permet de voir la progression hebdomadaire du soleil dans le ciel. Deux points, proches de la ligne des équinoxes, ont été datés : 19 mars et 24 septembre. Ce graphique a été réalisé pour l'année 2025 ; l'équinoxe de printemps s'est produit le 20 mars à 09 h 01 UTC et celui d'automne le 22 septembre à 18 h 19 UTC.

Par D. Savoie. Merci à Guy Grastica pour cette mise au point sur les courbes en huit. De mon côté je note :

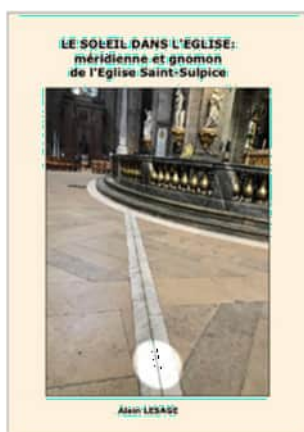
- * Le périhélie ne se déplace pas à cause de la précession des équinoxes mais en raison des perturbations planétaires (page 62).
- * L'équation du temps est parfaitement connue au XVI^e siècle : on la connaît au moins depuis le II^e siècle de notre ère, cf. l'*Almageste* (Page 65).
- * Comment expliquer que le cadran horizontal de Brou installé au XVI^e siècle soit analemmatique puisque ce type de cadran est inventé en 1640 par Vaulezard ? (Page 65).

Les conséquences de l'adjonction d'une courbe en huit sur un cadran analemmatique sont étudiées dans *La Gnomonique*, p. 197–201.

À remarquer que la figure 52 page précédente de G. Grastica rappelle celle qu'on aurait sur Mars où la courbe de correction de l'équation du temps est justement en forme de patatoïde (cf. *Cadran Info* n°39).

3 Les livres

3.1 Le Soleil dans l'église (Alain Lesage)



Avec en autres, la contribution de A. Goffin (CCS) et de D. Savoie (CCS), ce livret d'une cinquantaine de pages présente l'histoire et la description de la méridienne et du gnomon de l'église Saint-Sulpice à Paris.

De Henry Sully et son œuvre inachevée à Pierre Charles Le Monnier, l'apport de cet instrument dans la mesure de l'obliquité.

Achat du livret 15 € (10 € sur place + 5 € d'envoi) auprès de Mme S. S. Auclaire, accueil Église Saint-Sulpice, 2 rue Palatine 75 006 Paris, tél : 01-46-33-21-78.

3.2 Compasts by Erhard Etzlaub



Dans ce livre d'une soixantaine de pages, également un cadran solaire diptyque provenant de la collection du Württemberg Landesmuseum à Stuttgart.

L'auteur, Maciej Lose, est originaire de Wrocław. Il est membre de la BSS. Ces dernières années, il a publié de nombreux articles dans le Bulletin de la BSS, ainsi que plusieurs ouvrages sur des thèmes gnomoniques.

Le livre peut être téléchargé gratuitement à l'adresse : http://cursiva.pl/wp-content/uploads/2026/02/Lose_Compasts_by_Erhard_Etzlaub.pdf

4 Nous ont quitté

— Gérard Baillet

C'est avec tristesse que nous avons appris de Madame Paulette Baillet et de ses filles le décès de Gérard, survenu le 28 janvier.

Dès son adhésion en 2002, Gérard a apporté beaucoup à la Commission des Cadres Solaires. Il a été le premier à utiliser le logiciel "Pov Ray" pour étudier, expliquer les principes et les instruments de la gnomonique. Nous lui devons également plus de 15 articles dans *Cadran Info*. Présentées avec modestie et humour, ses interventions, étaient appréciées pour leurs valeurs scientifiques et pédagogiques.

Ci-après trois témoignages :

- **Denis Savoie** a travaillé avec Gérard sur différents types de cadrans solaires (barrage de Castillon, cadran à œillette de Loupian, cadran à réflexion de l'INES, cadrans de Jaïpur, cadran de Sorède, cadran hélicoïde, cadran bifilaire ...).



FIG. 55 – Photo de G. Baillet prise en 2009 lors de l'inauguration du cadran du barrage de Castillon.

« Sa première communication en 2002, a immédiatement suscité un très vif intérêt par sa nouveauté : sa remarquable maîtrise du logiciel de ray-tracing Pov-Ray a d'emblée été un atout majeur pour modéliser des problèmes complexes et il a beaucoup contribué à une meilleure compréhension des cadrans solaires. Il avait un souci de didactique très prononcé et bien qu'il se revendiquait "autodidacte" en astronomie de position, il avait acquis une expertise reconnue et un talent certain pour rendre accessible des notions compliquées.

Gérard Baillet était aussi très généreux dans ses travaux qu'il partageait volontiers et était toujours disponible pour se lancer dans un problème nouveau. Je l'ai entraîné dans de nombreuses aventures, à commencer par celle du cadran solaire du barrage de Castillon où ses modélisations ont été capitales pour bien comprendre le comportement de « l'ombre de la corniche ». Parmi les nombreuses vidéos qu'il a réalisées en Pov Ray, certaines sont aujourd'hui présentées au musée d'histoire des sciences de Mascate, d'autres le furent au Palais de la découverte. Derrière l'homme modeste se cachait un gnomoniste de grand talent dont l'apport à cette science a été déterminant sur de nombreux plans. Gérard Baillet fut honoré du prix Henry-Rey en 2006 ».

Je possède de nos études, de nombreux documents de Gérard Baillet* ».

- **Jean-Francois Consigli** était en contact avec Gérard peu avant sa disparition.

« C'est en m'intéressant de plus près aux méridiennes à chambre obscure que j'avais découvert, il y a déjà quelques années, les travaux de Gérard Baillet sur les images produites par des œillette. Très récemment, environ une semaine avant sa disparition, j'avais entamé une correspondance avec lui à ce sujet.

J'ai découvert à cette occasion un personnage très sympathique et un véritable puits de science en gnomonique, qui, au fil des années, était devenu également un spécialiste du logiciel POV-Ray et de ses applications en gnomonique. Très gentiment,

quelques jours avant son décès, il m’a envoyé l’intégralité de ses études et expérimentations remontant à 2011-2012. Nous devions nous recontacter très prochainement pour en discuter, mais malheureusement le destin en a décidé autrement.

Cette transmission d’une partie de ses travaux à ce moment si particulier me laisse une sensation étrange, sur laquelle j’ai du mal à mettre des mots. Un peu comme si Gérard Baillet, de manière prémonitoire, avait souhaité empêcher qu’une partie de son travail ne devienne inaccessible, permettant ainsi à ceux qui le souhaitent de pouvoir éventuellement prolonger / compléter la voie qu’il a tracé.

Une préoccupation est revenue à plusieurs reprises lors de ma discussion avec Gérard Baillet, ainsi que dans le mail envoyé par sa fille pour annoncer son décès : le souhait que son travail et sa contribution soient cités en cas de nouvelles publications sur le sujet. C’est ce que je lui ai assuré de vive voix, et également confirmé par mail à sa fille.

D’autres membres de la CCS pourront sans doute être plus précis à ce sujet, mais je sais qu’en plus de sa maîtrise de la programmation en POV-Ray, il avait réalisé plusieurs cadrans solaires et avait collaboré avec Denis Savoie sur le cadran du barrage du Castillon et pour le Musée d’histoire des sciences du Sultanat d’Oman. Il a également participé à la réalisation de vidéos pédagogiques pour le Palais de la Découverte, toujours avec Denis Savoie ».

- **Dominique Collin** avait sollicité l’aide de Gérard Baillet dans l’étude des cadrans solaires bifilaires dans les années 2003 à 2008.

« Il s’agissait des bifilaires à gnomons rectilignes en position quelconque au-dessus d’un plan horizontal (donc 6 paramètres de positionnement des fils). Longue étude et mathématiquement assez complexe et j’avais utilisé à cette époque le logiciel Géoplan et le logiciel Excel dont l’utilisation consistait à programmer les formules analytiques du point d’ombre dans ce cas très généralisé de cadran bifilaire. Et c’est là que j’ai rencontré les travaux de Gérard avec notamment l’utilisation du Logiciel de ray-tracing : Pov-ray. Concept complètement différent des logiciels de géométrie dynamique, et sa maîtrise impressionnante de Pov-Ray, avec lequel, sans aucun calcul, sans aucune injection d’équation des coordonnées du point d’ombre, Gérard dévoilait les lignes horaires, les arcs diurnes de ce nouveau type de cadran solaire bifilaire jusqu’à en faire des animations vidéos soignées et réalistes. Ce qui me permis de confirmer ainsi une théorie de ce bifilaire sous une voie complètement différente de l’étude algébrique.

Je retiens surtout de ces périodes de travail de ce grand maître, sa gentillesse, patience, sa disponibilité et le partage des connaissances. Le cadran bifilaire l’avait passionné en revenant à la source géométrique de son fonctionnement et notamment en proposant un tracé à la règle et au compas (en 2007).

Il vient ensuite une autre exceptionnelle étude gnomonique : celle de la simulation de la forme de la tache de lumière issue d’un trou (œilleton) et toujours avec Pov-Ray (Cf. Cadran Info spécial 2012 regroupant notamment les études de Gérard sur ce sujet).

Gérard a développé d’autres études gnomoniques, a construit aussi plusieurs cadrans solaires, montrant qu’il était un gnomoniste complet et talentueux. »

Travaux de G. Baillet

- Articles : 17 articles publiés dans *Cadran Info*.
 - ° Liste des articles et résumés à l'adresse : <https://ccs.saf-astronomie.fr/cadran-info/> puis cliquer sur "liste disponible ici" (faire tri par auteur)
 - ° *Cadran Info* antérieurs à 5 ans à télécharger à l'adresse : <https://ccs.saf-astronomie.fr/cadran-info/>
- Études : regroupement de l'ensemble des documents (articles, calculs, photos, vidéos...) en possession de la CCS. Un tableau Excel liste ces documents par type et contenu.
- Vidéos : elles sont présentées sur le site de la CCS à l'adresse : https://www.youtube.com/channel/UCRbg5uIDgjb_R-WNKe1-RUQ

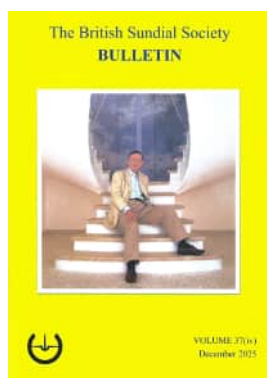
En annexe de la version numérique :

Le fichier "Articles_G_Baillet.zip" contient :

- Liste des documents par type et contenu "1_Baillet G liste_ordonnée_CI53.ods"
- Des études concernant :
 - Le cadran sur barrage de Castillon.
 - Le cadran bifilaires à réaliser avec une règle et un compas.
 - Description d'un cadran lunaire.
 - Un cadran hélicoïde.
 - La coupe d'un cône par un plan.
 - Les cadrans cylindriques sans style.
 - Un cadran analemmatique en forme de cœur.
 - Les œilletons et lumière projetée.

