

Au Sommaire :

- Analyse gnomonique d'un cadran solaire antique
- L'astrolabe universel de Gemma Frisius

- **Histoire**

La gnomonique d'Oronce Fine
(1494-1555)

- **Réalisations**

Le cadran de l'observatoire de Tauxigny
Streptogramme horophile à quartz
Signaux GPS et Cadrans Solaires

- **Études**

Variation de l'équation du temps
Cadrans de hauteur et heures légales
Cadran solaire portable à double limbe
Le compas solaire viking : un mythe ?

- **Pratique**

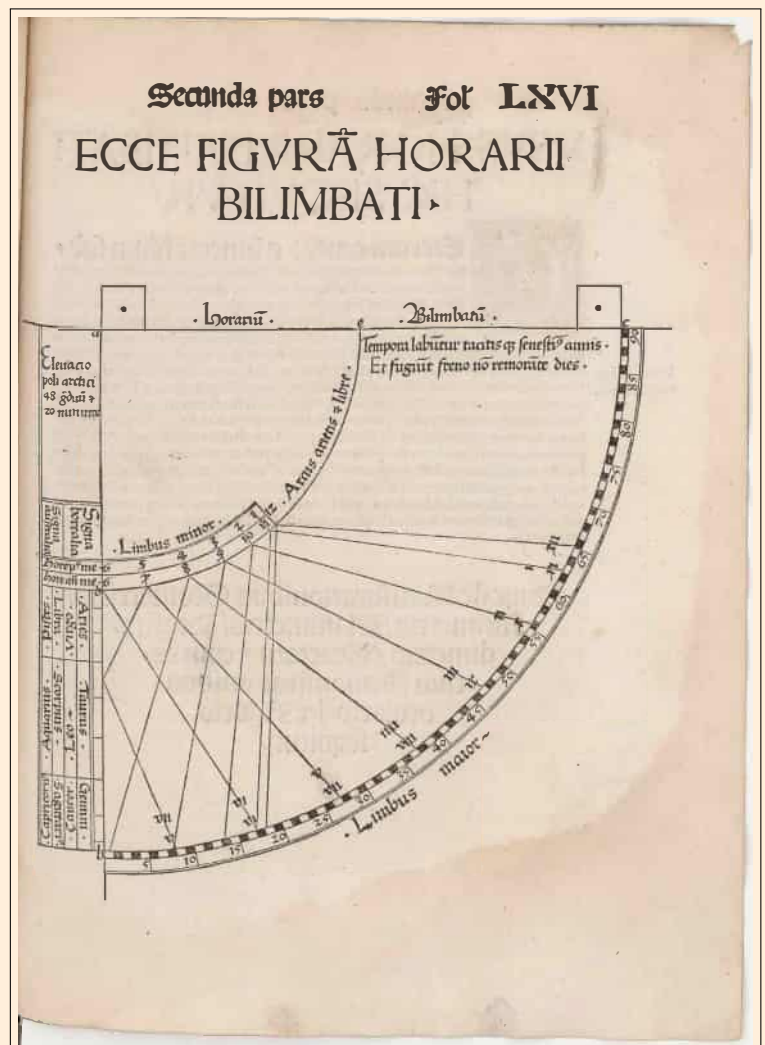
Mesure de la "déclinaison gnomonique"
Variante de la méthode de la "planchette"

- **Espace débutants**

Un cadran solaire sans calcul

- **Informations**

Les 20 ans de Cadran Info
Restauration de cadrans, nouveaux
cadrans et dernières réalisations
Documents et logiciels
Questions/réponses gnomoniques
Sociétés étrangères



Software : typography

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

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

Copyright © 2020 by C.C.S.
(Société Astronomique de France)
Première édition, Mai 2020.

All inquiries should be addressed to :
Philippe SAUVAGEOT
Président de la Commission des Cadrans Solaires.
sauvageotph@wanadoo.fr
&
Dominique COLLIN
dominique.collin007@gmail.com





Commission des Cadres Solaires

www.commission-cadran-solaires.fr/

La **Commission des Cadres Solaires** de la **Société Astronomique de France** effectue des recherches, des travaux théoriques et pratiques concernant les gnomons, 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, leurs devises, leur construction et la littérature qui leur est consacrée. Elle participe à la sauvegarde du patrimoine gnomonique français. Elle comprend environ 300 membres du néophyte à l'expert.

La Commission des Cadres Solaires c'est :

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

Pour nous rejoindre :

- Si vous êtes membre de la Société Astronomique de France, il suffit de demander l'inscription à la Commission des Cadres Solaires.
- Si vous n'êtes pas membre, inscrivez-vous à la SAF : 40€/an pour la province, 52€ pour l'Île de France, 30€ pour l'étranger, junior 15€ (déductible des impôts).

Contact : secretariat@saf-astronomie.fr

En couverture : Page 163 (folio LXVI^v) de l'ouvrage numérisé *Elucidatio fabricae ususque astrolabii a Ioanne Stoflerino Iustingensi viro germano : atque totius spherice doctissimo* [...] de Johannes Stoeffler, 1513. Numérisation par les laboratoires de la BNF.

Lien permanent : gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b531943877/f163.image.v=stoeffler

Couleurs en page de couverture : package xcolor (option x11names) LightGoldenrod3 (code RVB {205,190,112}) et AntiqueWhite1 (code RVB {255,239,219}), puis AntiqueWhite1 pour le dos de couverture.

Summaries in French, English, German, Spanish, Italian

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

Sommaire de Cadran Info n° 41

Les 20 ans de Cadran Info : évolution et perspectives de la revue.		Sauvageot Philippe	17
La construction et l'utilisation de l'astrolabe universel de Gemma Frisius : dans cet article on s'intéresse à la construction et à l'utilisation de l'astrolabe de Gemma Frisius d'après une étude de Nicolas Bion.	▷	Sébastien Berriot	20
Le cadran abandonné de l'observatoire de Tauxigny : description, vérification et recherche historique d'un vestige de cadran abandonné à l'observatoire de Tauxigny (Touraine).		Derouet & Doucet	39
Streptogramme horophile à quartz ou les heures hybrides : histoire de la réalisation d'un cadran solaire de temps moyen.		Derouet & Doucet	50
Affichage numérique de l'information horaire à partir des signaux GPS : réalisation d'un dispositif électronique permettant l'affichage de l'heure solaire vraie locale en utilisant un module GPS. Application et comparaison avec un cadran solaire.	▷	Christian Druon	54
Cadran de hauteur et heure légale : cet article concerne deux cadrans de hauteur pour lesquels sont tracés des abaques afin qu'ils indiquent l'heure Temps Universel. Le premier est le cadran de Jamnitzer déjà présenté dans un article de Cadran Info. Le deuxième est une adaptation du cadran de berger. Deux maquettes de démonstration sont présentées, simples à réaliser à notre époque où l'ordinateur permet aisément de tracer des courbes. L'article est suivi d'annexes explicatives.		Henri Gagnaire & Paul Gagnaire	60
Variation de l'équation du temps : variation de l'équation du temps dans le temps et impact sur la représentation de courbe de la méridienne du temps moyen.		Guy Grasca	72
La gnomonique d'Oronce Fine (1494–1555) : ses contemporains, et les historiens des sciences, ont exprimé des opinions très contrastées sur l'œuvre scientifique de Oronce Fine. Dans le domaine de la gnomonique, la principale attaque est venue d'un contemporain : Pedro Nunes (1502 – 1578), qui est considéré comme l'un des plus grands savants portugais de l'histoire. L'objet de cet article est d'évaluer la qualité scientifique du premier livre de la partie gnomonique du Protomathesis œuvre majeure de Fine. Il apparaît qu'il s'agit d'une œuvre originale, de bonne tenue scientifique, qui a beaucoup influencé ses successeurs. Les critiques de Nunes sont parfois justifiées, mais plus généralement sa bonne foi peut clairement être mise en doute.		Éric Mercier	81
Orientation — Déclinaison gnomonique : rappel et analyse des différentes méthodes pour mesurer la déclinaison gnomonique complétée par une variante de la méthode de la planchette présentée par Dominique Collin.	▷	Philippe Sauvageot	106

Suite page suivante . . .

... Suite de la page précédente

Sur une variante de la méthode de la planchette : Présentation d'une variante de la méthode dite de la planchette obviant la délicate opération du tracé des ombres tout en augmentant la précision par des relevés plus simple donc pouvant être plus nombreux.

▷ **Dominique Collin** **133**

Espace débutant (3) : "Je construis mon cadran solaire" : l'auteur nous a autorisé à reprendre ses écrits publiés dans "La revue du Palais de la Découverte", au début des années 1970. Il y présente la construction d'un cadran solaire en carton, simplement par des reports de cotes. Quelques notions d'astronomie propres à la compréhension des cadrans solaires et à leur lecture de l'heure complètent le texte.

▷ **Gérard Oudenot** **143**

Cadran solaire portable à double limbe : dans la vaste famille des cadrans solaires portables de hauteur un des plus simples à tracer est celui publié en 1513 par Stöffler où les lignes horaires sont des droites qui joignent deux limbes. Il fonctionne avec un fil et une perle coulissante comme le cadran capucin ; mais son procédé de détermination de l'heure n'est pas tout à fait rigoureux.

Denis Savoie **158**

Analyse gnomonique d'un cadran solaire antique : Cet article est la reproduction, corrigée, du chapitre III.2.1 de l'ouvrage de Jérôme Bonnin, *La mesure du temps dans l'Antiquité*, Les belles lettres, Paris, 2015, où de nombreuses erreurs typographiques ont rendu presque inutilisables certaines formules et exemples.

Denis Savoie **166**

Le compas solaire viking : un mythe ? Dans cet article, Roger torrenti met en doute l'hypothèse, largement admise, que les Vikings autour du Xe siècle auraient utilisé un compas solaire et une "pierre de soleil" comme aide à la navigation pour leurs expéditions vers l'Islande, le Groenland et le continent américain. Il s'appuie sur l'analyse des principales publications scientifiques de ces dernières décennies et invite à les considérer avec rigueur et esprit critique. Sa conclusion est que cette hypothèse relève plus du mythe que de la réalité historique mais reconnaît que le mythe est attractif et peut servir de fil rouge pour des ressources pédagogiques en classe primaire ou au collège. Il propose la structure d'une telle ressource et lance un appel à projets aux professeurs leur proposant l'aide du MOOC cadran solaire pour adapter cette structure à leurs classes.

Roger Torrenti **180**

Informations diverses :

- ♣ Dernières réalisations ou découvertes de cadrans :
 - Cadrans originaux de Claude Gahon : (*Passe Temps, Soleil d'automne, Trépan, Otarie, Envol, Pendule, Antenne*).
 - Restauration de la méridienne de Rouen par Véronique Hauguel.

▷ **Contributeurs :**

**P.-L. Cambefort,
J.-C. Berçu,
J. Fort, C. Gahon,
V. Hauguel,
C. Larcher,
A. Marchal,
Ph. Sauvageot,
R. Torrenti.**

195

Suite page suivante ...

- ♣ Lettres/courriels gnomoniques :
 - Solstice d'été 2004 : Christian Larcher.
 - Que dire de mon cadran ?
 - Retrouver un cadran : Jean-Claude Berçu.
 - Cadran J. Ozanam : André Marchal.
 - Le jour et l'heure par une ombre : Pierre-Louis Cambefort.
- ♣ Les derniers livres :
 - « Les cadrans solaires : histoire, théorie et construction » de Roger Torrenti;
 - « Cadrans solaires sur les chemins du Saint Suaire » de François Bocqueraz;
 - « Le cadran solaire sans calculs » de Michel Steiner.
- ♣ Gnomonique du monde.
 - La *Gnomonicae Societas Austriaca* (GSA) est en deuil.
 - Liste des revues et sommaires.



Contributeurs :
P.-L. Cambefort,
J.-C. Berçu,
J. Fort, C. Gahon,
V. Hauguel,
C. Larcher,
A. Marchal,
Ph. Sauvageot,
R. Torrenti.

195

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° 41



20 years of Cadran Info : evolution and perspectives of the journal.		Sauvageot Philippe	17
Gemmas Frisius's universal astrolabe, construction and use : for this description writing, this article refers to Nicolas Bion's study.	\supseteq	Sébastien Berriot	20
Tauxigny observatory sundial left out : description, control and historical research of a left out sundial at Tauxigny (Touraine).		Derouet & Doucet	39
Streptogram quartz horophor or hybrid hours : history of average time sundial making.		Derouet & Doucet	50
Digital display of hour information obtained from GPS signal : making of an electronic device enabling to display real local solar hour by using GPS signal. Use and comparison with a sundial device.	\supseteq	Christian Druon	54

Continued on next page ...

... Continued from previous page

Height sundial and legal hour : two height sundials with drawn abacus allowing Universal Time display. The first one is Jamnitzer's sundial, previously already described in <i>Cadran Info</i> . The second one is a shepherd's sundial adaptation. Two mockups are presented which are easily made in our time thanks to use of computer drawing curve easily. Explaining additional annexes follow.		Henri Gagnaire & Paul Gagnaire	60
Time equation variation : time equation variation during elapsed time years and repercussion on meridian mean time display.		Guy Grasic	72
Oronce Fine's gnomonic (1494–1555) : contemporaries and science historians showed contrasted opinions about Oronce Fine's scientific work. In gnomonic domain the main attack was given by a contemporary scientist Pedro Nunes (1502–1578) who is regarded as one of the most great Portuguese scientists of history. This article aims to evaluate the scientific value of Protomathesis gnomonic part first book which is Fine's greater work. It appears that we are facing an original work, with a good scientific behavior, which has been of great influence for the followers. Nune's critical remarks are sometimes justified but his good faith can be generally disputed.		Éric Mercier	81
Bearing – gnomonic declination : recall an analysis of miscellaneous methods for measuring gnomonic declination with a Dominique Collin's variant of the "small board" method.	▷	Philippe Sauvageot	106
About a variant of the so called "small board" method : presentation of a variant of the so-called planchette method, which obviates the delicate operation of drawing shadows while increasing the precision by simpler and therefore more numerous readings.	▷	Dominique Collin	133
Beginner's space (3). "I build my sundial" : authorized copy of published writings in "La revue du Palais de la Découverte" in early 1970. A cardboard sundial making is presented simply using reported measures. Some necessary astronomical notions to understand sundials and how to read time on them are added.	▷	Gérard Oudenot	143
Portable sundial with double rims : in the vast family of height portable sundials, one of the most simple to design is Stöffler's one, published in 1513 where hours lines are straight lines joining two rims. It operates with a thread and a sliding pearl as for the capuchin sundial ; but its process for hour determination is not entirely rigorous.		Denis Savoie	158
Gnomonic analysis of an antique sundial : this article reproduces Jérôme Bonnin's "La mesure du temps dans l'Antiquité" corrected chapter III.2.1., Les belles lettre , Paris, 2015, where numerous typographical errors appear making some formulae and examples almost unusable.		Denis Savoie	166
Is Viking's solar compass a legend ? In this article, Roger Torrenti doubts of the widely admitted hypothesis that around Xth century Vikings used solar compass and "sun stone" as navigation help for their navigation towards Iceland, Greenland and American continent. He refers to the last ten years recent scientific publications analyses and call for critical spirit consideration. He recognizes that this attractive myth can be used as a leading thread for primary school teachers. He calls for projects and offers MOOC help sundial for this.		Roger Torrenti	180

Continued on next page ...

Miscellaneous information :

- ♣ Latest works or discoveries :
 - Claude Gahon's sundials : *Passe temps; Soleil d'automne, Trépan, Otarie, Envol, Pendule, Antenne.*
 - Rouen meridian sundial restoration by Véronique Hauguel.
- ♣ Letters : gnomonic mails
 - 2004 Summer solstice : Christian Larcher.
 - What to say about my sundial?
 - Sundial find again : Jean-Claude Berçu.
 - J. Ozannam sundial : André marchal.
 - Day and Hour using shadow : Pierre-Louis Cambefort.
- ♣ Latest books :
 - "Les cadrans solaires : histoire, théorie et construction" Roger Torrenti;
 - "Cadrans solaires sur les chemins du Saint Suaire" François Bocqueraz;
 - "Le cadran solaire sans calculs" Michel Steiner.
- ♣ World gnomonic.
 - Gnomonicae Societas Austriaca(GSA) is in mourning.
 - Magazines list and summaries.

Contributors :
P.-L. Cambefort,
J.-C. Berçu,
J. Fort, C. Gahon,
V. Hauguel, **195**
C. Larcher,
A. Marchal,
Ph. Sauvageot,
R. Torrenti.



In digital version :

- 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° 41



20 Jahre Cadran Info : Entwicklung und Perspektiven der Zeitschrift.		Sauvageot Philippe	17
Der Bau und die Verwendung des universellen Astrolabiums von Gemma Frisius : dieser Artikel befasst sich mit dem Bau und der Verwendung von Gemma Frisius' Astrolabium, basierend auf einer Studie von Nicolas bion.	\supseteq	Sébastien Berriot	20
Das verlassene Zifferblatt des Observatoriums von Tauxigny : beschreibung, Überprüfung und historische Suche nach einem Überbleibsel eines verlassenen Zifferblatts an der Sternwarte von Rateigny (Touraine).		Derouet & Doucet	39
Horophorquarz Streptogramm oder Hybridstunden : Geschichte der Realisierung einer Mittleren Zeit Sonnenuhr.		Derouet & Doucet	50

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Digitale Anzeige von Stundinformationen ab GPS-Signalen : Herstellung eines elektronischen Geräts, das die Anzeige der Wahre OrtsZeit mit einem GPS-Modul ermöglicht. Anwendung und Vergleich mit einer Sonnenuhr.	⊇	Christian Druon	54
Höhe Sonnenuhr und legale Zeit : Dieser Artikel behandelt zwei Höhenzifferblätter, für die Hilfslinien zurückverfolgt werden, um die Zeit der Weltzeit anzuzeigen. Das erste ist das Jamnitzer Zifferblatt, das bereits in einem Artikel von Cadran Info vorgestellt wurde. Das zweite ist eine Anpassung des Schäferzifferblatts. Zwei Demonstrationsmodelle werden vorgestellt, einfach in unserer Zeit zu machen, da der Computer es einfach macht, Kurven zu zeichnen. Auf den Artikel folgen erläuternde Zeitpläne		Henri Gagnaire & Paul Gagnaire	60
Variationen der Zeitgleichung : Variation der Zeitgleichung im Zeitverlauf und Auswirkungen auf die Kurvendarstellung der Meridiane der mittleren Zeit.		Guy Grasic	72
Die Gnomonik von Oronce Fine (1494–1555) : Seine Zeitgenossen und Wissenschaftshistoriker haben sehr gegensätzliche Ansichten über die wissenschaftliche Arbeit von Oronce Fine geäußert. Auf dem Gebiet der Gnomonik kam der Hauptangriff von einem Zeitgenossen : Pedro Nunes (1502 - 1578), der als einer der größten portugiesischen Gelehrten der Geschichte gilt. Der Zweck dieses Artikels ist es, die wissenschaftliche Qualität des ersten Buches des Gnomonik Teils der Größten Arbeit von Fine Protomathesis zu bewerten. Es scheint, dass es ein originelles Werk ist, von guter wissenschaftlicher Qualität, die seine Nachfolger stark beeinflusst hat. Nunes' Kritik ist manchmal berechtigt, aber ganz allgemein kann seine Ehrlichkeit eindeutig in Frage gestellt werden.		Éric Mercier	81
Orientierung — Gnomische Abweichung : Erinnerung und Analyse der verschiedenen Methoden zur Messung der gnomonischen Abweichung, ergänzt durch eine Variante der Brettmethode, die von Dominique Collin vorgestellt wurde..	⊇	Philippe Sauvageot	106
Auf einer Variante der Brettmethode : Vorstellung einer Variante der sogenannten Planchette-Methode, die das heikle Zeichnen von Schatten überflüssig macht und gleichzeitig die Präzision durch einfachere und damit zahlreichere Ablesungen erhöht.	⊇	Dominique Collin	133
Anfängerraum (3) : "Ich baue meine Sonnenuhr" : Der Autor erlaubte uns, seine Schriften, die in "La revue du Palais de la Découverte" in den frühen 1970er Jahren veröffentlicht wurden, wieder aufzunehmen. Er präsentiert die Konstruktion einer Pappsonnenuhr, einfach durch das Tragen von Messungen. Einige Begriffe von Astronomie spezifisch für das Verständnis der Sonnenuhr und das Ablesen der Stunde vervollständigen den Text.	⊇	Gérard Oudenot	143
CTragbare Sonnenuhr mit doppeltem Zifferblatt : In der riesigen Familie der tragbaren Höhen Sonnenuhren ist eine der einfachsten zu zeichnen ist die im Jahr 1513 von Stöffler veröffentlicht, wo die Zeitlinien Geraden sind, die zwei Zifferblättern verbinden. Es funktioniert mit einem Draht und einer gleitenden Perle wie das Kapuzinerzifferblatt ; aber die Zeitbestimmung ist nicht ganz rigoros.		Denis Savoie	158

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Gnomonische Analyse einer alten Sonnenuhr : Dieser Artikel ist eine korrigierte Reproduktion von Kapitel III. 2.1 von Jérôme Bonnins Buch : *La mesure du temps dans l'Antiquité*, Les Belles Lettres, Paris, 2015, wo zahlreiche typografische Fehler einige Formeln und Beispiele fast unbrauchbar gemacht haben..

Denis Savoie 166

Der Wikinger-Solarkompass : Ein Mythos ? In diesem Artikel stellt Roger Torrenti die weithin akzeptierte Hypothese in Frage, dass die Wikinger um das 10. Jahrhundert einen Sonnenkompass und einen "Sonnenstein" als Navigationshilfe für ihre Expeditionen nach Island, Grönland und auf den amerikanischen Kontinent benutzten. Er stützt sich auf die Analyse der wichtigsten wissenschaftlichen Publikationen der letzten Jahrzehnte und lädt uns ein, sie mit Rigor und kritischem Denken zu betrachten. Seine Schlussfolgerung ist, dass diese Hypothese mehr Mythos als historische Realität ist, erkennt aber, dass der Mythos attraktiv ist und als roter Faden für den Unterricht von Ressourcen in der Grund- oder Mittelschule dienen kann. Er schlägt die Struktur einer solchen Ressource vor und schäht den Lehrer vor, ihnen die Hilfe der MOOC-Sonnenuhr anzubieten, um diese Struktur an ihre Klassen anzupassen.

Roger Torrenti 180

Informations diverses :

♣ Neueste Errungenschaften oder Entdeckungen :

- Sonnenuhren von Claude Gahon : "Passe Temps" ; "Soleil d'automne" ; "Trépan" ; "Otarie" ; "Envol" ; "Pendule" ; "Antenne".
- Wiederherstellung des Meridians von Rouen, Véronique Hauguel.

♣ Gnomonische Briefe/Elbriefe :

- Sommersonnenwende 2004 : Christian Larcher.
- Was von meinem Zifferblatt sagen ?
- Eine Sonnenuhr wieder finden : Jean-Claude Berçu.
- Sonnenuhr von J. Ozanam : André Marchal.
- Tag und Zeit ab einem Schatten : Pierre-Louis Cambefort.

♣ Letzte Bücher :

- « Sonnenuhren : Geschichte. Theorie, Konstruktion » von Roger Torrenti ;
- « Sonnenuhren auf dem Weg des Heiligen Tuches » von François Bocqueraz ;
- « Die Sonnenuhr ohne Berechnung » von Michel Steiner.

♣ Welt Gnomonik.

- *Die Gnomonicae Societas Austriaca* (GSA) trauert.
- Liste von Zeitschriften und Inhaltverzeichnisse.

Contributeurs :
P.-L. Cambefort,
J.-C. Berçu,
J. Fort, C. Gahon,
V. Hauguel,
C. Larcher,
A. Marchal,
Ph. Sauvageot,
R. Torrenti.