5 Gnomonique du monde

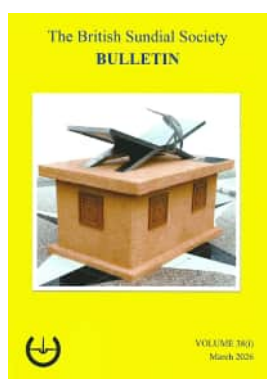
— Sommaires des dernières revues ou bulletins :



BULLETIN, Volume 37, N°iv, décembre 2025 (sur papier) de **THE BRITISH SUNDIAL SOCIETY, BSS**
[sundialsoc.org.uk]

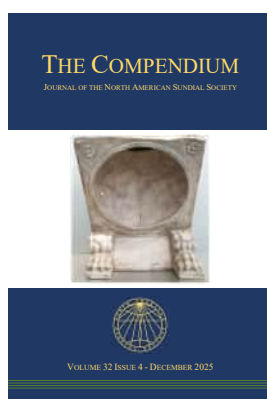
P. 1 : Editorial. P. 2 : Sir Mark Lennox-Boyd, 4 May 1943 to 24 July 2025 — *Doug Bateman*. P. 5 : Bulletin Follow-up : 16 October 2025 — *Frank H. King*. P. 8 : An Early Sundial by Samuel Saunders — *Sue Manston*. P. 9 : Postcard Potpourri 73. Winston House, nr Steyning, West Sussex — *Peter Ransom*. P. 10 : Plotting the Sun's Azimuth and Elevation through the Year — *Andrew Hodgson*. P. 11 : Display Tables at the Newbury Meeting — *CHN*. P. 12 : A Look at Sundial Collector Cards — *Martin Jenkins*. P. 21 : Theft of Garden Sundials in the Georgian Period — *David Bryden*.

P. 23 : A Visit to the Liberation Monument, Guernsey — *Doug Bateman*. P. 24 : Minutes of the 35th BSS Annual General Meeting, Newbury, 27 September 2025.



BULLETIN, Volume 38, N°1, mars 2026 (sur papier) de **THE BRITISH SUNDIAL SOCIETY, BSS**
[sundialsoc.org.uk]

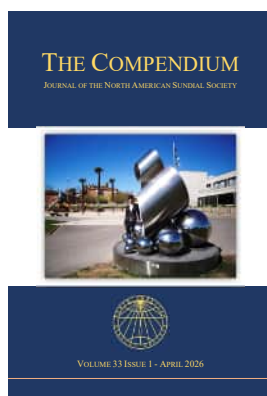
P. 4 : Editorial. P. 2 : The Byzantine Sundials of Greece : Part 1 — *Karlheinz Schaldach*. P. 7 : Prepare to Paint — *Jackie Jones*. P. 8 : Making a Working 3D-Printable Replica of the Pilkington & Gibbs Helio-Chronometer — *Marc André Nadeau*. P. 13 : Newly Reported Dials, 2025 — *Graham Stapleton*. P. 16 : Trustees' Annual Report 2025. P. 20 : Comment on 'A Sundial Found in the Egyptian Valley of the Kings' — *Hans W. Wilschut*. P. 21 : BSS Sundial Awards 2021–2025 — *David Hawker, Frank H. King and Anton Leach*. P. 22 : Bulletin Follow-Up : 22 January 2026 — *Frank H. King*. P. 25 : Two School Project Equatorial Sundials — *Alba and Edward*. P. 26 : Refurbishment of a Pair of Equatorial Dials — *Andrew Hodgson*. P. 28 : Postcard Potpourri 74 : Boddington, Northamptonshire — *Peter Ransom*. P. 29 : Mizwalah Rehal : A Knowledge-Inspired Islamic Sundial — *Syed Kamarulzaman*. P. 32 : The Noon Sundial on Glass, Farnborough, Destroyed — *Douglas Bateman*.



The COMPENDIUM, Volume 32, N°4, décembre 2025 (sur papier) de **THE NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY, NASS**
[www.sundials.org]

Sundials for Starters – Season Signs — *Robert L. Kellogg*, p. 1. Interview : Robert Adzema — *Steve Lelievre*, p. 10. Making a Roofed Spherical Sundial — *Mark Montgomery*, p. 19. A Sundial for Lions Park — *Dr. James Stegenga*, p. 33. Comments on the Accuracy of a New 'Human Sundial' in Springfield, MO — *Steve Lelievre*, p. 42. In Memoriam, p. 49. Motto Musings — *Mark Montgomery*, p. 50. The Dial in a Ring, According to Orontius Fineus — *Alessandro Gunella*, p. 59. Laying out Pilkington/Homan Scales — *Steve Lelievre*, p. 66. Digital Bonus, p. 76. The Tove's Nest, p. 76. Conference Report : Ottawa 2025, p. 77.

Front cover : Sundial at Baelo Claudia, Andalucia; photograph by Christophe Dez.



The COMPENDIUM, Volume 33, N°1, avril 2026 (sur papier) de **THE NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY, NASS**
[www.sundials.org]

Sundials for Starters – The Other Side of Sundials, p. 1. The Baroque Star Sundial with Letter 'A' – How Did I Get an Original Star Sundial from an Old Castle? — *Willy Bachmann*, p. 1. A Pyramidal Dial in Slovakia — *Ing. Miloš Nosek*, p. 37. Constructing an Accurate 3D-Printed Heliocronometer — *Marc-André Nadeau*, p. 42. The Large Sundial of Zaragoza — *Teo Ros & Antonio Ros*, p. 58. The Sunwave Sundial — *Teo Ros & Antonio Ros*, p. 63. The Seven Dials Sundial — *Bryan Holmes*, p. 68. Designing an Indoor Window Sundial — *Bryan Holmes*, p. 71. G. Battista Benedetti and the Horizontal Dial — *Alessandro Gunella*, p. 76. In Memoriam — *Art Kaufman*, p. 78. The Tove's Nest. Digital Bonus, p. 80.

Front cover : The Sunwave Sundial, Huesca, Spain. Photo : Teo Ros.



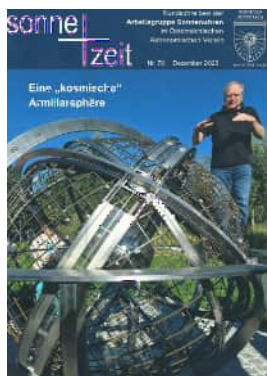
OROLOGI SOLARI N°38, décembre 2025, de la CGI – Coordinamento Gnomonico Italiano à télécharger sur le site : [www.oro-logisolari.eu]

P. 6 : Il personal computer e la gnomonica contemporanea — *Anselmi Riccardo*. P. 12 : Laboratorio di Orologi “Proiettivi” (parte 4) — *Clarà Francesc*. P. 15 : Note sulle curve dell’Asr e sulle curve del crepuscolo - “Parte 3 di 3” — *Collin Dominique*. P. 26 : La posizione del Sole sull’eclittica : come farei oggi per trovarla — *Gunella Alessandro*. P. 30 : Come realizzare un Nomogramma Astronomico — *Nicelli Alberto*. P. 34 : Le linee orarie temporarie e l’errore di Federico Commandino — *Nicelli Alberto*. P. 38 : La parabola celeste — *Nicelli Alberto*. P. 40 : Formule gnomoniche

dall’analemma — *Stocco Elsa*. P. 43 : Giuseppe Sarto, Papa, Santo, costruttore di meridiani — *Stocco Elsa*. P. 55 : Contributi brevi. Dati utili per i colleghi restauratori ? — *Gunella Alessandro*. De orologiis describendis libellus – Traduzione e commento del taccuino di Daniele Barbaro — *Gunella Alessandro*. P. 59 : Rassegna riviste di gnomonica. P. 76 : Pubblicazioni. P. 79 : Notizie gnomoniche. P. 82 : Gnomonica nel Web.

In copertina : L’orologio solare realizzato da Giuseppe Sarto (Pio X) sulla canonica di Tombolo (PD), dall’articolo di Elsa Stocco.

In quarta di copertina : La “Parabola celeste” di Alberto Nicelli.



Bulletin n°70, décembre 2025 (sur papier) du Groupe de travail pour les cadrans solaires de l’ÖSTERREICHISCHE ASTRONOMICAL SOCIETY [www.gnomonica.at]

P. 4 : Die Sonnenuhr in Lenggries — *Louis-Sepp Willmann*, Engelberg (Schweiz) — *Dieser Sonnenuhr haben wir Unrecht getan - eine Rehabilitierung*. P. 5 : Nachwort zur Sonnenuhr in Hilandar — *Militin Tadić*, Belgrad (SRB) — *Der Heilige Berg im Reich der reinen Sonnenstrahlen*. P. 6 : Die reanimierte Sonnenuhr in Engelberg — *Louis-Sepp Willmann*, Engelberg (Schweiz) — *In diesem Beitrag wird das Schicksal der Wandsonnenuhr erzählt*. P. 7 : Eine kleine Bildergalerie — *Kurt Descovich*, Wien — *Wir zeigen gern Fotos, die uns von Freunden eingeschickt werden*. P. 9 : Lösung der

letzten Nachdenkaufgabe — *Franz J. Vrabec*, Wien — *Zur Bescheinigungsdauer einer Sonnenuhr (Teil 1)*. P. 11 : Die Schulsonnenuhr in Mali Radinci — *Militin Tadić*, Belgrad (SRB) — *Eine Freude für viele Kinder*. P. 11 : Interessensgruppe „Historische Sonnenuhren“ — *Franz J. Vrabec*, Wien — *Erste Beiträge zum Aufruf des Autors sind bereits eingelangt*. P. 12 : Zum Nachdenken — *Kurt Descovich*, Wien — *Ein Polstab und sein Schatten ...* P. 13 : Eine Lanze für Vektoren — *Kurt Descovich*, Wien — *Drehungen von Bezugssystemen führen zur Konstruktion von Sonnenuhrskalen*. P. 16 : Die Sonnenuhrtagung der GSA in Linz — *Kurt Descovich*, Wien — *Wir geben ein kurzes Rsumé dieser gelungenen Tagung*.

Lors de l’envoi de la revue Zon & Tijd 2025-3 (n° 154), Éric Daled écrit : « Je profite de l’occasion pour faire parvenir également le communiqué annonçant la dissolution du ”Zonnewijzerkring Vlaanderen” ».

Dissolution du « Zonnewijzerkring Vlaanderen »

Le conseil d’administration de l’association sans but lucratif « Zonnewijzerkring Vlaanderen » (Cercle d’études des cadrans solaires en Flandre belge) a récemment décidé de dissoudre l’association.