195

In digitaler Version :

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



Sumario de Cadran Info n° 41



20 años de Cadran Info : evolución y perspectivas de la revista.		Sauvageot Philippe	17
La construcción y uso del astrolabio universal por Gemma Frisius : en este artículo, estamos interesados en la construcción y uso del astrolabio por Gemma Frisius según un estudio de Nicolas Bion.	▷	Sébastien Berriot	20
La esfera abandonada del Observatoire de Tauxigny : descripción, verificación e investigación histórica de un vestigio de un reloj de sol abandonado en el Observatoire de Tauxigny (Touraine).		Derouet & Doucet	39
Estreptograma de cuarzo horofórico u horas híbridas : historia de la realización de un reloj de sol de tiempo medio.		Derouet & Doucet	50
Visualización digital de información de tiempo de señales GPS : creación de un dispositivo electrónico que permite la visualización de la hora solar real local utilizando un módulo GPS. Aplicación y comparación con un reloj de sol.	▷	Christian Druon	54
Dial de altura y hora legal : este artículo se refiere a dos diales de altura para los cuales se dibujan gráficos para que indiquen la hora Hora Universal. El primero es el dial Jamnitzer ya presentado en un artículo de Cadran Info. El segundo es una adaptación de la esfera del pastor. Se presentan dos modelos de demostración, fáciles de hacer en nuestro tiempo cuando la computadora permite dibujar curvas con facilidad. El artículo es seguido por apéndices explicativos.		Henri Gagnaire & Paul Gagnaire	60
Variación en la ecuación del tiempo : Variación de la ecuación del tiempo a lo largo del tiempo e impacto en la representación de la curva del meridiano del tiempo medio.		Guy Grasic	72
Gnomonica de Oronce Fine (1494–1555) : sus contemporáneos e historiadores de la ciencia, expresaron opiniones muy contrastantes sobre el trabajo científico de Oronce Fine. En el campo de la gnomónica, el ataque principal vino de un contemporáneo : Pedro Nunes (1502 - 1578), considerado uno de los más grandes estudiosos portugueses de la historia. El propósito de este artículo es evaluar la calidad científica del primer libro de la parte gnomónica del trabajo principal de Protomathesis de Fine. Parece que este es un trabajo original, de buen desempeño científico, que influyó mucho en sus sucesores. Los críticos de Nunes a veces están justificados, pero en general su buena fe puede cuestionarse claramente.		Éric Mercier	81
Orientación - Declinación gnomónica : recordatorio y análisis de los diferentes métodos para medir la declinación gnomónica complementada por una variante del método planchette presentado por Dominique Collin.	▷	Philippe Sauvageot	106
Sobre una variante del método planchette : presentación de una variante del llamado método de planchette que obvia el delicado funcionamiento de dibujar sombras al tiempo que aumenta la precisión mediante lecturas más simples y, por lo tanto, más numerosas.	▷	Dominique Collin	133

Continúa en la página siguiente . . .

... Continuación de la página anterior

Área de principiante (3) : "Construyo mi reloj de sol" : el autor nos ha autorizado a reanudar sus escritos publicados en "La revista del Palacio de la Découverte", a principios de la década de 1970. Presenta la construcción de un reloj de sol de cartón allí, simplemente por medio de transferencias de costillas. Algunas nociones de astronomía específicas para la comprensión de los relojes de sol y su lectura del tiempo completan el texto.

▷ **Gérard Oudenot** **143**

Reloj de sol portátil con doble hoja : en la vasta familia de relojes de sol portátiles de altura, uno de los más fáciles de rastrear es el publicado en 1513 por Stöffler, donde las líneas horarias son líneas rectas que unen dos limbo. Funciona con un hilo y una perla deslizante como el dial capuchino; pero su método para determinar el tiempo no es del todo riguroso.

Denis Savoie **158**

Análisis gnomónico de un antiguo reloj de sol : este artículo es la reproducción corregida del capítulo III.2.1 del libro de Jérôme Bonni, "La mesure du temps dans l'Antiquité", Les belles lettres, París, 2015, donde muchos errores tipográficos los hicieron casi inutilizables. fórmulas y ejemplos.

Denis Savoie **166**

La brújula solar vikinga : ¿un mito? en este artículo, Roger torrent cuestiona la suposición ampliamente aceptada de que los vikingos alrededor del siglo X usaron una brújula solar y una "piedra solar" como ayuda para la navegación en sus expediciones a Islandia, Groenlandia. y el continente americano. Se basa en el análisis de las principales publicaciones científicas de las últimas décadas y nos invita a considerarlas con rigor y pensamiento crítico. Su conclusión es que esta hipótesis es más un mito que una realidad histórica, pero reconoce que el mito es atractivo y puede servir como un hilo común para los recursos educativos en la clase primaria o en el colegio. Propone la estructura de dicho recurso y lanza una convocatoria de proyectos a los maestros ofreciéndoles la ayuda del reloj de sol textf MOOC para adaptar esta estructura a sus clases.

Roger Torrenti **180**

Información miscelánea :

♣ Últimos logros o descubrimientos :

- Relojes de Claude Gahon : "Passe Temps"; "Sol de otoño"; "Agujero"; "Lobo marino"; "Vuelo"; "Péndulo"; "Antena"..
- Restauración del diván de Rouen por Véronique Hauguel.

♣ Cartas / correos electrónicos gnomónicos :

- Solsticio de verano 2004 : Christian Larcher.
- ¿Qué decir sobre mi dial?
- Encontrar un dial : Jean-Claude Berçu.
- Relojes de J. Ozanam : André Marchal.
- El día y la hora a la sombra : Pierre-Louis Cambefort.

▷ **colaboradores :**
P.-L. Cambefort,
J.-C. Berçu,
J. Fort, C. Gahon,
V. Hauguel,
C. Larcher,
A. Marchal,
Ph. Sauvageot,
R. Torrenti. **195**

Continúa en la página siguiente ...

♣ Los últimos libros :			
• "Relojes de sol : historia, teoría y construcción" : Roger Torrenti;			
• "Relojes de sol en los caminos de la Sábana Santa" : François Bocqueraz;	⊇	colaboradores : P.-L. Cambefort, J.-C. Berçu, J. Fort, C. Gahon, V. Hauguel, C. Larcher, A. Marchal, Ph. Sauvageot, R. Torrenti.	195
• "El reloj de sol sin cálculos" : Michel Steiner.			
♣ Gnomónico del mundo.			
• La <i>Gnomonicae Societas Austriaca</i> (GSA) está de luto.			
• Lista de revistas y resúmenes.			

En versión numérica :

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

 **Sommario di Cadran Info n° 41** 

20 anni di Cadran Info : evoluzione e prospettive della rivista.		Sauvageot Philippe	17
La costruzione e l'uso dell'astrolabio universale di Gemma Frisius : in questo articolo si tratta della costruzione e dell'uso dell'astrolabio di Gemma Frisius secondo uno studio di Nicolas Bion.	⊇	Sébastien Berriot	20
Quadrante abbandonato dell'Osservatorio di Tauxigny : descrizione, verifica e ricerca storica di un vestigia di una meridiana abbandonata all'Osservatorio di Tauxigny (Touraine).		Derouet & Doucet	39
Streptogramma al quarzo oroforico o ore ibride : storia della realizzazione di una meridiana del tempo medio.		Derouet & Doucet	50
Display digitale delle informazioni temporali dai segnali GPS : Creazione di un dispositivo elettronico che consenta di visualizzare l'ora solare vera locale utilizzando un modulo GPS. Applicazione e confronto con una meridiana.	⊇	Christian Druon	54
Quadrante d'altezza e ora legale : questo articolo riguarda due quadranti di altezza per i quali vengono disegnati dei grafici in modo che indichino il tempo universale. Il primo è il quadrante Jamnitzer già presentato in un articolo di Cadran Info. Il secondo è un adattamento del quadrante del pastore. Vengono presentati due modelli dimostrativi, che sono semplici da produrre ai nostri tempi dato che il computer semplifica il disegno delle curve. L'articolo è seguito da appendici esplicative.		Henri Gagnaire & Paul Gagnaire	60

Continua alla pagina successiva ...

... Continua dalla pagina precedente

Variazione nell'equazione del tempo : variazione dell'equazione del tempo nel tempo e impatto sulla rappresentazione della curva del meridiano del tempo medio.		Guy Grasic	72
La Gnomonica di Oronce Fine (1494–1555) : i suoi contemporanei e storici della scienza hanno espresso opinioni contrastanti sul lavoro scientifico di Oronce Fine. Nel campo della gnomonica, l'attacco principale venne da un contemporaneo : Pedro Nunes (1502–1578), che è considerato uno dei più grandi studiosi portoghesi della storia. Lo scopo di questo articolo è di valutare la qualità scientifica del primo libro della parte gnomonica dell'opera principale di Protomathesis di Fine. Sembra che si tratti di un'opera originale, di buone prestazioni scientifiche, che ha influenzato notevolmente i suoi successori. I critici di Nunes sono talvolta giustificati, ma più in generale la sua buona fede può essere chiaramente messa in discussione.		Éric Mercier	81
Orientamento — Declinazione gnomonica : promemoria e analisi dei diversi metodi per misurare la declinazione gnomonica integrata da una variante del metodo planchette presentato da Dominique Collin.	▷	Philippe Sauvageot	106
Su una variante del metodo planchette : presentazione di una variante del cosiddetto metodo della planchette che evita la delicata operazione di disegnare le ombre aumentando la precisione con letture più semplici e quindi più numerose.	▷	Dominique Collin	133
Area per principiante (3) : "Costruisco la mia meridiana" : l'autore ci ha autorizzato a riprendere i suoi scritti pubblicati su "La revue du Palais de la Découverte", all'inizio nei primi 1970. Presenta lì la costruzione di una meridiana di cartone, semplicemente trasportando sopra le costole. Alcune nozioni di astronomia specifiche per la comprensione delle meridiane e della loro lettura del tempo completano il testo.	▷	Gérard Oudenot	143
Meridiana portatile a doppia lembo : nella vasta famiglia di meridiane portatili di altezza una delle più semplici da rintracciare è quella pubblicata nel 1513 da Stöffler, dove le linee delle ore sono linee rette che uniscono due limbi. Funziona con un filo e una perla scorrevole come il quadrante cappuccino ; ma il suo metodo per determinare l'ora non è del tutto rigoroso.		Denis Savoie	158
Analisi gnomonica di un'antica meridiana : questo articolo è la riproduzione corretta del capitolo III.2.1 del libro di Jérôme Bonnin, "La mesure du temps dans l'Antiquité", Les belles lettres, Parigi, 2015, dove molti errori tipografici ne hanno reso inutilizzabili alcune formule ed esempi.		Denis Savoie	166

Continua alla pagina successiva ...

... Continua dalla pagina precedente

La bussola solare vichinga : un mito ? in questo articolo, Roger torrent mette in dubbio l'assunto ampiamente accettato secondo cui i Vichinghi intorno al X secolo usarono una bussola solare e una "pietra del sole" come ausilio per la navigazione per le loro spedizioni in Islanda, Groenlandia e il continente americano. Si basa sull'analisi delle principali pubblicazioni scientifiche degli ultimi decenni e ci invita a considerarle con rigore e pensiero critico. La sua conclusione è che questa ipotesi è più un mito che una realtà storica, ma riconosce che il mito è attraente e può servire come filo conduttore per le risorse educative nella classe primaria o al college. Propone la struttura di tale risorsa e lancia un invito a presentare progetti agli insegnanti offrendo loro l'aiuto della meridiana del MOOC per adattare questa struttura alle loro classi.

Roger Torrenti 180

Informazioni varie :

♣ Ultimi risultati o scoperte :

- quadranti Claude Gahon : "Passe Temps"; "Autumn Sun"; "Bit"; "Sea Lion"; "Wings"; "Pendolo"; "Antenna".
- Restauro della meridiana di Rouen di Véronique Hauguel.

♣ Lettere / e-mail gnomoniche :

- Solstizio d'estate 2004 : Christian Larcher.
- Che dire del mio quadrante ?
- Rirovare un quadrante : Jean-Claude Berçu.
- Quadrante J. Ozanam : André Marchal.
- Il giorno e l'ora per mezzo di un'ombra : Pierre-Louis Cambefort.

♣ Gli ultimi libri :

- "Meridiane : storia, teoria e costruzione" di Roger Torrenti;
- "Meridiane sui sentieri della Sacra Sindone" di François Bocqueraz;
- "La meridiana senza calcoli" di Michel Steiner.

♣ Gnomonico del mondo :

- La Gnomonicae Societas Austriaca (GSA) è in lutto.
- Elenco di riviste e sommari.

Contributeurs :
P.-L. Cambefort,
J.-C. Berçu,
J. Fort, C. Gahon,
V. Hauguel,
C. Larcher,
A. Marchal,
Ph. Sauvageot,
R. Torrenti.

195

**Nella versione digitale :**

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



Les 20 ans de Cadran Info

par Philippe Sauvageot

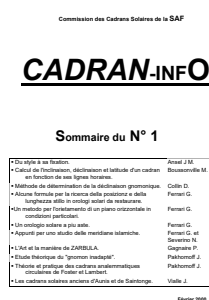
L'année charnière de deux siècles,
l'année où les informaticiens craignaient un bug généralisé,
l'année qui devaient déclencher toutes les catastrophes cosmiques. . .
. . . cette année 2000 voyait naître en février la revue *Cadran Info*.

Joyeux

Nous sommes en 2020,
avec *Cadran Info* n° 41
le bel âge de 20 ans
est atteint.