La plupart des membres flamands ont rejoint le « *Zonnewijzerkring* » (Cercle d'études des cadrans solaires aux Pays-Bas), avec lequel ils entretiennent d'excellentes relations depuis plus de 30 ans et avec lequel ils publient la revue commune « *Zon & Tijd* » depuis 2018.

La connaissance des cadrans solaires et des instruments de mesure scientifiques similaires en Flandre belge sera donc préservée.

Il en va de même pour les contacts avec les associations semblables dans le monde entier.

L'inventaire des cadrans solaires en Flandre belge reste temporairement consultable à l'adresse suivante : https://www.astrolemma.be/p_inventaris.html



Bulletin 2025.4, n°155, décembre 2025 (sur papier) de la Nederlandse Zonnewijzerkring et de la Zonnewijzerkring Vlaanderen

[www.zonnewijzerkringvlaanderen.be]

P. 3 : Voorwoord — *Redactie*. P. 4 : Van het NL-bestuur — *Secretaris*. P. 5 : Kort nieuws — *Redactie*. P. 6 : Kringleven 51° N — *ZKV-Bestuur*. P. 7 : Nieuwe zonnewijzer in Leidsche Rijn — *Hendrik Hollander*. P. 8 : Méridien of méridienne? — *Eric Daled*. P. 9 : Je schaduw achterna — *Willy Leenders*. P. 12 : De zakzonnewijzer met maanwijzer van Gerardus Brand — *Siebre van der Werf*. P. 16 : Raadselachtige zonnewijzer in Dinkelsbühl (D) — *Janny Wijchman & Frans Maes*. P. 19 : De zonnewijzertoerist was in Alphen aan den Rijn — *Hans Schipper*. P. 20 : Sundial blues in Paris — *Hans Wilschut*. P. 21 : $\delta - E$ tabel — *Redactie*. P. 22 : Het azimut van de zon berekenen zonder de breedtegraad — *André Reekmans*. P. 23 : De oude puzzel : Kuifje — *Hans Wilschut*. P. 25 : Zonnewijzerfoto's van Al nog geen succes — *Willy Leenders*. P. 26 : De nieuwe puzzel : Zonnewijzersafari — *Janny Wijchman*. P. 28 : Verslag van de bijeenkomst op 20 september in Tricht — *Secretaris*. P. 34 : Contents of this issue — *Redactie*.

Tip bij de digitale editie : Klik op een artikel en je springt er heen. Klik op de boven/ondermarge en je springt terug.

→ Toutes les *sociétés gnomoniques* étrangères peuvent faire paraître des informations dans cette rubrique. ←

This heading is open at every gnomonic society

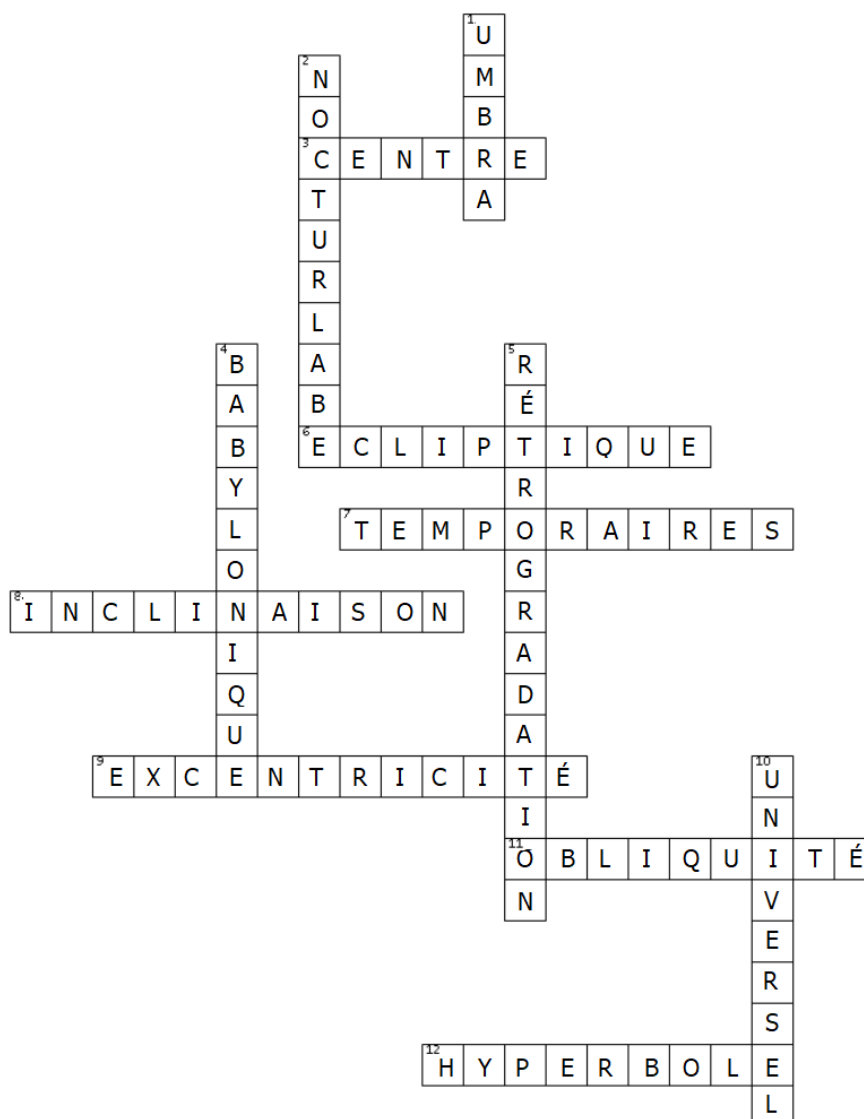
Pour utilisation personnelle, des articles peuvent être numérisés et envoyés à nos membres par mails, téléchargement ou par courrier (prix de la page au tarif de la SAF + frais d'envoi suivant le poids.)

Réalisation : **Dominique Collin** (relecture, mise en forme & traitement $\text{\LaTeX}$) et **Philippe Sauvageot**.

Informations arrêtées en avril 2026.



Solution du mot mystère de CI 52



Le mot mystère CI52 était « *COURBE EN HUIT* »

Dans le vocabulaire gnomonique, la « courbe en huit » désigne la ligne méridienne des dates tracée sur la table d'un cadran solaire pour permettre le passage du temps solaire vrai au temps moyen. Chaque point de cette courbe correspond à une date de l'année ; à midi moyen local par exemple, l'ombre du style (ou une tache de lumière) vient coïncider avec le point correspondant à la date du jour. L'écart entre ce point et la ligne de midi solaire du cadran indique directement la valeur de l'équation du temps, à ajouter ou retrancher. Il est possible de tracer une courbe en huit pour des heures autre que midi.

Aspect théorique : sa forme caractéristique en « 8 » asymétrique résulte de la composition graphique de deux sinusoides dû aux inégalités du mouvement solaire apparent :

- Une composante due à l'obliquité de l'écliptique.

- Une composante, également sinusoïdale, due à l'excentricité de l'orbite terrestre.

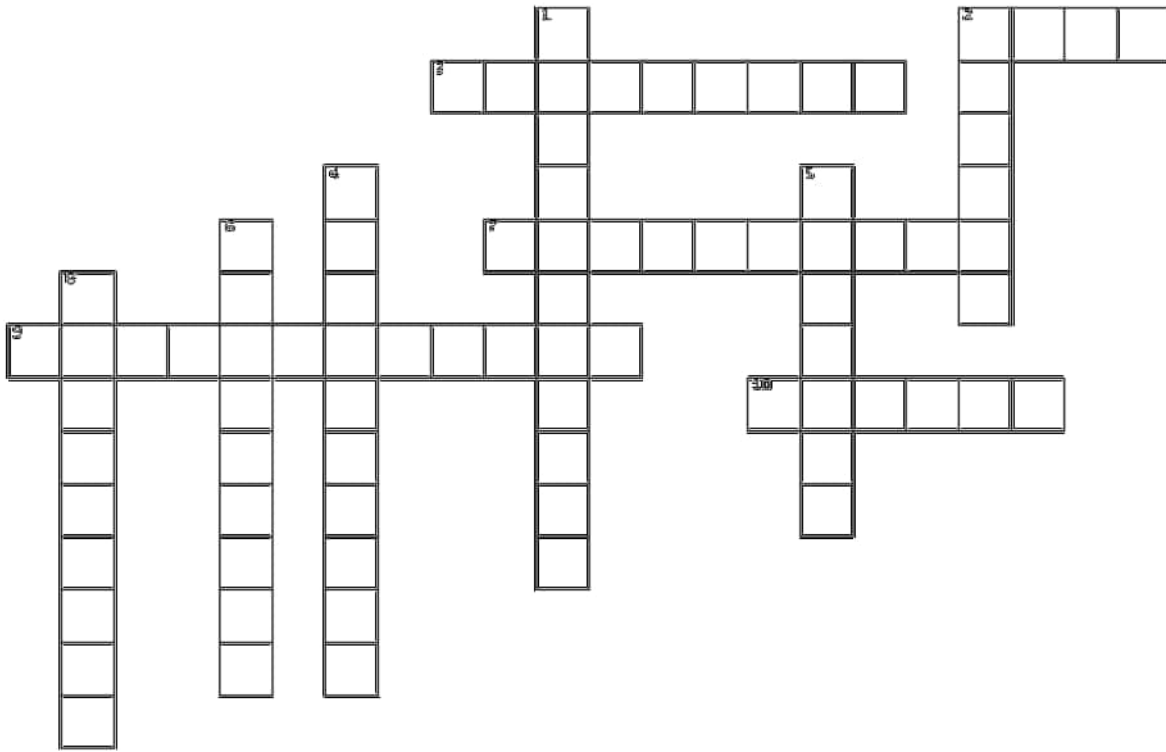
Aspect historique :

- Fondements conceptuels : La double inégalité (obliquité et excentricité) est connue dès l'Antiquité (Ptolémée). Au XVII^e siècle, la précision croissante des observations et des calculs astronomiques permet d'envisager sa représentation graphique directe sur un cadran.
- Premières idées de représentations graphiques : Le mathématicien anglais William Oughtred (vers 1640-1650) est généralement crédité d'être le premier à avoir proposé l'idée d'utiliser une table ou une échelle mobile pour convertir l'heure solaire en heure moyenne. Peu après, John Flamsteed, premier Astronome Royal, publie une construction géométrique rigoureuse en 1678 de l'équation du temps (dans les *Philosophical Transactions of the Royal Society*).
- Systématisation et norme : C'est au milieu du XVIII^e siècle que la pratique se normalise, notamment grâce aux travaux du Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale des sciences, Grandjean de Fouchy.

La « courbe en huit », signature graphique de l'équation du temps en gnomonique, est bien plus qu'un simple motif décoratif : c'est la visualisation de la double inégalité du mouvement solaire, et aussi le fruit d'une évolution technique jusqu'à sa formalisation par Grandjean de Fouchy, qui a permis d'intégrer la précision astronomique à l'art du cadran solaire.



Trouvez le mot mystère



Horizontal :

2. En trigonométrie sphérique, point fixe sur une sphère autour duquel on définit les coordonnées célestes.
3. Déplacement angulaire apparent d'un astre dû au changement de position de l'observateur.
7. Courbe tracée sur une sphère qui coupe tous les méridiens sous un angle constant, utilisée en navigation.
9. Lieu scientifique équipé d'instruments dédiés à l'étude des astres.
10. Angle horizontal mesuré depuis le Nord vrai jusqu'à la projection verticale d'un astre.

Vertical :

1. Ligne du plus court chemin entre deux points sur une sphère (grand cercle).
2. Terme familier désignant un bâton vertical planté dans le sol pour matérialiser le style d'un cadran.
4. Point de la sphère céleste situé à 90° de l'horizon sur le grand cercle passant par le zénith et un astre.
5. Ligne circulaire où le ciel et la Terre semblent se rejoindre.
6. Point de l'orbite terrestre où la distance au Soleil est minimale.
8. Angle entre le plan de l'équateur terrestre et le plan de l'écliptique.

Il suffira ensuite de trouver l'ordre des lettres des cases numérotées pour établir le mot mystère.

Composé grâce à puzzlemaker.discoveryeducation.com/

Solution au prochain numéro.

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 tels 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.

CADRAN INFO est devenu au cours des années UNE référence en matière d'histoire, d'études, de techniques, de méthodes pour certaines totalement inédites. La liste des articles publiés depuis l'origine est à retrouver sur notre site ou fournie sur demande.

CADRAN INFO paraît en mai et en octobre sous forme numérique avec en annexes de nombreux compléments (logiciels, photos, textes, ...).

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.

Pour se procurer *Cadran Info* en cours et ceux des 5 dernières années :

boutique.saf-astronomie.fr → rubrique « Cadran Info »

ou

secrétariat de la SAF : 01.42.24.13.74, secretariat@saf-astronomie.fr.

Les numéros **antérieurs à 5 ans sont disponibles gratuitement** sur notre site Internet.

CADRAN INFO c'est également des « guides », véritables « boîtes à outils » des gnomonistes/cadraniers, à télécharger gratuitement sur notre site Internet.

– 5 guides de la commission :



Découverte et
chasse aux cadrans
solaires



Astronomie et
cadrans solaires
pour débutants



Ensoleillement
d'un cadran
solaire



Orientation d'un
cadran et déclinaison
gnomonique



Outils numériques
du gnomoniste-
cadranier

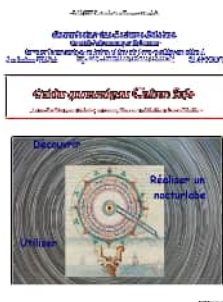
– 4 guides de membres de la commission :



Réaliser et utiliser
un astrolabe
Brigitte Alix



Construire un
cadran de A à Z
Serge Malassinét



Réaliser et utiliser
un nocturlabe
Bernard Baudoux



Tracer des cadrans solaires
par la géométrie descriptive
Jean-Claude Reita

Site de la CCS

Commission des Cadrans Solaires — Site officiel de la CCS (saf-astronomie.fr) :

Liste des articles parus dans la revue *Cadran Info* — 4000 ouvrages anciens ou récents — Logiciels et/ou méthodes pour réaliser votre cadran solaire — Vidéos — Éphémérides — Info-mails gnomoniques (de 2022 à 2026) — Statistiques des inventaires depuis 1984 — CR réunions ...

Comment soumettre un article pour publication dans Cadran Info ?

- ☐ Les articles sont à envoyer à D. Collin ou à Ph. Sauvageot par mël ou sur clef USB (sous format : .doc, .docx, .odt, Excel *ET* obligatoirement une version en PDF).
- ☐ Les auteurs qui souhaiteraient que leurs articles soient réservés exclusivement à la revue *L'Astronomie* devront le préciser dans leur envoi.
- ☐ 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 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.
- ☐ Toute photographie (même des extraits ou des captures d'écran) doivent porter la mention de l'origine ou de son auteur et obtenir son accord écrit.
- ☐ Les articles, documents, photos... ne sont pas retournés après publication.
- ☐ **Police** : « **Times New Roman** », taille : 12 pt, 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. Il est recommandé d'utiliser les symboles normalisés utilisés en gnomonique comme par exemple dans l'ouvrage « *La gnomonique* », éd. Les Belles Lettres, Paris, 2007, de Denis Savoie.

- **Les figures** : la position dans le texte doit être indiquée.
Les images doivent être envoyées séparément (un fichier par image), en haute résolution.
Le format de l'image : jpg ou png ou eps ou pdf.
Le nom du fichier image : exemple "fig_1.png" pour la figure n°1 si elle est en png ; et ainsi de suite pour les autres fichiers.
- **Un résumé** doit être fourni ainsi que des **mots clefs** significatifs. Ceux-ci seront placés dans le chapeau de l'article.
- Une *épreuve* de l'article est systématiquement envoyé à l'auteur pour relecture et correctifs éventuels.

La revue fait l'objet d'un enregistrement à la BNF (numéro ISSN).



CRÉDITS ICONOGRAPHIQUES

Le quadrant de Gunter

David Alberto

Figure 1 (page 19) — Extraits du *Description and Use of the Sector ...* de Gunter. *Crédit photographique* : <http://www.archive.org/>.

Figure 2a (page 20) — Figure du tracé du quadrant pour la latitude de Londres, extrait de l'ouvrage de Gunter : *Description and Use of the Sector ...* de 1623. *Crédit photographique* : <http://www.archive.org/>.

Figure 2b (page 20) — Quadrant de Gunter de 1682 pour la latitude $52^{\circ} 40'$. *Crédit photographique* : Royal Museums Greenwich.

Figure 3 (page 20) — Éléments du tracé du quadrant de Gunter, dans une version moderne pour une latitude de $49^{\circ} 30'$. *Illustration* : David Alberto.

Figure 4 (page 23) — Exemple de lecture du lieu et de l'ascension droite du Soleil pour le 10 mai. *Illustration* : David Alberto.

Figure 4 (page 23) — Exemple de lecture de l'heure sur le quadrant de Gunter. *Illustration* : David Alberto.

Figure 6 (page 27) — Ambivalence des hauteurs entre le jour et la nuit, et entre l'été et l'hiver. *Graphique* : David Alberto.

Figure 7 (page 28) — Graduations de l'horizon reliant l'amplitude à la différence ascensionnelle u , pour une déclinaison allant de 0 à $23^{\circ} 26'$. *Graphique* : David Alberto.

Figure 8 (page 29) — Différence ascensionnelle d'un astre. *Graphique* : David Alberto.

Figure 9 (page 32) — Principe de la conversion de l'heure à l'aide du nocturlabe de Gunter. *Illustration* : David Alberto.

Figure 10a (page 33) — Figure de quadrant à double limbe extrait de l'ouvrage de Johannes Stöffler (1513). *Crédit photographique* : Bayerische Staatsbibliothek.

Figure 10b (page 33) — Figure de quadrant à double limbe extrait de l'ouvrage de Oronce Fine (1532). *Crédit photographique* : <http://www.e-rara.ch/>.

L'Astronomical Time keeper de James Ferguson

David Alberto

Figure 1 (page 36) — Exemplaire de l'*Astronomical Time keeper* issu du catalogue de D. Crouch. *Crédit photographique* : crouchrarebooks.com.

Figure 2 (page 37) — Détail de la roue des heures, graduée tous les quarts d'heure, et son échelle diagonale de l'*Astronomical Time keeper*. *Crédit photographique* : crouchrarebooks.com; *Manipulation sur l'image* : David Alberto.

Figures 3a – 3c (3 figures, pages 37 – 37) — Détail de quelques constellations sur l'*Astronomical Time keeper*. *Crédit photographique* : crouchrarebooks.com; *Manipulation sur l'image* : David Alberto.

Figure 4 (page 38) — Visualisation du calendrier en spirale sur l'*Astronomical Time keeper*. *Illustrations* : David Alberto.

Figure 3 (page 37) — Erreur de lecture due à l'excentricité de l'étoile Polaire. *Illustrations* : David Alberto.

Figure 6 (page 40) — Abaques reliant l'azimut des étoiles visées à l'erreur de lecture, pour trois latitudes et différentes déclinaisons pour l'étoile repère. *Graphiques* : David Alberto.

Figure 7 (page 42) — Reconstitution du tracé de l'*Astronomical Time keeper*. *Illustration* : David Alberto.

Figure 8 (page 42) — Détails de la reconstitution de l'*Astronomical Time keeper*. *Illustrations* : David Alberto.

Un « palimpseste » gnomonique

D. Bénéult & A. Borchert

Figure 1 (page 45) — Fragment de bas-relief, avers. *Crédit photographique* : Andreas F. Borchert (licence CC BY-SA 4.0; fichier téléversé le 07/10/2025).

Figure 2 (page 45) — Fragment de bas-relief, revers portant le cadran solaire. *Crédit photographique* : Andreas F. Borchert (licence CC BY-SA 4.0; fichier téléversé le 13/10/2025).

Figure 3 (page 45) — Le cadran au démontage en 1970. *Crédit photographique* : La Presse de la Manche (8/1970), Archives Départementales de la Manche.

Figure 4 (page 46) — Mur pignon du chœur, nef à gauche, chœur et portail du chœur à droite. *Crédit photographique* : Dominique Bénéult.

Figure 5 (page 46) — Mur pignon du chœur entaillé entre chaperon et sablière. *Crédit photographique* : Dominique Bénéult.

Réflexions sur une particularité de l'équation du temps

Guy Grasca

Figure 1 (page 47) — Courbe de l'équation du temps en fonction de l'excentricité de l'orbite. *Graphique* Guy Grasca.

Figure 2 (page 48) — Courbe de l'équation du temps pour une excentricité de 0,045. *Graphique* Guy Grasca.

Figure 3 (page 48) — Palier de l'équation du temps pour une excentricité de 0,045. *Illustration* Guy Grasca.

Figure 4 (page 48) — Écart entre la durée du jour vrai et la durée du jour moyen. Excentricité de l'orbite terrestre = 0,045. *Graphique* : Guy Grasca.

Figure 5 (page 49) — Forme de la courbe en huit en fonction de l'excentricité. *Illustration* Guy Grasca.

Figure 6 (page 49) — Forme de la courbe en huit pour une excentricité de 0.045. *Graphique* : Guy Grasca.

Figure 7 (page 50) — Courbe de l'équation du temps en fonction de l'instant du périhélie. *Illustration* Guy Grasca.