Anniversaire

En 20 années, on change de « couverture »



Du n° 1 (février 2000) au n° 5 (mai 2002), le sommaire est en couverture. Tout est en Noir & Blanc.



Du n° 6 (octobre 2002) au n° 12 (octobre 2005) la couleur est là.



À partir du n° 13 (mai 2006), suite à un concours interne, est représenté le cadran de l'observatoire de la SAF à Juvissy. La "quatrième de couverture" s'habille d'une photo.



Sur les conseils d'un "designer pro", nouveau changement avec le n° 20 (octobre 2009). À chaque numéro un nouveau thème visuel avec toujours une photo en "quatrième de couverture".

En 20 ans, on change la présentation interne et le contenu

De la simple photocopie d'articles rédigés "à la main" ou "tapés à la machine", *Cadran Info* est maintenant formalisé sous l'environnement \LaTeX .

Outre la gnomonique et les cadrans solaires, les astrolabes et les nocturlabes sont venus élargir le domaine des études.

En version numérique, des annexes complètent les articles par : des photos, des logiciels, d'autres documents...

En 20 ans Cadran Info est devenu une encyclopédie

De très nombreux sujets sont inédits. Il sont traités de manière à ce que chacun en fonction de son niveau puisse appliquer les formules proposées et/ou reproduire les cadrans présentés.

Les articles sont formalisés à fin d'être indépendants les uns des autres. Il est ainsi facile de les regrouper par thème.

Un tableur de type Excel (Open Office) permet de retrouver toutes les informations concernant un sujet donné. Soit comme habituellement par la "fonction recherche" d'un mot soit par tri.

ARTICLES PUBLIES DANS CADRAN INFO du n° 1 (février 2000) au N° 40 (Oct 2019)						
N° CI année	Thème	Type d'information	Auteur	Titre de l'article	Contenu	Nb de pages
1						

Mode d'emploi : Ouvrir « la feuille » portant ce nom en bas à gauche.

- La colonne des « Thèmes »
 - Plus de 90 thèmes de recherche sont proposés :
 - les différents types de cadrans des plus simples aux plus complexes ou originaux,
 - les astrolabes,
 - les nocturlabes,
 - la restauration de cadrans,
 - les outils,
 - les logiciels,
 - l'histoire,
 - des sujets spécifiques concernant : les calculs de position du soleil, le style porte-ombre, les ombres ou le point de lumière projeté par un œilleton, les devises, la description de cadrans historiques. . .
- La colonne « Type d'information »
 - Précise s'il s'agit d'un article avec formules, s'il est pratique, s'il s'agit d'une étude théorique, d'une description. . .
- La colonne « Auteur »
 - Permet de regrouper les écrits d'un même auteur.
- La colonne « Titre de l'article »
 - Reprend celui de la revue.
- La colonne « Contenu »
 - Précise en quelques mots les points principaux du sujet traité.
- La colonne « Nombre de pages »
 - Donne l'importance de l'article.

- Les « annexes »

Permettent de savoir si l'article est complété par d'autres documents (outils, photos, logiciels, articles...)

Près de 800 titres sont proposés.

Et après ?

La SAF met en place un projet de diffusion autour de sa "boutique" en ligne. C'est une opportunité pour la revue Cadran Info de passer, d'une "gestion artisanale" à une "gestion structurée".

Seules les commandes par abonnements ou par bulletins (réservés aux membres de la commission) ainsi que la diffusion (sur CD, par téléchargement, sur papier) seront concernées par ce changement.

Compte tenu que 99% de nos lecteurs ont une adresse mail, l'orientation ira dans le « sens du numérique ».

Par la visibilité qui sera celle de la nouvelle boutique du site de la SAF, nous devrions également élargir notre lectorat tant en interne de la Société que vers l'extérieur.

Indépendamment de ce projet, tout ce qui permettra d'améliorer notre revue sera bien sûr mis en place. N'hésitez pas à nous faire part de vos remarques, critiques, souhaits, propositions... et vos articles. Ils seront toujours les bienvenus.

Remerciements

Si en 20 ans, notre revue a grandi : en épaisseur, en qualité de présentation, en diffusion, c'est grâce à vous tous.

À vous lecteurs de plus en plus nombreux, allant au-delà du cercle de la Commission des Cadran Solaires.

À vous auteurs pour vos articles partageant vos connaissances, votre passion, vos découvertes.

À vous sociétés gnomoniques de par le monde pour la richesse de nos échanges.

À Dominique Collin qui dirige la revue accompagné de Ph. Sauvageot.

Aux spécialistes consultés avant parutions de certains sujets pointus pour relecture.

Bref un grand merci à vous tous.



La construction et l'utilisation de l'astrolabe universel de Gemma Frisius

par Sébastien Berriot

Dans cet article, on s'intéresse à la construction et à l'utilisation de l'astrolabe de Gemma Frisius d'après une étude de Nicolas Bion.

Introduction

Nicolas Bion a publié un traité intitulé « l'usage des astrolabes tant universels que particuliers ».

Dans ce traité il donne des méthodes géométriques permettant de tracer les différents types d'astrolabes connus, c'est-à-dire les astrolabes planisphériques et les astrolabes universels (l'astrolabe de Gemma Frisius, l'astrolabe de Rojas et l'astrolabe de la Hire).

Il traite également de l'utilisation de ces différents astrolabes.

Dans cet article, nous allons nous intéresser à la construction et à l'utilisation de l'astrolabe de Gemma Frisius, selon Nicolas Bion.

1 La préface du livre

On peut décomposer la préface du livre en cinq parties.

1.1 La naissance de l'ouvrage

Au début de la préface, Nicolas Bion précise qu'il publie ce livre deux années après avoir publié un traité sur les usages des globes terrestres et célestes.

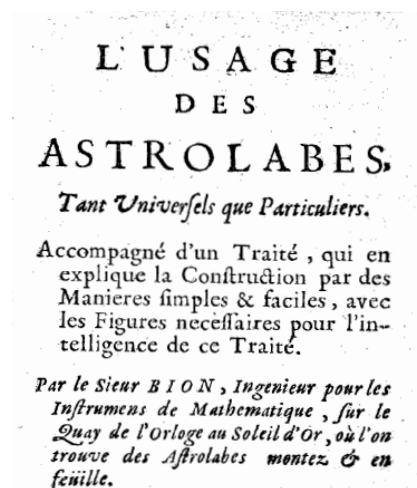


FIGURE 1

1.4 La composition de l'ouvrage

Son traité est décomposé en cinq chapitres et des planches (dessins) à la fin :

- Chapitre I : ce sont les méthodes qui permettent de tracer les plans de quatre sortes d'astrolabe : celui de Gemma Frisius, celui de Rojas, celui de Monsieur de la Hire et celui de Ptolémée.
- Chapitre II : les usages des astrolabes de Gemma Frisius et de Monsieur de la Hire.
- Chapitre III : les usages de l'astrolabe de Rojas.
- Chapitre IV : les usages de l'astrolabe équinoxial de Ptolémée.
- Chapitre V : les usages du « carré treillis géométrique ». Il s'agit du carré des ombres au dos des astrolabes.
- Les planches à la fin du traité.

Pour illustrer la réalisation et l'utilisation des différents astrolabes, il fallait à Monsieur Bion des planches parfaitement bien tracées. L'auteur précise qu'il avait déjà commencé à tracer quelques unes de ces planches mais on lui a donné un certain nombre de planches de dimensions suffisantes pour illustrer cet ouvrage. Il a alors utilisé ces planches en les adaptant à l'époque « actuelle ». En fait il a corrigé la position des étoiles de l'astrolabe planisphérique en utilisant des tables de déclinaisons et d'ascensions droites actualisées et faites par Mr. de la Hire.

Il précise que même si les coordonnées des étoiles dérivent au cours du temps à cause de la précession des équinoxes, on pourra se servir de ces planches suffisamment longtemps et sans erreurs notables.

Il donne également la composition des onze planches présentes dans l'ouvrage. Cependant dans l'ouvrage présent il y a que 9 planches. D'après ce que dit Nicolas Bion, parmi les planches présentes il y en a 5 concernant des tympanes d'astrolabes planisphériques calculés pour les latitudes 42, 45, 51 et 54 degrés et une planche concernant le dos de l'astrolabe. Or ces planches ne sont pas présentes ! Elles ont peut être été arrachées avant le scan de l'ouvrage.

Dans cet article, nous nous intéressons à l'astrolabe de « Gemma Frisius » et par conséquent on présentera uniquement la planche 1 qui sert à la construction de l'instrument (fig. 5).

1.5 Les utilisations de l'astrolabe

Parmi les utilisations de l'astrolabe, l'auteur précise que l'astrolabe universel est utilisé pour résoudre des problèmes d'astronomie, de géographie et de navigation.

2 La construction de l'astrolabe universel

Nous allons nous intéresser aux deux méthodes proposées pour réaliser un astrolabe universel comme celui de Gemma Frisius, et en annexe 1 on trouvera une méthode moderne associée à un programme Excel.

2.1 La description de l'astrolabe

La description de l'astrolabe universel de Gemma Frisius est faite d'après la planche 1 du livre (fig. 6 page 24).

La planche de cet astrolabe représente le méridien et le colure des solstices. Les cercles de la sphère célestes sont représentés ici soit par des cercles, soit par des droites. Les cercles de la sphère qui y sont représentés par des droites sont : l'équateur, l'écliptique, le collure

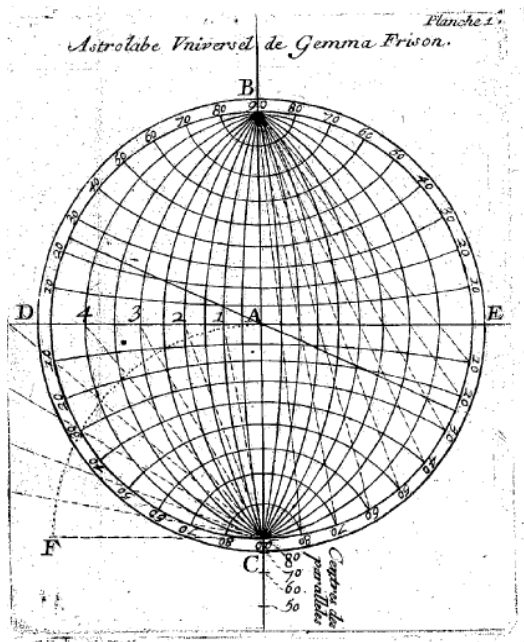


FIGURE 5 – Planche 1 : astrolabe de Gemma Frisius.

des équinoxes et le cercle horaire de 6 h. Ceux parmi les cercles représentés par des cercles, ils y en a qui se coupent aux deux pôles et sont appelés *méridiens* ou *cercles horaire*. Les autres cercles représentés autour des deux pôles sont appelés les *parallèles*. On peut observer également les traits de construction qui ont servi au tracé de méridiens et parallèles. Remarque : on peut remarquer que sur cette planche l'écliptique n'est pas gradué et que les signes du zodiaque n'apparaissent pas. L'auteur ne donne aucun moyen pour graduer cette règle. D'autre part, cet astrolabe doit être muni d'une règle graduée appelée Ostenseur et munie d'un bras articulé appelé *Brachiolus* ou bras articulé. Dans l'ouvrage Nicolas Bion n'en parle pas sauf dans l'utilisation de l'astrolabe. Il ne donne même pas la méthode pour graduer cette règle si importante pour l'utilisation de l'instrument.

2.2 Le rôle des méridiens et des parallèles

- Si les deux pôles sont pris comme étant les pôles du zodiaque, les méridiens deviennent les cercles de longitude écliptique et les parallèles les cercles de latitude écliptique. //
- Si les deux pôles sont pris pour ceux de l'horizon, les méridiens deviennent les cercles d'azimut et les parallèles les almucantarats ou cercle d'égale hauteur. //
- Si les deux pôles sont pris pour ceux de l'équateur, les méridiens deviennent les cercles d'ascension droite ou cercle horaire et les parallèles les cercles de déclinaison.

Ces changements conviennent aussi bien à l'astrolabe de Rojas comme à l'astrolabe de la Hire.

2.3 Méthode géométrique n° 1 pour tracer les parallèles et les méridiens

2.3.1 Le principe

C'est une méthode purement géométrique pour tracer les parallèles et les méridiens. Elle consiste à déterminer géométriquement les centres des méridiens et des parallèles. Puis on trace les arcs de cercle. Pour tracer l'astrolabe il y a nécessité d'utiliser un grand rapporteur et un compas à verge.