Figure 8 (page 50) — Écart entre les durées du jour vrai et du jour moyen en fonction de l'instant du périhélie. *Illustration* Guy Grasca.

Figure 9 (page 51) — Courbe du temps moyen décrite par le soleil en fonction de l'instant du périhélie. *Illustration* Guy Grasca.

Figure 10 (page 51) — Méridienne du temps moyen, tracée sur un cadran solaire méridional de latitude 49° N, en fonction de l'instant du périhélie. *Graphique* : Guy Grasca.

Figure 11 (page 51) — Courbe de l'équation du temps présentant un palier en fonction de l'instant du périhélie. *Graphique* Guy Grasca.

Figure 12 (page 51) — Courbes de l'équation du temps en fonction du périhélie. *Graphique* : Guy Grasca.

Figure 13 (page 52) — Courbes de la variation du jour vrai en fonction de l'instant du périhélie. *Graphique* Guy Grasca.

Figure 14 (page 52) — Courbes du temps moyen décrites par le soleil en fonction de l'instant du périhélie. *Graphique* Guy Grasca.

Figure 15 (page 52) — Courbes de temps moyen, tracées sur un cadran solaire méridional de latitude 49° N, en fonction de l'instant du périhélie. *Graphique* Guy Grasca.

Le Papophoplon

Christophe Marion

Figure 1 (page 64) — Décalage horaire en France en minutes par rapport à Paris. *Illustration* : Christophe Marion.

Figure 2 (page 64) — Équation du temps pour 2026. *Dessin* de l'auteur.

Figures 3a – 3b (2 figures, pages 65 – 65) — Simulation sur Shadows pro pour un cadran vertical déclinant. *Illustrations* : opéré par l'auteur sur le logiciel Shadows Pro de François Blateyron.

Figures 4a – 4c (3 figures, pages 66 – 66) — Le cadran du Baromètre à La Ciotat avec ajustement de l'heure légale (inv. SAF :13028001-03 et inv. SAF : 13028001-04). *Crédits photographiques* : Christophe Marion.

Figures 5a – 5b (2 figures, pages 67 – 67) — Vue d'ensemble du Papophoplon. *Crédits photographiques* : Christophe Marion.

Figures 6a – 6b (2 figures, pages 68 – 68) — Présentation détaillée du Papophoplon. *Illustrations* : Christophe Marion.

Figure 7 (page 70) — Jours où l'équation du temps s'annule sur le Papophoplon. *Illustration* : Christophe Marion.

Figures 8 – 11 (4 figures, pages 71 – 72) — Exemples d'utilisation du Papophoplon. *Illustrations* : Christophe Marion.

La place d'Abū-Bakr (début du XIII^e siècle) dans l'histoire des astrolabes planisphériques maghrébo-andalous

Éric Mercier

Figure 1 (page 79) — Travail de l’auteur sur des figures originales de Lane-Poole (1880) et Sarrus (1852).

Figure 2 (page 80) — Différentes représentations possibles des courbes de prières sur un tympan. *Illustration* : travail de l’auteur.

Figure 3 (page 82) — Travail de l’auteur sur des figures originales de Sarrus (1852) et D’Hollander (1999, p. 105).

L’astrolabe du « barbier de Bagdad » dans les contes des « Mille et une nuits »

Éric Mercier

Figure 1 (page 86) — Illustration extraite de la traduction de Lane qui date de 1840.

Figure 2 (page 86) — Un exemple d’horoscope médiéval, ou carré astrologique, arabo-musulman. *Crédit photographique* : d’après Kennedy et Pingree, 1971, figure p. 13.

Figure 3 (page 92) — Utilisation de la position de Mars, de Mercure et du Soleil sur une sphère armillaire du CLEA. *Illustration* : Éric Mercier.

La seconde loi de Kepler et la méridienne de San Petronio

Denis Savoie & Jean-François Consigli

Figure 1 (page 97) — La seconde loi de Kepler. *Source* : Denis Savoie, *Cosmographie, comprendre les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes*, H & O Sciences, 2023, page 111, chap. 5, fig. 2. *Illustration* : Thomas Haessig.

Figure 2 (page 97) — Schéma pour montrer la variation du diamètre du Soleil entre l’apogée et le périhélie. *Schéma* : Denis Savoie.

Figure 3 (page 98) — Schéma décrivant le modèle excentrique pour expliquer le mouvement annuel du Soleil. *Schéma* : Denis Savoie.

Figure 4 (page 98) — Schéma décrivant le modèle à équant pour expliquer le mouvement annuel du Soleil. *Schéma* : Denis Savoie.

Figure 5 (page 99) — Schéma décrivant le modèle képlérien. *Schéma* : Denis Savoie.

Figure 6 (page 100) — Loi des aires suivant les 3 modèles. *Graphique* : Denis Savoie.

Figure 7 (page 101) — Figure donnée par Kepler de son instrument parallaxique pour mesurer le diamètre solaire. *Source* : Joannis Kepleri, *Opera Omnia*, éd. Ch. Frisch, vol. II, Francfort, 1859, Chap. XI, problème I, p. 341, fig. 106. [<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k94955j/f351.item>].

Figure 8 (page 103) — Variation du diamètre du Soleil selon les 3 modèles. *Graphique* : Denis Savoie.

Figure 9 (page 104) — Gravure extraite de l’ouvrage *La meridiana del tempio di San Petronio rinnovata l’anno 1776*, (Bologne, 1779). *Source* : library.si.edu/image-gallery/100242.

Figure 10 (page 106) — Ligne méridienne de la Basilique San Petronio de Bologne. *Crédits Photographiques* : CEphoto, Uwe Aranas, sous licence CC BY-SA 3.0 & Rosapicci, sous licence CC BY-SA 4.0.

Figure 11 (page 107) — Principe de détermination du diamètre solaire avec l’image projetée au sol. *Schéma* : Denis Savoie.

Figure 12 (page 117) — Dans le cas d’un modèle à équant et képlérien, l’égalité $r_1 d\lambda_1 = r_2 d\lambda_2$ n’est plus vraie (...). *Schéma* : Denis Savoie.

D’une courbe diurne au tracé du cadran

Gilbert Vincent

Figures 1a – 1c (6 figures, pages 121 – 122) — Résumé des principales notations et définitions des grandeurs utilisées. *Schémas* : G. Vincent.

Figure 2 (page 124) — Table d’enregistrement d’une courbe diurne en situation sur l’Église de Biviers, Isère. *Crédit photographique* : D. Cottier, septembre 2020.

Figure 3 (page 126) — Exemple d’emploi de la table d’enregistrement de la figure 2 page 124. *Crédit photographique* : L. Vincent, janvier 2026.

Figure 4 (page 127) — Simulation pour la procédure de détermination de la direction D . *Graphique* : G. Vincent.

Figure 5 (page 128) — Simulation utilisée pour déterminer la direction D (exemple). *Graphique* : G. Vincent.

Figure 6 (page 128) — Dépouillement de l’enregistrement de la figure 2 page 124. *Illustration* : G. Vincent, septembre 2020.

Figure 7 (page 129) — Simulation suivant des écarts aléatoires $x_{mes} - x_{cal}$ en fonction de l’heure de relevé. *Graphique* : G. Vincent.

Figures 8a – 8b (2 figures, pages 129 – 129) — Simulations des effets de la longueur du style. *Graphiques* : G. Vincent.

Figure 10 (page 131) — Simulation de l’effet de la rotation des axes de mesure. *Graphique* : G. Vincent.

Figures 10a – 10b (2 figures, pages 131 – 131) — Fixation du style polaire (site la Jarjatte, Drôme). *Crédit photographique* : C. et A. Chantre, mai 2023.

Figure 11 (page 133) — Repérage de la position en X de la projection orthogonale de l'œilleton à l'aide d'un laser. *Crédit photographique* : G. Vincent, 2020.

Figure 12 (page 133) — Contribution du soleil au repérage de la projection orthogonale de l'œilleton et aussi du centre. *Graphique* : G. Vincent.

Figures 13a – 13b (2 figures, pages 134 – 134) — Longueur effective du style. *Graphiques* : G. Vincent.

Figure 14 (page 135) — Tracé de l'équinoxiale à partir de l'enregistrement d'une courbe diurne. *Graphique* : G. Vincent.

Figure 15 (page 136) — Distance entre les intersections de la ligne de midi et d'une ligne horaire avec l'équinoxiale. *Graphique* : G. Vincent.

Figures 16a – 16b (2 figures, pages 137 – 137) — Détermination du vrai centre du cadran. *Graphiques* : G. Vincent.

Figure 17 (page 138) — Cadran classique désorienté incliné, avec lignes horaires, hyperboles du zodiaque et équation du temps. *Graphique* : G. Vincent.

Figure 18 (page 140) — Droites d'azimut pour un cadran désorienté incliné. *Graphique* : G. Vincent.

Informations Diverses

CCS

Figures 1 – 1 (3 figures, pages 143 – 143) — Nouveau cadran solaire à Rorschwihr (68 590). *Crédit photographique* : Joseph Zagni.

Figures 2 – 2 (2 figures, pages 144 – 144) — Ancien cadran solaire à Rorschwihr (68 590). *Crédit photographique* : Joseph Zagni.

Figure 3 (page 144) — Nouveau cadran solaire installé dans le Var. *Photo-montage* : Christophe Marion.

Figure 4 (page 145) — Photo de groupe des élèves du Collège des "Cuatros Caños" à Almeria en Andalousie. *Crédit photographique* : Pierre Carrillo.

Figures 5 – 6 (2 figures, pages 145 – 145) — Diverses photographies prises lors de la réalisation du cadran analemmatique par les élèves du Collège des "Cuatros Caños" à Almeria en Andalousie. *Crédits photographiques* : Pierre Carrillo.

Figures 7 – 8 (3 figures, pages 146 – 146) — Méridienne "Cin'Hoche" à Bagnolet (93 170) et discours inaugural. *Crédits photographiques* : Roland Querry.

Figures 10 – 11 (3 figures, pages 147 – 147) — Méridienne "Cin'Hoche" à Bagnolet (93 170) et plaque explicative. *Crédits photographiques* : Roland Querry.

Figure 12 (page 147) — Extrémité supérieure du tube de visée sortant de la butte du Monument (Canon de lumière, Toulouse). *Crédit photographique* : Denis Schneider.

Figure 13 (page 148) — Plaque du 19 août 1944 au sol et extrémité inférieure du tube de visée au plafond de la crypte des torturés. *Crédit photographique* : Denis Schneider.

Figure 14 (page 148) — Plan montrant l'orientation du tube de visée ($-49^{\circ} 10'$). Musée départemental de la Résistance et de la Déportation/ fonds MGR. *Crédit photographique* : Denis Schneider.

Figure 15 (page 149) — Vue aérienne du canon de lumière. *Source photographique* : Denis Schneider.

Figure 16 (page 149) — Stèle gnomonique à l'« Espace muséographique Georges Baccrabère ». *Source photographique* : Denis Schneider.

Figure 17 (page 150) — . *Crédit photographique* : Denis Schneider.

Figure 18 (page 150) — . *Crédit photographique* : Denis Schneider.

Figures 19a – 19d (4 figures, pages 151 – 151) — Cadran n°C131 : Boules de Noël. *Crédit photographique* : Claude Gahon.

Figure 1 (page 151) — Fiche technique du cadran n°C131 : Or Oc. *Crédit photographique* : Claude Gahon.

Figures 21d – 21a (4 figures, pages 152 – 152) — Cadran n°C132 : Boîte. *Crédit photographique* : Claude Gahon.

Figure 22 (page 152) — Fiche technique du cadran n°C132 : Boîte. *Crédit photographique* : Claude Gahon.

Figures 23a – 23d (4 figures, pages 153 – 153) — Cadran n°C133 : Color Box. *Crédit photographique* : Claude Gahon.

Figure 24 (page 154) — Fiche technique du cadran n°C133 : Color Box. *Crédit photographique* : Claude Gahon.

Figure 25 (page 155) — Extrait du rapport de fouille de la Clinique Sainte-Marthe à Dijon, dirigée par Stéphane Alix (INRAP) et transmis par Gaëlle Pertuisot (INRAP). *Crédit photographique* : Équipe de fouille, INRAP.

Figure 26 (page 155) — Essais de reconstitution plausible du cadran en terre cuite. *Illustration — Montage* : Jean Scordia.

Figure 27 (page 156) — Photo du cadran, issue du dépliant des "Journées européennes du patrimoine 19 et 20 septembre 2015, Avignon".

Figure 28 (page 157) — Re-aménagement du jardin des Doms en Avignon (monument historique depuis janvier 2024). *Crédit photographique* : Michel Lambalieu.

- Figure 29** (page 160) — Œilleton aménagé dans le vitrail de l'église. *Crédit photographique* : André Goffin.
- Figure 30** (page 160) — Prototype d'un mètre à l'échelle réelle et incorporant les matériaux définitifs dont la pierre calcaire de Montagnac pour border la ligne méridienne. *Crédit photographique* : André Goffin.
- Figure 31** (page 160) — Photographies issues du site web :
https://www.plakasauctions.com/auction-lot/a-brass-qibla-indicator-and-sundial-inscribed-she_BED4F2E9E7.
- Figure 32** (page 161) — Travail de l'auteur sur la photographie issue du site web :
https://www.plakasauctions.com/auction-lot/a-brass-qibla-indicator-and-sundial-inscribed-she_BED4F2E9E7.
- Figure 33** (page 163) — Modèle lunaire d'Ibn al-Shatir (XIV^e siècle). Fichier image : Ibn-al-shatir2.gif. *Crédit photographique* : http://www.ccvalg.pt/astrohistoria/historia/idade_media.htm, Domaine public.
- Figure 34** (page 164) — Représentation « d'un autre instrument permettant de trouver la qibla au Soleil », dessin issu du livre *De L'Analemme aux cadrans de hauteur* page 63. *Crédit photographique* : Yvon Massé.
- Figure 35** (page 164) — Globe terrestre : expérience des jeux d'ombre. *Crédit photographique* : Jean-Claude Reita.
- Figure 36** (page 165) — Ensemble pédagogique de cadrans déclinants. *Crédit photographique* : Jean-Claude Reita.
- Figure 37** (page 165) — Cadran déclinant pour démonstration. *Crédit photographique* : Jean-Claude Reita.
- Figure 38** (page 166) — Page de garde du nouveau guide CCS : « Les cadrans solaires par la géométrie descriptive ». *Crédit photographique* : Jean-Claude Reita.
- Figure 39** (page 167) — Face antérieure du cadran solaire universel. Toutes les illustrations sont gracieusement offertes par le propriétaire
- Figure 40** (page 167) — Un portrait du Sultan Mehmet II par l'école italienne de Gentile Bellini (1429-1507). *Crédit photographique* : The Yorck Project (2002) 10.000 Meisterwerke der Malerei (DVD-ROM), distributed by DIRECTMEDIA Publishing GmbH. (le portrait est situé au National Gallery, Londres [NG3099]).
- Figure 41** (page 168) — Pierre à trous. *Crédit photographique* : musée archéologique de Cabra (Cordoue, Espagne).
- Figure 42** (page 169) — Cliché d'un Papyrus (présenté tel que sur le site du Musée de Turin. *Crédit photographique* : papiri-museo-egipzio-di-torino.
- Figure 43** (page 169) — Le jeu du chien et chacal (Musée du Louvre). *Crédit photographique* : bing.com/images.
- Figure 44** (page 169) — Lambeau de papyrus (Musée de Turin (Italie), inventaire 1775). *Illustration* : Jean Scordia.
- Figure 45** (page 170) — Méridienne de Saint-Sulpice au 20 mars 2026 — position de la tache à 12 h 58 min 05 s *Crédit photographique* : Gilles Montambaux.
- Figures 46 – 49** (5 figures, pages 171 – 171) — Trois cadrans solaires de M. Guyot. Tache de lumière saisie le vendredi 20 mars 2026. *Crédits photographiques* : Yves Guyot.
- Figures 50 – 54** (5 figures, pages 172 – 173) — Différents aspects de la courbe en huit selon la valeur de l'excentricité. *Graphiques* : Guy Grasic.



- ~ A ~
 Abaque
 d'azimut, 40
 d'erreur, 40
 Abū-Bakr (début du XIII^e siècle), 75, 78, 79, 81, 82
 Ahmad b. Husayn b. Bāso, 79
 Ahmad ibn al-Saffar (?–1035), 76
 Aiton, E. J., 96
 al-Andalus, 76, 77, 82
 al-Bīrūnī (c. 973–1048), 77
 al-Khwārizmī (780–850), 76
 al-Sabbān, (1081–82), 78
 al-Saffar, 81
 Alberto, David, 19, 35
 Alder Planetarium, 81
 Almageste, 76, 80
 Almucantarāt, 81
 Alphonse X de Castille (1221–1284), 109
 Amplitude, 25, 28, 29, 34
 Analemme, 163
 Andreasi Bassi, Giulia, 106
 Angle horaire, 25, 26, 29–32, 39, 40
 Année
 1655, 95, 102, 104, 106
 1656, 109, 115, 119
 1695, 105, 112
 1736, 106
 1776, 105, 106
 bissextille, 37
 commune, 37
 Anomalie
 moyenne, 98, 117
 vraie, 99, 117
 Antiquité, 96
 Aparicio, A. J. P., 106
 Aphélie, 96, 99, 117
 Apogée, 97, 99, 101, 102, 111, 116
 Araignée (*rete*), 81
 Aristote (384–322 av. J.-C.), 80, 108
 Ascension droite, 23, 25, 26, 28–32, 34, 37, 41, 50, 52
 Asr, 80, 81
 Asr2, 80, 81
 Astrolabe, 19, 21, 24, 34, 75–82
 andalou, 76, 79
 arabo-musulman, 76, 82
 de Toulouse, 81
 latin, 77
 maghrébo-andalou, 75, 77–82
 marocain, 79
 planisphérique, 21, 75–77, 79
 universel, 79, 82
 Astronome
 Bianchini, Francesco, 106
 Bouigue, Roger, 148
 Cassini, G.D., 95
 Copernic, Nicolas, 96
 Danjon, André, 99
 Delambre, J.-B., 96
 Fine, Oronce, 33
 Flamsteed, John, 102
 Grimaldi, F.M., 101
 Guglielmini, Domenico, 105
 Halley, Edmund, 119
 Heilbron, John L., 96
 Kepler, Johannes, 96
 Lalande, Jérôme de, 119
 Longomontanus, Christian, 109
 Manfredi, Eustachio, 106
 Maraldi, G.F., 106
 Newton, Isaac, 96
 Picard, Jean, 111
 Ptolémée, 96
 Riccioli, Giovanni Battista, 102
 Richer, Jean, 111
 Stöffler, Johannes, 33
 Tycho Brahe, 96
 Wilson, Curtis, 96
 Zanotti, Eustachio, 105
 Astronomical Rotula, 35
 Astronomical Times keeper, 38
 Astronomie de Ptolémée, 80
 Azimut, 19, 21, 24, 25, 28, 30, 39, 40
 ~ B ~
 Bagdad, 76
 Baillet, Gérard (1941–2026), 174
 Basilique
 San Petronio (Bologne), 95, 102, 104, 106
 Bénéult, Dominique, 44
 Benoit, Didier, 157
 Bernardi, Gabriella, 95
 Bianchini, Francesco (1662–1729), 106
 Bibliothèque
 National Library of Scotland, 36
 Bion, Nicolas (1652–1733), 19
 Bologne, 95, 103
 Bònoli, Fabrizio, 95
 Borchert, Andreas, 44
 Borrelli, A., 76
 Bouigue, Roger (1920–2015), 148
 Boulliau, (1605–1694), 109
 Boursier, Charles, 60
 Braccesi, Alessandro, 95
 Bracco, C., 102
 Brahe, Tycho (1546–1601), 96
 Bretagnon, Pierre (1942–2002), 100
 Brioux, A., 77
 Brucato, Andrea, 106
 Byzantin, 76
 ~ C ~
 Cadran solaire, 77
 analemmatique, 145
 analemmatique à Bagnolet (93 170), 146
 cadran en terre cuite (Clinique Sainte Marthe, Dijon, (INRAP)), 155
 Collège des Cuatros Caños (Almería, Espagne), 145
 de Cl. Gahon :
 Boules de Noël, 151
 Boîte, 152
 Color Box, 153
 de hauteur, 19, 21
 du baromètre (La Ciotat), 66
 église Saint-Brice de Beuzeville au Plain (50 523), 44–46
 équatorial, 152, 153
 le Papophoplon, 63–74
 polaire, 151
 projet de méridienne à Bosset (Berges-rac, 24000), 159
 à Rorschwih (68 590), 143
 Calendrier, 22, 38, 41
 civil, 37, 78
 concentrique, 78–80
 double, 76–80, 82
 en spirale, 38

excentrique, 78–80
 julien, 76–79
 zodiacal, 76–79
 Carrasco, V. M. S., 106
 Carrillo, Pierre, 145
 Carte céleste, 37
 Cassini, Giovanni Domenico (1625-1712), 95
 Catalogue Hipparcos, 41
 Causeret, Pierre, 155
 Cercle polaire arctique, 37
 Chapront, J., 100
 Chapront-Touzé, M., 100
 Cheikh, Mila, 149
 Chicago, 81
 Châtelet, Émilie du (1706-1749), 119
 Clément XI (1649-1721), 106
 Collection Mensing, 81
 Collin, Dominique, 167, 185
 Consigli, Jean-François, 95
 Constellation, 37
 Aigle, 31
 Bouvier, 25, 31
 Bélier, 22
 Grande Ourse, 37
 Gémeaux, 22
 Lion, 30, 31
 Orion, 37
 Pégase, 31, 37
 Taureau, 22, 23, 31
 Controverse
 bissection de l'excentricité, 96, 100, 108–110, 113, 118
 Coordonnée
 écliptique, 28, 76, 77
 équatoriale, 25, 28, 30, 41
 Copernic, Nicolas (1473-1543), 96
 Cordoue, 76
 Courbe
 d'azimut, 21, 24, 30, 33, 34, 77
 de midi, 21
 de prières, 80, 81
 de temps moyen, 47–53
 des crépuscules, 81
 en huit, 47–53, 172, 181
 horaire, 21, 22, 24, 25, 27, 30, 33, 34
 Crépuscule, 27, 33
 Cura, Bernard, 158
 Cysat, Jean-Baptiste (1585-1657), 101