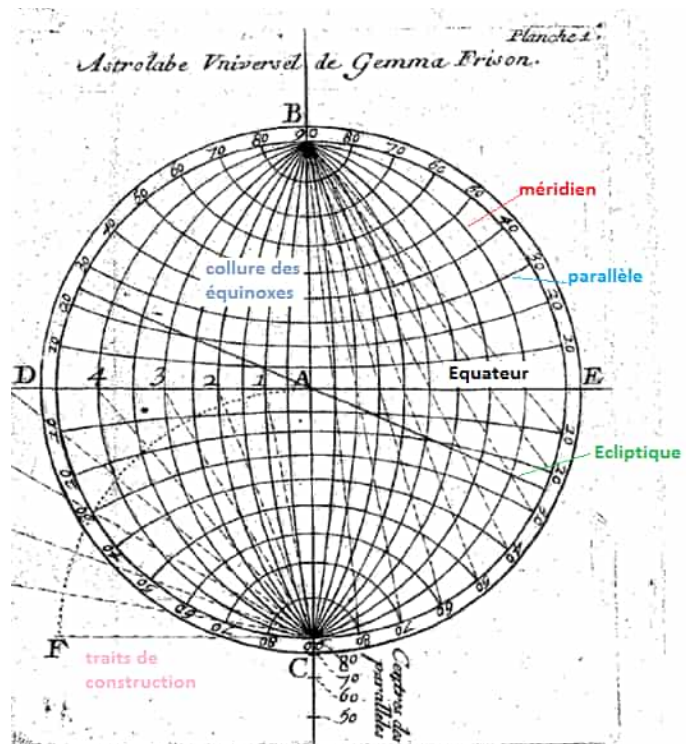


FIGURE 6 – Planche 1 : astrolabe de gemma Frisius.

2.3.2 Le tracé les graduations extérieures

Tracer un cercle de centre A et de rayon R (fig. 7). Ce cercle est le méridien extérieur appelé aussi cercle de 12 h.

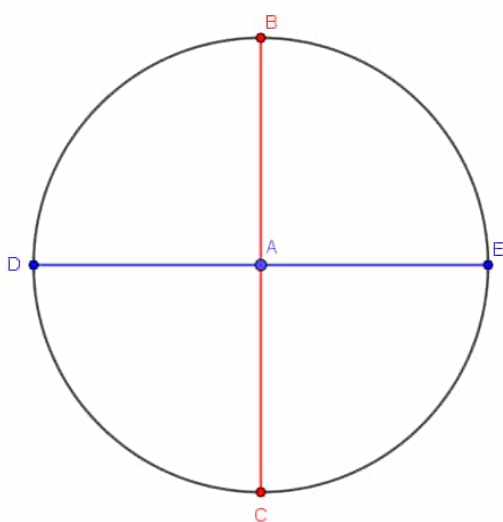


FIGURE 7

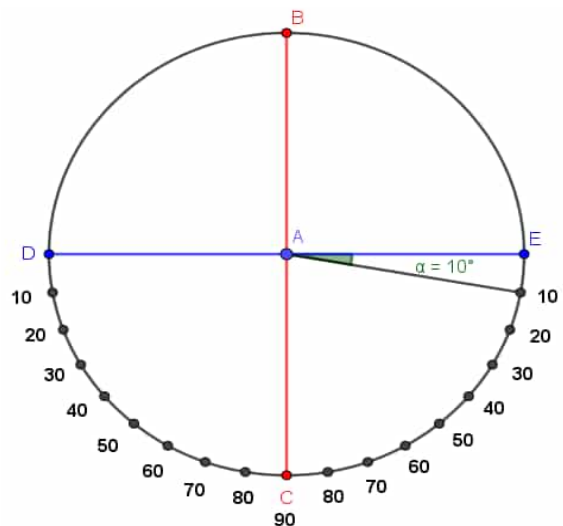


FIGURE 8

Tracer le diamètre BC. Les points B et C représentent les pôles de l’astrolabe et c’est en ces deux points que se coupent tous les méridiens.

Tracer le diamètre ED. Il représente tout simplement l’équateur.

Ces deux diamètres partagent le cercle en quatre parties égales. À l'intérieur de ce cercle, on va y tracer les méridiens et les parallèles de degré en degré, si l'instrument est assez grand, sinon on les trace de deux en deux, de trois en trois, de cinq en cinq, ou au moins de dix degrés en 10 degrés par la méthode suivante.

On part de la demi-circonférence opposée au point B (fig. 8).

On divise cette demi-circonférence de 1° en 1° si on veut tracer un astrolabe assez grand. Pour montrer la méthode, on va diviser cette demi-circonférence de 10° en 10°.

On divise l'arc de cercle CE et ensuite en traçant des droites perpendiculaires à la droite (BC) et passant par les graduations de l'arc CE on peut graduer l'arc DC (fig. 8 et 9).

Enfin, en traçant des droites parallèles à la droite (BC) et passant par les graduations du demi-cercle inférieur DE, on peut graduer le demi-cercle supérieur DE. De cette façon, on gradue l'ensemble de l'astrolabe comme l'indique la figure 10.

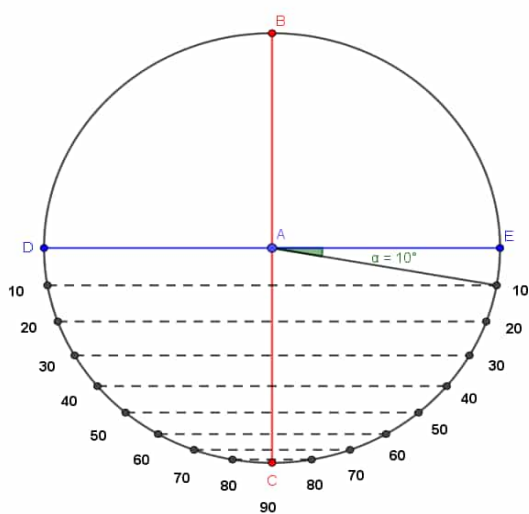


FIGURE 9

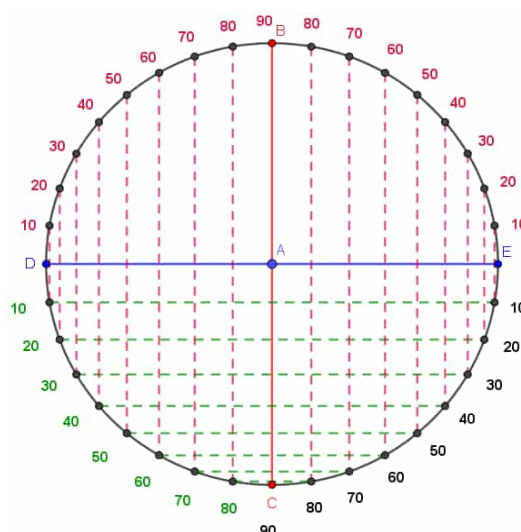


FIGURE 10

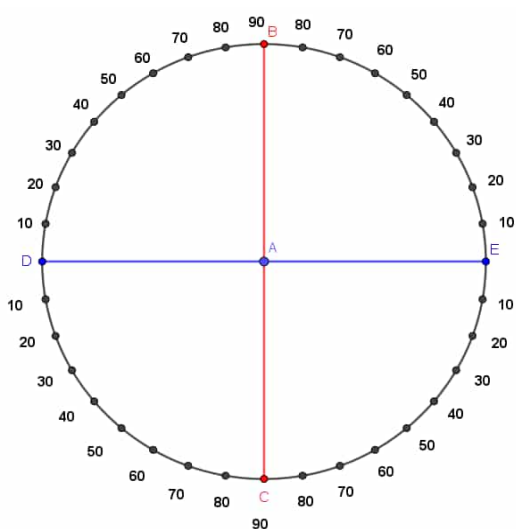


FIGURE 11

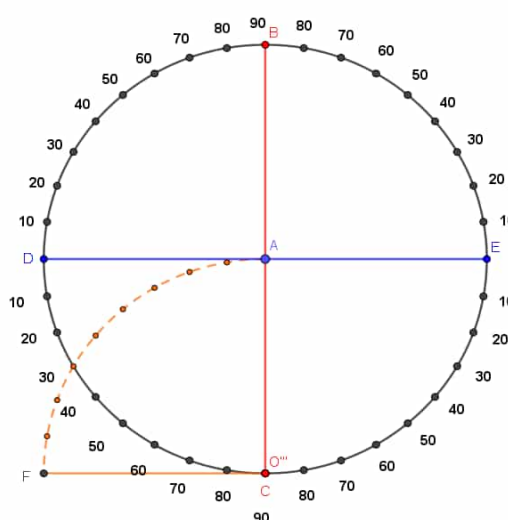


FIGURE 12

2.3.3 Le tracé des méridiens

Les méridiens seront des arcs de cercle passant par les deux pôles B et C et dont les centres seront situés sur la droite (DE).

Pour trouver le centre de chaque méridien, on procède de la façon suivante.

Tracer un quart de cercle de centre C et de rayon aussi grand que l'on veut pour avoir une meilleure précision (fig. 12 page précédente).

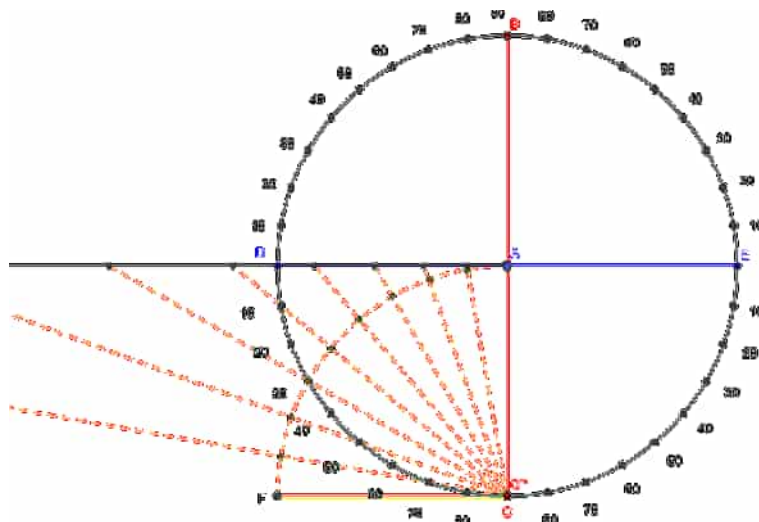


FIGURE 13

Dans l'exemple du livre, on trace un arc de cercle AF centré sur le point C et de rayon AC. Cet arc de cercle est divisé en fonction de la graduation choisie au départ.

- Si on veut tracer des méridiens de 1° en 1°, on gradue l'arc de cercle tous les 1°.
- Si on veut tracer des méridiens de 5° en 5°, on divise l'arc de cercle tous les 5°.
- Si on veut tracer des méridiens de 10° en 10°, on divise l'arc de cercle tous les 10°.

Dans l'exemple de Nicolas Bion, on divise l'arc de cercle tous les 10°.

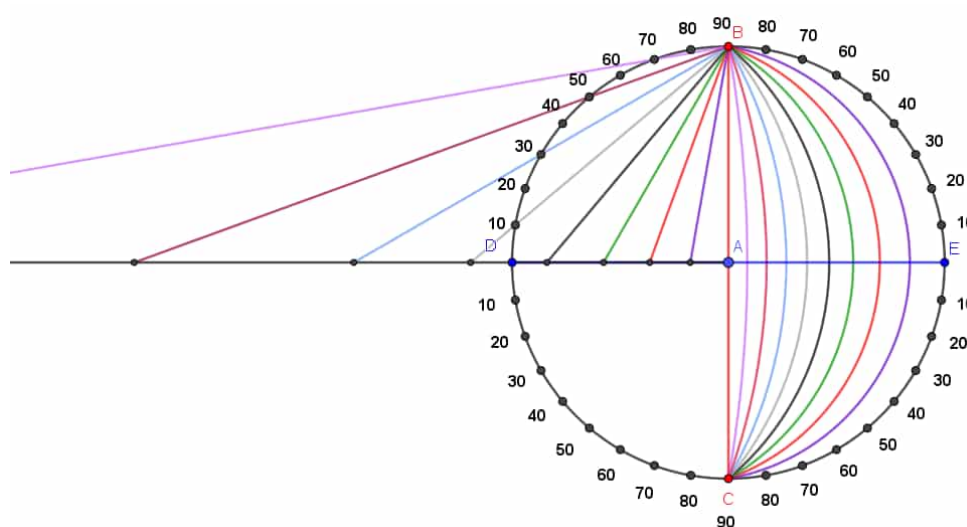


FIGURE 14

Tracer des demi-droites rayonnantes à partir du point C passant par chaque graduation du quart de cercle tracé précédemment.