D

D'Hollander, Raymond (1938-2020), 34, 43, 75, 76, 78
 Danjon, André (1890-1967), 99
 Danti, Ignazio (1537-1586), 103
 Dār al-Athār, 76
 de Clercq, P., 81
 De Donà, G., 105
 Débat
 copernicien vs anti-copernicien, 113
 Déclinaison, 37, 39
 de l'étoile, 25, 31
 du Soleil, 21, 22, 25, 27–30, 34, 81, 107, 115
 Dekker, E., 77
 Delambre, Jean-Baptiste (1749-1822), 96, 101
 Demi-grand axe, 98, 99

Détails de la reconstitution, 42
 Détermination de l'heure, 38
 Diagramme des heures inégales, 76
 Diamètre solaire
 apparent, 99, 101, 111, 115
 variation, 102
 Diffraction, 101, 102
 Différence ascensionnelle, 28, 29
 Digression, 40
 maximale, 39
 Disque
 céleste, 38
 solaire, 101, 113
 Distance zénithale, 21, 24, 105, 107
 Dominicain
 Danti, Ignazio, 103

E

Échelle
 de déclinaison, 21, 22, 30, 33, 81
 diagonale, 37
 Écliptique, 21, 22, 24, 28, 31, 37, 78
 Église
 Santa Maria Degli Angeli, 106
 Empire ottoman, 77
 Équateur, 21, 22, 24, 25, 28–31, 33
 céleste, 37
 Équation
 du centre, 48, 49, 172
 du temps, 47–53, 70
 Équinoxe, 21, 22, 24, 29, 33, 49–51, 106, 108, 115, 117
 de printemps, 38, 78, 79
 Erreur de mesure, 38
 Étoile, 20, 24–26, 30–32, 34, 37, 38, 41
 Aldebaran, 26, 31
 Algenib, 31
 Alpheratz, 31
 Altaïr, 31
 Arcturus, 25, 26, 31
 circumpolaire, 39
 Polaire, 38–41
 Regulus, 30–32
 Etzlaub, Erhard, 174
 Euclide (c.325-c.265 av. J.-C.), 103
 Evans, James, 96
 Excentricité, 47–53, 80, 82, 172
 bissection, 96, 98–102, 108–111, 113, 118
 orbitale, 97, 99

F

Fajr, 80, 82
 Ferguson, James (1710-1776), 35
 Fès, 78
 Fil à plomb, 41
 Fine, Oronce (1494-1555), 33
 Flamsteed, John (1646-1719), 102, 182
 Fontenelle, Bernard de (1657-1757), 109
 Forbes, Eric G., 102
 Fornasini, Domenico, 105
 Francou, G., 100
 Fruit, 126

G

Gahon, Claude, 151–153

Gallejo, M. C., 106
 Gènes, 103
 Géocentrisme, 80
 Géométrie descriptive, 166
 Giorgis, Sébastien, 156
 Gnomonique, 19, 38, 80, 81
 Goffin, André, 159, 174
 Gothique, 81
 Grandjean de Fouchy, Jean-Paul (1707-1788), 182
 Grasca, Guy, 47, 172
 Grebe-Ellis, J., 102
 Greenwich, 68
 Grégoire XIII (1502-1585), 104
 Grienberger, Christopher (1561-1636), 101
 Grimaldi, Francesco Maria (1618-1663), 101
 Guglielmini, Domenico (1655-1710), 105
 Gunella, Alessandro, 105, 106
 Gunter, Edmund (1581-1626), 19, 20, 30–32, 34
 Guyot, Yves, 170

H

Halley, Edmund (1656-1742), 119
 Hanafite, 77
 Hauteur, 21, 22, 24–26, 30, 33, 34
 méridienne, 21, 22, 29
 Heilbron, John L. (1934-2023), 96
 Hellénistique, 76
 Hernandez-Perez, A., 77, 78
 Heure
 babylonique, 135, 137
 d'ensoleillement, 124
 d'hiver, 66
 d'été, 66
 de coucher, 24
 de lever, 24
 de prière, 76–78, 81, 82
 des étoiles, 31
 du campanile, 105
 du crépuscule, 27, 33, 34
 égale, 21, 34
 inégales, 76
 italique, 105, 135, 137
 légale, 65, 67, 69
 sidérale, 135, 137
 solaire, 22, 25, 26, 31, 32, 38, 66, 69, 123–125, 127, 132, 134–136, 138, 141
 stellaire, 32
 temporaire, 135, 137
 Hipparque (II^e siècle av. J.-C.), 100
 Hon, G., 101
 Horizon, 21, 24, 26–29, 33, 81
 horloger
 Fornasini, Domenico, 105
 Hory, Gérard, 154
 Hosotte-Reynaud, M., 78
 Hromek, Michael, 158

I

ibn al-Mu'ad (XI^e siècle), 76
 ibn al-Samḥ, (979–1035), 76, 78, 81
 Ibn al-Shātir (1304-1375), 163
 Ibn Bāso (?–1316), 79, 80, 82
 Ibrāhīm b. Sa'id as-Sahli al-Asturlābī (XIII^e siècle), 79

Instrument

astronomique, 36
chambre noire, 101, 102
gnomon, 113
héliomètre, 108
le Papophoplon, 63–74
ligne méridienne, 96, 102, 103
micromètre, 102, 111
méridienne, 104, 105, 113, 119
parallactique, 101
œilleton, 102, 103, 105, 120, 121, 124, 125, 129, 130, 132

Irak, 76

Ishā', 80, 82

Islam, 77, 81

J

Jamet, Jules, 146

Jardine, B., 81

Jarray, Fathi, 77

Jésuite, 101

Cysat, Jean-Baptiste, 101

Grienberger, Christopher, 101

Grimaldi, F.M., 101

Riccioli, G.B., 102

Scheiner, Christoph, 101

K

Kennedy, E.S., 76

Kepler, Johannes (1571-1630), 96

King, D.A., 76, 81

Kunitzsch, P., 76, 77

L

La Mecque, 161, 164

Labat-Ségalen, Pierre, 54

Lalande, Jérôme de (1732-1807), 119

Lalos, Michel (1945-2023), 66

Lambalieu, Michel, 156

Lane-Poole, S., 79

Lansberge, Philippe van (1561-1632), 109

Laskar, J., 100

LaTeX, 41

Latitude, 21, 26, 28, 29, 39

Leroy, Elerika, 148

Lesage, Alain, 174

Ligne

Clémentine, 106

d'azimut, 76, 81

de midi, 22

des prières, 76, 77, 80, 82

des apsides, 78

Limbe, 21–30

Linnhoff, Jean, 144

Logiciel

Carte du Ciel (LTE), 162

Excel, 125

POV-Ray, 174, 175

Shadows Pro, 65, 144

Stellarium, 31, 39, 40

eCdT (LTE), 162

tableur AstroGno, 162

Loi

Kepler

loi des aires, 97, 119

seconde loi, 97, 119

Longitude

du lieu, 67

écliptique, 22, 28, 76–79, 99, 107, 115

Longomontanus, Christian (1562-1647), 109

Lose, Maciej, 174

Louis XVI (1754–1793), 78

M

Maddison, F., 77

Maghreb, 76, 77, 82

Maghrib, 80

Magnitude, 37, 41

apparente, 41

Malvasia, Cornelio (1603-1664), 102, 103

Malékite, 77

Manfredi, Eustachio (1674-1739), 106

Manuscrits

BnF Paris arabe 4821, 76

BnF Paris arabe 7412, 78

BnF Paris latin 7412, 76

Maraldi, Giacomo Filippo (1665-1729), 106

Marcacci, Flavia, 113

Marion, Christophe, 63, 144

Marrakech, 75, 78, 79

Maslama al-Majritī (950–1007), 76–78

Massé, Yvon, 165

Mathématicien

Aiton, E.J., 96

Bretagnon, Pierre, 100

Euclide, 103

Fine, Oronce, 33

Hipparque, 100

Napier, John, 33

Sarrus, P.-F., 79

Mathématique

calcul différentiel, 119

constante des aires, 99

équation du centre, 100, 103

Médiation scientifique, 69

Mercier, Éric, 34, 75, 77–79, 81, 82, 85, 160

Mère (astrolabe), 77

Méridien, 21, 25–27, 31, 38

de Greenwich, 63–74

local, 41

Méridienne

Clémentine, 106

San Petronio, 106

à chambre obscure, 102

Mesure

diamètre apparent, 107

distance Terre-Soleil, 99

Millburn, John, 36

Modèle, 41

elliptique, 96, 98, 99, 102, 117, 119

excentrique, 96, 98, 100, 102, 108, 116,

117

ptolémaïque, 118

à équant, 96, 98, 101, 102, 109, 117, 119

Modène, 102, 103

Montambaux, Gilles, 170

Moreno, A., 168

Morrison, James E., 29, 34

Mosquée

de Grenade, 79

des Andalous, 78, 83

Mouvement

apparent, 104, 108, 117

inégal, 110

réel, 109, 117

uniforme, 98, 100, 103

Moyen-Orient, 76, 77

Muhammad b. Fattuh al-Khamā'irī (XIII^e siècle), 79, 81, 82

Muhammad b. Yūsuf b. Hātim (XIII^e siècle), 81

Muhammad ibn al-Saffar (XI^e siècle), 76, 78

Musée

archéologique de Bagdad, 76

Archéologique de Cabra (Cordoue, Espagne), 168

archéologique de Madrid, 79

d'Histoire des Sciences d'Oxford, 91
de la Résistance et de la Déportation (Toulouse), 148