Enfin, **repérer** les points d'intersections entre ces demi-droites et la droite horizontale (DE) (fig. 13 page précédente).

Pour tracer un méridien, **placer** une pointe de compas sur le centre et on trace l'arc de cercle passant par les points B et C.

On recommence pour chaque centre, même pour les plus éloignés (fig. 14 page ci-contre).

Les centres de l'autre moitié des méridiens seront tracés symétriquement par rapport à la droite (BC).

On obtient le résultat de la figure 15.

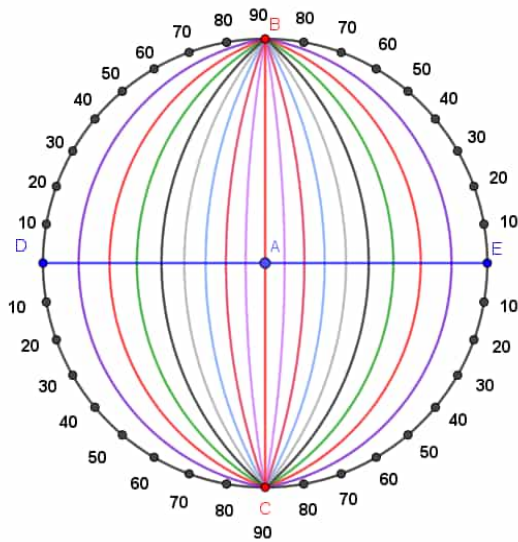


FIGURE 15

2.3.4 Le tracé des parallèles

Pour tracer les parallèles, on utilise une méthode qui utilise le tracé des méridiens.

Pour cela on utilise les centres des cercles des méridiens.

Voyons la méthode pour le tracé du parallèle de 80°.

Au crayon, **prolonger** la droite (BC) (fig. 16).

Relever dans un premier temps à l'aide d'un compas le rayon du méridien de 80°. Pour cela, **placer** la pointe du compas au point F et **relever** l'écartement FB.

Placer la pointe du compas au point A et couper avec le crayon du compas la droite (BC) vers le pôle C. On obtient alors le point H.

H est alors le centre du parallèle passant par les 2 points gradués 80°.

Placer la pointe du compas au point H et relever comme écartement la distance entre le point H et l'un des deux points gradués 80°.

On obtient alors le tracé de la figure 17 page suivante.

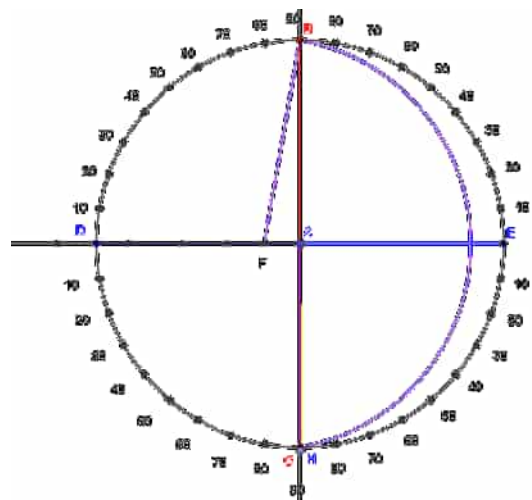


FIGURE 16

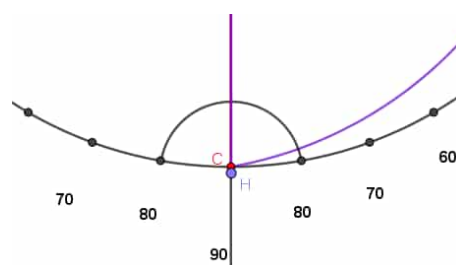


FIGURE 17

Autre exemple : le tracé du parallèle de 40° . Le but est de tracer le parallèle passant par les points de 40° .

Relever dans un premier temps à l'aide d'un compas le rayon du méridien de 40° . Pour cela, **placer** la pointe du compas au point G et relever l'écartement GB (fig. 18).

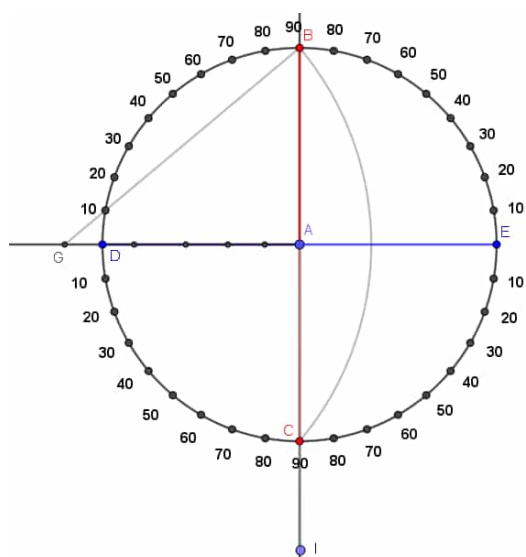


FIGURE 18

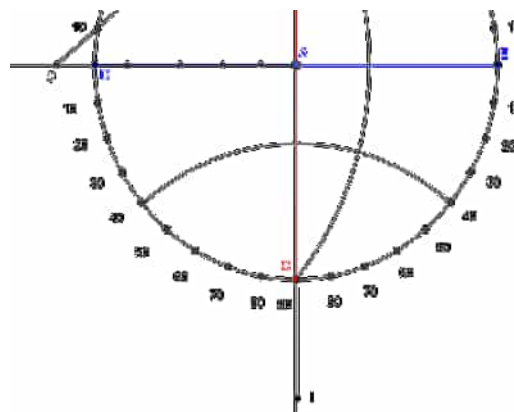


FIGURE 19

Placer ensuite la pointe du compas au point A et on vient couper avec le crayon la droite (BC) vers le pôle C. On obtient alors le point I.

I est alors le centre du parallèle passant par les 2 points gradués 40° .

Placer la pointe du compas au point I et **prendre** comme écartement la distance entre le point I et l'un des deux points gradués 40° .

Tracer l'arc de cercle. On obtient alors le résultat de la figure 19.

Procéder ainsi pour tous les autres parallèles.

On obtient le résultat de la figure 20 page ci-contre.

Les parallèles du côté du pôle B sont obtenus par symétrie des précédents par rapport à la droite (DE). Voici le résultat attendu : figure 21.

Ci-dessous nous avons le tracé de l'astrolabe pour des méridiens et parallèles gradués tous les 10° — figure 22. On peut encore améliorer la précision en traçant les méridiens et parallèles tous les 5° voire 2° .

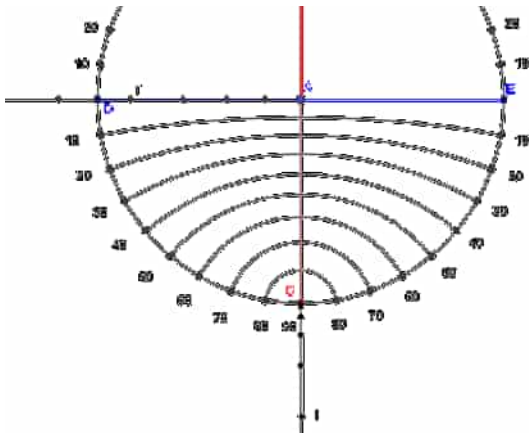


FIGURE 20

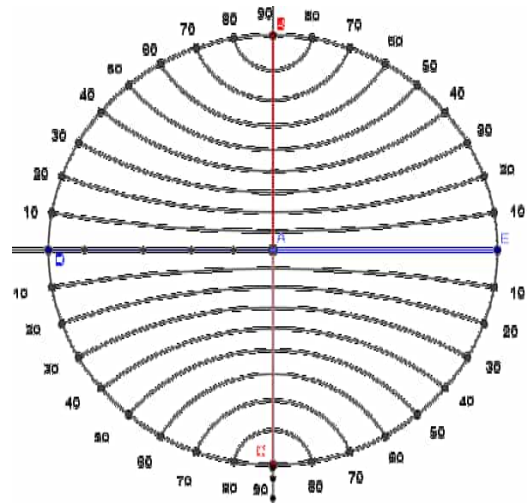


FIGURE 21

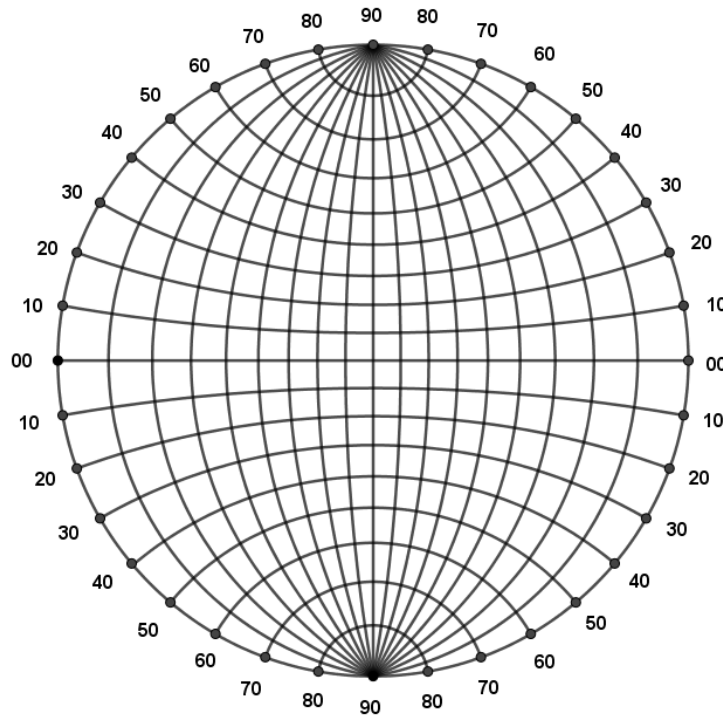


FIGURE 22

2.4 Méthode géométrique n° 2 pour tracer les méridiens et les parallèles

2.4.1 Le principe

Cette méthode consiste à déterminer la position des centres des cercles et les points d'intersections entre les arcs de cercle et les segments [BC] et [DE] afin de les tracer facilement avec un compas à verge. Ici, il est inutile d'utiliser un rapporteur, ce qui apporte plus de précision pour le tracé des méridiens et des parallèles.

2.4.2 Description de la table

Pour trouver la position des centres des cercles et les points d'intersections entre les arcs de cercle et les segments [BC] et [DE] il propose d'utiliser la table ci-dessous (fig. 23). C'est une table qui a été calculée pour un cercle méridien extérieur dit de « 1000 parties égales ». On peut voir ceci comme une unité. Par exemple, si on veut tracer un astrolabe de rayon 10 cm, on divise les valeurs des colonnes 2, 3 et 4 par 100 et si on veut tracer un astrolabe de rayon 20 cm, on divise les valeurs des colonnes 2, 3 et 4 par 50. Par conséquent Il suffit simplement de faire un calcul de proportionnalité pour passer d'un astrolabe de rayon « 1000 unités » à un astrolabe d'un autre rayon.

DEGREZ	PARTIES	EGALES	EGALES
10	87	5671	5758
20	176	2747	2923
30	268	1732	2000
40	364	1192	1556
50	466	839	1305
60	577	577	1154
70	700	364	1064
80	839	176	1015

FIGURE 23

	R	mm	100
degrés	AB et AC (mm)	AO (en mm)	AM (en mm)
10	8,7	567,1	575,9
20	17,6	274,7	292,4
30	26,8	173,2	200,0
40	36,4	119,2	155,6
50	46,6	83,9	130,5
60	57,7	57,7	115,5
70	70,0	36,4	106,4
80	83,9	17,6	101,5

TABLE 1

- La colonne 1 donne les degrés de 10° à 80° par pas de 10° comptés depuis le centre A.
- La colonne 2 donne la position des points d'intersection entre chaque arc de cercle (méridien et parallèle) et les deux segments [BC] et [DE] à partir du point A.
- La colonne 3 donne la distance des centres des méridiens à partir du point A.
- La colonne 4 donne la distance des centres des parallèles à partir du point A.

On peut vérifier que les valeurs données dans le tableau sont correctes en les comparant avec celles obtenues avec le formulaire (voir le formulaire en Annexe et le fichier Excel).

Pour un astrolabe de $R = 100$ mm et en utilisant le fichier Excel, on obtient le tableau 1.

2.4.3 Le tracé à partir de la table

Tracer un cercle de rayon $R = 100$ mm.

Exemple pour le tracé du méridien et du parallèle pour 30°.

Placer en utilisant une règle graduée les points B_{30} , C_{30} , O_{30} et M_{30} pour 30°.