Histoire des Sciences de Mascate (Oman), 175

Royal Museums Greenwich, 20, 36

égyptologique de Turin (Italie), 169

Muwaqqit, 79

N

Napier, John (1550-1617), 33

Nastulus, 76

Newton, Isaac (1643-1727), 96

Nicelli, Alberto, 105

Nocturlabe, 19, 31, 32, 34, 38

O

Obliquité de l'écliptique, 28, 47, 48, 108, 174

Observation

diamètre solaire, 102

méridienne, 107, 108

passage au méridien, 106, 107, 118

Observatoire

de Panzano, 103

de Paris, 106, 111

de Strasbourg, 79

de Toulouse, 148

Occident musulman, 76, 77, 80

Orbite

circulaire, 100, 172

terrestre, 98

Ostenseur, 67, 68

Ottomans, 77

Oughtred, William (1574-1660), 182

Ouvrage

Almagestum novum, 113

Astronomia nova, 96, 101

Astronomia Reformata, 102, 112, 113

Astronomical Rotula (1739, Ferguson), 35

Astronomical Times keeper (Ferguson), 36

Construction and Principal Uses of Mathematical Instruments (1723, Bion), 19

De Gnomone Meridiano Bononiensi (Manfredi), 113

De Gnomone Meridiano Bononiensi Ad Divi Petronii (Manfredi), 106

De Sectore et Radio (Description and Use of the Sector, the Crosse-staffe and other Instruments) (1623, Gunter), 19

- Elucidatio fabrica ususque astrolabii (1513, Stöffler), 33
- La Meridiana del Tempio di S. Petronio, 112
- Les Éléments de l'astronomie vérifiés, 111
- Paralipomènes à Vitellion, 101
- Principia (Newton), 119
- Protomathesis (1532, Oronce), 33
- Specimen Observationum Bononiensium, 108, 109, 111, 115, 117
- Tables Rudolphines, 96, 103
- Wheelwright of the Heavens (Millburn), 36
- Éléments (Euclide), 103
- Ouzbékistan, 77
- Oxford, 78
- ~ P ~
- Palimpseste, 44–46
- Paltrinieri, Giovanni, 104
- Pape
- Clément XI, 106
- Grégoire XIII, 104
- Papophoplon, 144
- Parallaxe, 107
- Passage au méridien, 38
- Pénombre, 102, 114
- Périgée, 97, 99, 101, 102, 111
- Périhélie, 49–53, 96, 99, 173, 188
- Pertuisot, Gaëlle (INRAP), 156
- Philopon, Jean (c. 490–c. 570), 76
- Physique
- phénomène de diffraction, 101
- Physique d'Aristote, 80
- Picard, Jean (1620–1682), 111
- Pinnule, 20, 22, 25
- Planisphaerium, 76
- Point
- vernal, 22, 25, 30, 31
- équinoxial, 98
- Pôle céleste, 21, 38
- Pouille, Emmanuel (1928–2011), 77, 84
- Précession, 31
- des équinoxes, 76, 77, 173
- Projection
- stéréographique, 21, 28, 30, 34
- équatoriale, 37
- Provost, J.-P., 102
- Ptolémée, Claude (c. 100–c. 170), 76, 80, 96, 100, 182
- ~ Q ~
- Qibla, 161, 165
- Quadrant, 19
- astrolabique, 77
- de Gunter, 19–34
- horaire, 34
- à double limbe, 33, 34
- Querry, Roland, 146
- Quick, T., 102
- ~ R ~
- Radau, Rodolphe (1835–1911), 107
- Rayon vecteur, 96, 99
- Reconstitution, 41
- Réduction à l'équateur, 48, 172
- Réfraction atmosphérique, 107
- Règle
- de Gunter, 19
- Reita, Jean-Claude, 165, 166
- Répertoire des facteurs d'astrolabes, 77
- Révolte andalouse, 80
- Revue
- Annals of Science, XLIX, 1992, 84
- BBS, vol. 33, N°iii, 161
- BBS, vol. 37 : n°iv, 177
- BBS, vol. 38 : n°i, 178
- Cadran Info, n°09 (mai 2004), 139
- Cadran Info, n°19 (mai 2009), 161
- Cadran Info, n°29 (mai 2014), 84
- Cadran Info, n°30 (octobre 2014), 161
- Cadran Info, n°32 (octobre 2015), 84
- Cadran Info, n°33 (mai 2016), 84, 161
- Cadran Info, n°37 (mai 2018), 84
- Cadran Info, n°39 (mai 2019), 139, 174
- Cadran Info, n°40 (octobre 2019), 161
- Cadran Info, n°41 (mai 2020), 34
- Cadran Info, n°44 (octobre 2021), 160
- Cadran Info, n°45 (mai 2022), 139
- Cadran Info, n°49 (mai 2024), 168
- Cadran Info, n°50 (octobre 2024), 145, 169
- Cadran Info, n°51 (mai 2025), 65, 160
- Cadran Info, n°52 (octobre 2025), 84, 139, 154, 158, 167
- Interdisciplinary science reviews, n°17 (1992), 94
- Journal for the History of Astronomy, 11, 1980, 84
- L'Astronomie, vol. 78 (1964), 69
- Le Gnomoniste, Vol. XV, n°3 (sept. 2018), 163
- Orologi Solari, n°38, 179
- Sonne Zeit, 2025, n°70, 179
- Studia Islamica, n°76 (1992), 94
- The Compendium, vol. 32 : n°4, 178
- The Compendium, vol. 33 : n°1, 178
- Zon & Tijd, 2025.4 : n°155, 180
- d'Histoire des sciences et de leurs applications, t. 9, n°4, 1956, 84
- d'Histoire des sciences, 30–4, 1977, 84
- Riccioli, Giovanni Battista (1598–1671), 102
- Richer, Jean (1630–1696), 111
- Rome, 106
- Roue
- céleste, 37, 41
- des heures, 37
- horaire, 38
- Russell, J. L., 99
- ~ S ~
- Sabra, A.I., 80
- Saison, 98
- Samsó, J., 76, 77, 80
- Sarrus, Pierre-Frédéric (1798–1861), 75, 79
- Sauvageot, Philippe, 185
- Savage-Smith, E., 77
- Savoie, Denis, 34, 43, 95, 156, 166, 172, 174, 185
- Scapel, Nicola, 167
- Scheiner, Christoph (1575–1650), 101
- Schneider, Denis, 147, 149
- Schéma erreur Polaire, 39
- Scordia, Jean, 155, 168
- Sévère Sabokt (c. 575–c. 667), 76
- Séville, 79, 81
- Sidi Mohamed ben Abdallah, 78
- Sigismondi, Constantino, 106
- Simon, J.-L., 100
- Soleil, 37
- Solstice, 21, 22, 24, 33, 50, 51, 105, 108, 115
- Sous-stylaire, 166
- Sphère céleste, 21, 34, 37
- Stautz, B., 76
- Stellarium, 38
- Strasbourg, 75
- Stöffler, Johannes (1452–1531), 33
- ~ T ~
- Tabarroni, Giorgio, 95
- Tableau des erreurs, 39
- Tassera, Roger, 149
- Temps
- moyen, 65
- universel, 162
- Thābit ibn Qurra (826–901), 76
- TikZ, 41
- Toulmonde, Michel, 111
- Toulouse, 75, 81
- Tovar, I., 106
- Transmission des savoirs, 82
- Tropique, 21, 24, 28, 33, 81
- du Cancer, 21, 37
- du Capricorne, 21, 37
- Tympan, 76, 77, 80–82
- ~ U ~
- Unité
- astronomique, 97
- heure française, 105
- jour, 116
- minute d'arc, 103
- Université
- Bologne, 103
- ~ V ~
- Vaquero, J. M., 106
- VI^e siècle, 76
- VII^e siècle, 76
- VIII^e siècle, 76
- Viladrich i Grau, M., 76, 81
- Vincent, Gilbert, 120
- Vitesse angulaire, 99, 118
- Vitruve (c.80–c.15 av. J.-C.), 105
- Volvelle, 67
- ~ W ~
- Ward, Seth (1617–1689), 119
- Wilson, Curtis (1921–2012), 96
- ~ X ~
- X^e siècle, 76
- X^e siècle, 76
- XI^e siècle, 76, 78, 82
- XII^e siècle, 78, 80
- XIII^e siècle, 75, 77–82

XIV^e siècle, [79](#)

XIX^e siècle, [75](#), [78](#), [81](#)

XVI^e siècle, [77](#)

XVII^e siècle, [96](#), [101](#), [102](#), [104](#), [119](#)

XVIII^e siècle, [78](#), [79](#), [105](#), [108](#), [119](#)

XX^e siècle, [77](#)

~ Z ~

Zagni, Joseph, [143](#)

Zanotti, Eustachio (1709-1782), [105](#)

Zénith, [161](#)

Zik, Y., [101](#)

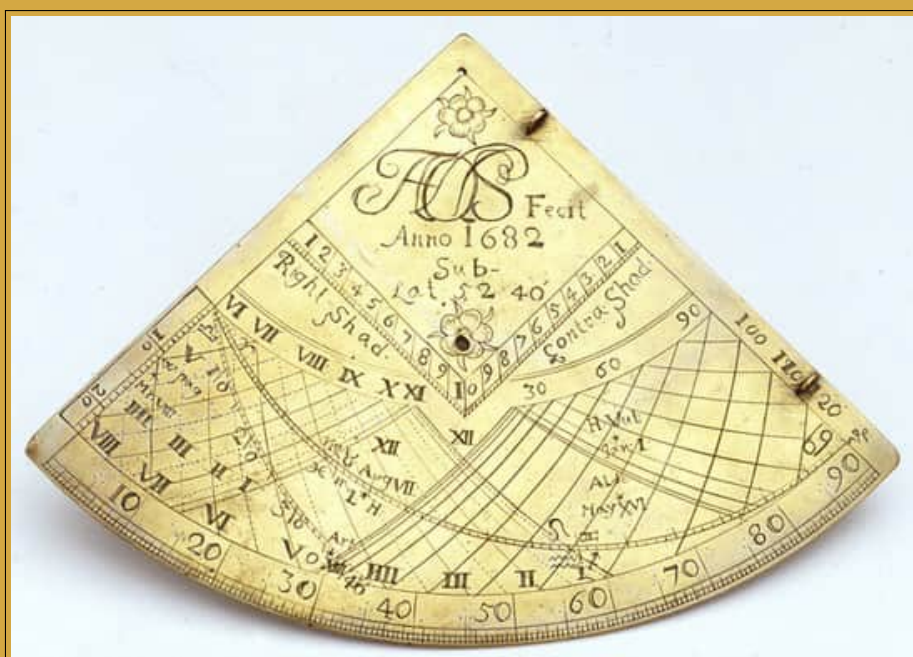
Zodiaque, [22](#), [28](#), [37](#), [77](#)

Zone

intertropicale, [161](#), [164](#)

Zuhr, [80](#)





Cadran de Gunter de 1682 (Royal Museums Greenwich)