Tracer l'arc de cercle méridien de 30°.

Pour cela, **placer** une pointe de compas au point O_{30} , et **tracer** l'arc de cercle passant par le point B_{30} .

Tracer le parallèle de 30° pour cela, **placer** une pointe de compas au point M_{30} , et **tracer** l'arc de cercle passant par le point C_{30} .

Tracer les autres méridiens et parallèles en appliquant la même méthode.

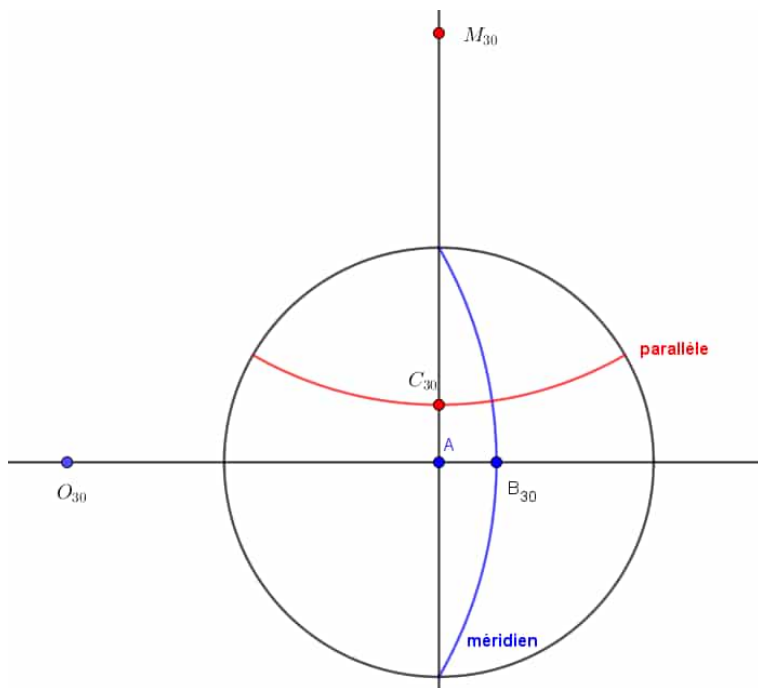


FIGURE 24

2.4.4 Le tracé de l'écliptique

Pour tracer l'écliptique, il propose simplement de tracer un diamètre incliné d'un angle de $23,5^\circ$ par rapport à l'équateur. Il ne donne aucune indication sur la graduation de ce dernier.

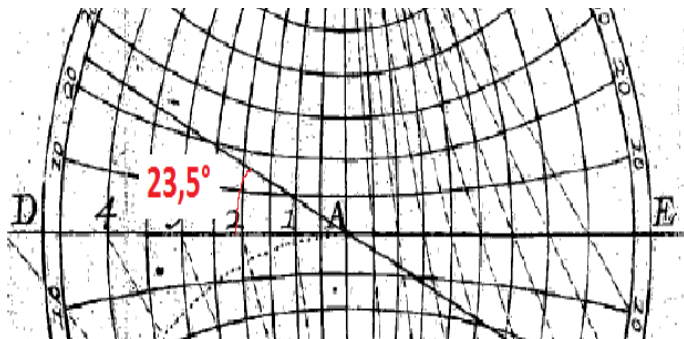


FIGURE 25

2.4.5 Le bras articulée

Nicolas Bion ne donne aucune information sur la manière de graduer l'ostenseur muni du bras articulé qui est utilisée pour faire fonctionner l'astrolabe.

2.5 Méthode moderne pour réaliser un astrolabe universel de type Gemma Frisius

2.5.1 Un formulaire

Pour réaliser un astrolabe universel avec précision, il vaut mieux avoir recourt aux formules de trigonométrie.

Dans l'*annexe 2*, on trouvera un formulaire qui permet de déterminer avec précision la position des centres des cercles et les rayons associés.

Les formules ne sont pas compliquées et peuvent être facilement programmées en utilisant un tableur ou une calculatrice.

On trouvera également dans le fichier annexe, un tableur Excel dans lequel les formules ont été programmées.

Pour l'utiliser, il suffit simplement de fixer le rayon du méridien de 12 h 00.

2.5.2 Le tracé de l'astrolabe

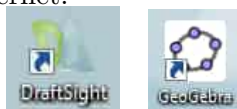
Pour tracer un astrolabe universel de type « Gemma Frisius » on peut procéder selon deux méthodes.

2.5.2.1 Méthode 1. Reporter sur une feuille de papier ou une planchette le centre de chaque cercle et tracer les arcs de cercle à l'aide d'un compas à verge comme la méthode proposée par Nicolas Bion. Le compas à verge a la propriété de tracer des grands arcs de cercle.

C'est une méthode simple qui été jadis utilisée mais elle comporte tout de même une difficulté majeur lorsqu'on trace des arcs de cercles de rayon assez conséquent. Surtout si on veut tracer avec précision un astrolabe dont les méridiens et parallèles sont gradués tous les 2° par exemple. En effet, les centres de certains cercles sont rejetés loin de la table et ce qui rend le tracer parfois difficile.

Par conséquent, il faut posséder un compas à verge d'une grande précision et être très précis dans les tracés.

2.5.2.2 Méthode 2. Cette méthode consiste à utiliser un logiciel de dessin qui permet de tracer des grands cercles. Par exemple, on peut citer le logiciel de géométrie dynamique Géogébra ou des logiciels de dessin technique gratuits comme Draftsight que l'on trouve sur internet.



Il suffit d'entrer la position du centre du cercle ainsi que le rayon du cercle. Pour expliquer la méthode 2 de Nicolas Bion, le logiciel Géogébra a été utilisé.

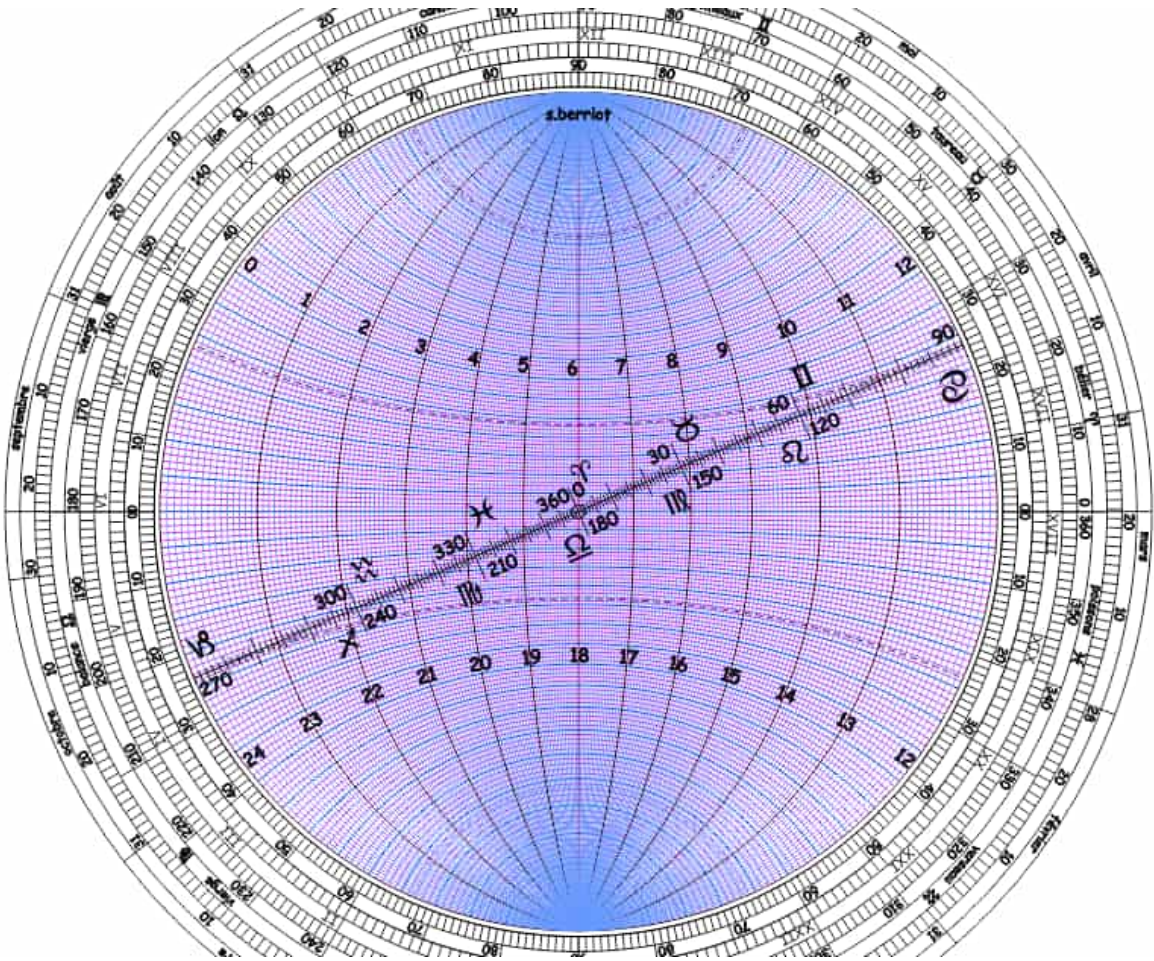
Le cercle se trace avec précision et on ne rencontre pas les problèmes que pose la première méthode. Il faut seulement maîtriser l'utilisation de ces logiciels.

2.5.2.3 Méthode 3. La version professionnelle du logiciel Shadows de François blateyron permet d'obtenir directement un astrolabe universel. Il suffit simplement d'entrer le rayon du cercle extérieur et le tracé se fait automatiquement.

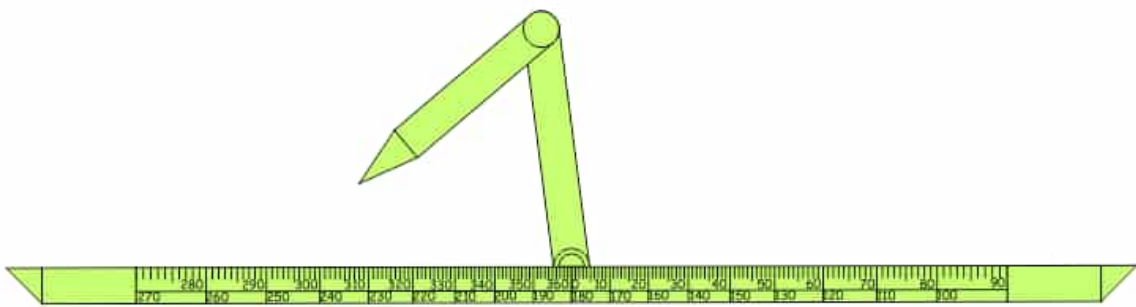


On pourra par exemple imprimer chaque partie de l'astrolabe (Le tympan, l'ostenseur, les parties du bras articulé) et les assembler avec précision. Ou bien on pourra graver et découper chaque partie de l'astrolabe sur du bois ou un autre support si on a accès à une imprimante laser. Aujourd'hui les ateliers de type *fablab* qui fleurissent un peu partout en France possèdent des imprimantes laser.

Exemple Voici un astrolabe réalisé à l'aide d'un logiciel de dessin.



(a)



(b)

FIGURE 26

2.5.3 Les usages de l'astrolabe

Dans son livre l'auteur propose de résoudre 36 problèmes d'astronomie avec cet instrument. On trouvera en *annexe 2*, la liste des différents usages.

Ce sont des problèmes utiles pour l'astronome, le navigateur, le géographe et l'astrologue.

Le but de l'astrolabe universel est de résoudre des problèmes de trigonométrie sphérique sans l'utilisation de formules et pour toutes latitudes.

Dans le *fichier annexe*, on trouvera les 36 problèmes d'astronomie résolus à partir de l'astrolabe présenté précédemment. On pourra voir ceci comme un mode d'emploi de l'instrument.

Pour chaque usage, on trouve :

- Une méthode générale dans l'encadré bleu.
- Un ou deux exemples d'application.
- Pour certains usages, des rappels sur les définitions sont donnés (ex : différence ascensionnelle, ascension oblique.)

Ces différents usages sont également agrémentés de schémas plus ou moins agrandis qui permettent de bien comprendre le fonctionnement de l'instrument.

On trouvera également dans le fichier annexe, une table d'ascension oblique sous forme d'un fichier Excel utile à la résolution de problèmes relatifs au lever et coucher d'un astre ou de problèmes d'astrologies.

Remarque : dans les exemples proposés, je donne uniquement des exemples pour des latitudes de l'hémisphère Nord.

2.5.4 La précision de l'instrument

Même si on utilise un astrolabe dont les méridiens et les parallèles sont gradués tous les degrés, il faut accepter une erreur d'1° ou de 2°. En effet la lecture n'est pas simple lorsque la pointe du bras articulé tombe dans les zones polaires, là où les méridiens et parallèles sont resserrés.

Dans les usages, on pourra observer que la précision est bonne mais c'est parce que j'ai pu zoomer grâce à mon logiciel de dessin.

Annexe 1 : formulaire permettant de tracer un astrolabe universel type Gemma Frisius

On désigne par A le centre de l'astrolabe et R le rayon de l'astrolabe.

tracé du méridien extérieur

Tracer un cercle de centre A et de rayon R.

tracé des méridiens

Distance entre le centre A et le point d'intersection noté B entre le cercle méridien et l'axe horizontale.

d étant le degré du méridien

$$AB = R \times \tan d/2$$

Distance entre le centre A et le centre du cercle méridien noté O.

$$AO = \frac{R}{\tan d}$$

Rayon du cercle méridien. On peut directement déterminer le rayon d'un cercle méridien en utilisant la formule suivante (fig. 27) :

$$R_{\text{méridien}} = \frac{R}{\sin d}$$

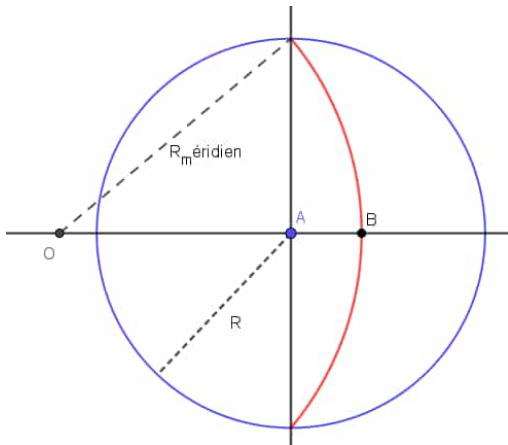


FIGURE 27

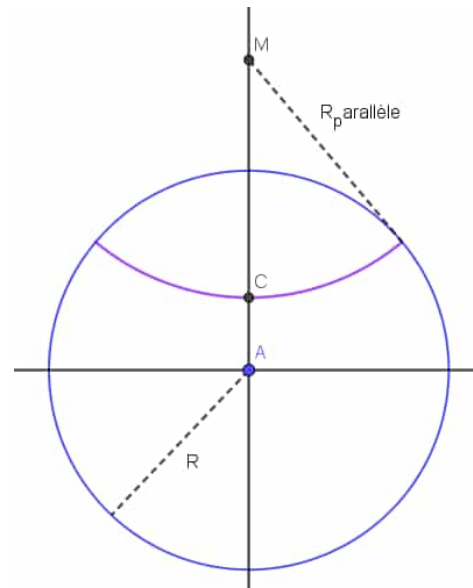


FIGURE 28

tracé des parallèles

Distance entre le centre A et le point d'intersection noté C entre le parallèle et l'axe vertical. m étant le degré du parallèle.

$$AC = R \times \tan m/2$$

Distance entre le centre A et le centre du parallèle noté M.

$$AM = R \times \sin m$$

Rayon du cercle parallèle. On peut directement déterminer le rayon d'un cercle parallèle en utilisant la formule suivante (fig. 28) :

$$R_{\text{parallèle}} = \frac{R}{\tan m}$$

Le tracé de l'écliptique

L'écliptique est incliné par rapport à l'équateur dans le sens trigonométrique d'un angle égal à l'obliquité de l'écliptique c'est à dire ε . On prendra $\varepsilon = 23,44^\circ$.

Pour graduer l'écliptique, on appliquera la formule suivante :

$$AE = R \times \tan E/2$$

A est le centre de l'Astrolabe est E la graduation (par exemple pour la graduation 10° on prendra $E = 10^\circ$).

Les graduations de l'ostenseur

Si O est le centre de la règle et G une graduation, on calcule les valeurs à reporter sur la règle en utilisant la formule. C'est la même formule que celle utilisée pour graduer l'écliptique.

$$OG = R \times \tan G/2$$

Exemples numériques

Si on veut par exemple tracer un astrolabe de rayon $R = 200$ mm. Le tableur Excel joint avec le formulaire permet d'obtenir les résultats suivants :

Méridien. Pour $d = 30^\circ$: $AB = 53,6$ mm $AO = 346,4$ mm $R_{\text{méridien}} = 400$ mm.

Parallèle. Pour $m = 20^\circ$: $AC = 35,3$ mm $AM = 584,8$ mm $R_{\text{parallèle}} = 549,5$ mm.

tracé de l'écliptique. Pour la graduation 20° : $AE = 35,27$ mm.

Pour la graduation 230° : $AE = -93,26$ mm.

tracé de l'ostenseur. Pour la graduation 60° : $OG = 115,47$ mm.

Pour la graduation 340° : $OG = -35,27$ mm.

Annexe 2 : Liste des usages de l'astrolabe de Gemma Frisius

Usage I : connaissant la date, quelle est la longitude écliptique du soleil ?

Usage II : connaissant la date, quelle est la déclinaison du soleil ?

Usage III : connaissant la déclinaison du soleil, quelle est la date ?

Usage IV : connaissant la hauteur méridienne du soleil ou de quelques étoiles, quelle est la latitude du lieu ?

Usage V : un jour donné, comment trouver la latitude du lieu à n'importe quelle heure ?

Usage VI : à une latitude donnée et un jour donné, comment trouver l'heure solaire en mesurant la hauteur du soleil ?

Usage VII : comment déterminer l'ascension droite du soleil pour n'importe quel jour ?

Usage VIII : connaissant la latitude du lieu, comment déterminer la différence ascensionnelle et l'ascension oblique de tout point de l'écliptique ?

Usage IX : connaissant la latitude du lieu, comment déterminer la déclinaison d'une étoile par l'observation ?

Usage X : connaissant les coordonnées écliptiques d'une étoile (longitude et latitude), comment déterminer ses coordonnées équatoriales (ascension droite et déclinaison) ?

Usage XI : connaissant les coordonnées équatoriales d'une étoile (ascension droite et déclinaison), comment déterminer ses coordonnées écliptiques (longitude et latitude) ?

Usage XII : connaissant la latitude du lieu, on a mesuré la hauteur et l'azimut d'une étoile. Quels sont l'angle horaire et la déclinaison de cette étoile ?

Usage XIV : connaissant la déclinaison d'un astre, comment déterminer son amplitude orientale ou occidentale ?

Usage XV : connaissant la déclinaison d'un astre et la mesure de l'amplitude orientale ou occidentale, quelle est la latitude du lieu ?

Usage XVI : connaissant la date et la latitude du lieu, comment déterminer l'heure solaire du lever, l'heure solaire du coucher et la durée du jour ?

Usage XVII : connaissant la date et la latitude du lieu, comment déterminer l'heure solaire de la fin du crépuscule ?

Usage XVIII : connaissant la durée du jour le plus long d'un endroit donné, quel est la latitude du lieu ?

Usage XIX : connaissant la latitude du lieu, comment déterminer l'heure solaire de lever ou de coucher d'une étoile, ainsi que l'heure de passage au méridien ?

Usage XX : connaissant la latitude du lieu, quelles sont les étoiles qui se lèvent et se couchent, celles qui ne se couchent pas et celles qui ne sont jamais visibles ?

Usage XXI : comment déterminer le lever et le coucher (cosmique, achronique et héliaque) des étoiles ?

Usage XXII : comment déterminer l'heure solaire à partir des étoiles ?

Usage XXIII : comment trouver les heures italiques, babyloniennes et les heures planétaires ?

Usage XXIV : comment trouver à toute heure le point de l'écliptique qui est au méridien ?

Usage XXV : à une latitude donnée et à une date donnée, quelle est la hauteur du soleil ou d'une étoile pour n'importe quelle heure solaire ?

Usage XXVI : à une latitude donnée et à une date donnée, quelle est l'azimut du soleil ou d'une étoile pour n'importe quelle heure solaire ?

Usage XXVII : à une latitude donnée et à une heure donnée, comment trouver la direction du méridien ?

Usage XXVIII : connaissant les coordonnées équatoriales (ascension droite et déclinaison) de deux étoiles, trouver leur distance angulaire ?

Usage XXVIII (bis) : connaissant les coordonnées écliptiques (longitude écliptique et latitude écliptique) de deux étoiles, trouver leur distance angulaire ?

Usage XXVIII (Ter) : connaissant les coordonnées géographiques (longitude et latitude) de deux villes, trouver leur distance angulaire sur le globe terrestre ?

Usage XXIX : connaissant les coordonnées écliptiques de l'étoile 1 (longitude λ_1 et latitude β_1), ainsi que la latitude écliptique β_2 de la 2^e étoile et l'écart angulaire entre les deux étoiles, quelle est la longitude écliptique λ_2 de la deuxième étoile ?

Usage XXIX (bis) : connaissant les coordonnées équatoriales de l'étoile 1 ($\alpha_1 ; \delta_1$) ainsi que la déclinaison δ_2 de la 2^e étoile et l'écart angulaire entre les deux étoiles, quelle est l'ascension droite α_2 de la deuxième étoile ?

Usage XXX : en un lieu donné, comment trouver l'azimut d'un autre lieu ?

Usage XXXI : à une latitude donnée et à une heure solaire donnée, comment trouver les coordonnées équatoriales (ascension droite et déclinaison) ainsi que les coordonnées écliptiques (longitude et latitude) d'une comète ?

Usage XXXII : comment déterminer les angles que fait le méridien avec le méridien et les autres cercles horaires ?

Usage XXXIII : à une latitude donnée, un jour donné et à une heure solaire donnée, quel point de l'écliptique se lève et quel point de l'écliptique se couche ?

Usage XXXIV : à une latitude donnée et à une heure solaire donnée, comment trouver les degrés de l'écliptique, qui sont le commencement des douze maisons célestes ?

Usage XXXV : comment réaliser un cadran horizontal avec cet astrolabe ?

Usage XXXVI : comment réaliser un cadran méridional avec cet astrolabe ?

Références

- [1] Nicolas Bion : *L'usage des globes célestes et terrestres* ;
<https://gallic.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1065178p/f9.image.r=nicolas%20bion>
- [2] Nicolas Bion : *L'usage des astrolabes tant universels que particuliers* ;
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5541382h.r=nicolas%20bion%20astrolabe?rk=42918;4>
- [3] Denis Savoie : *Cosmographie*. édition : Belin pour la science.

En annexe de la version numérique :

vous trouverez les fichiers :

- Les 36 problèmes résolus à l'astrolabe universel de Gemma Frisius (manuel d'utilisation de 150 pages) : S_Berriot_usages_gemma_frisius.pdf
- Les fichiers Excel :
 - formulaire_astrolabe_universel.xlsx
 - table_ascension_oblique.xlsx
 - verification_tableau.xlsx



Le cadran abandonné l'observatoire de Tauxigny

par Michel Derouet & Michel Doucet

Description, vérification et recherches historiques d'un vestige de cadran abandonné à l'observatoire de Tauxigny (Touraine).

Dernièrement, lors de la réalisation d'un cadran solaire au printemps 2019, un vieux souvenir est remonté à la surface : un cadran gravé sur schiste, déposé et abandonné à l'observatoire de Tauxigny au tout début de l'installation de la Société Astronomique de Touraine, ci-dessous photographié le 24 mai 1999.



(a)



(b)

FIGURE 1 – Le cadran abandonné.

Le cadran, après quelques semaines dehors, fut d'abord entreposé sous une coupole, dans un bric-à-brac où, victime de son poids, il était bien souvent l'indésirable susceptible de subir de

malencontreuses manipulations. C'est ainsi qu'il y perdit son quatre horloger (III). La plaque de schiste avait complètement disparu depuis une bonne décennie. Michel Magat, soucieux de la sauvegarde patrimoniale, l'avait sauvée d'un désintérêt qui lui aurait été fatal en l'abritant chez lui.



FIGURE 2 – Numérisation du cadran en schiste.

Il est gravé sur un pseudo quart de rond en schiste de 70 cm × 58 cm et de 25 à 35 mm d'épaisseur et pèse 26,2 kg. Il offre les heures de 4 à 13. On y retrouve l'emplacement du style à la conjonction approximative des lignes horaires et deux stigmates des restes oxydés des fixations alignées sur une ligne verticale, parallèle à la ligne du midi. Il semble décroché de son support depuis des lustres.

Commence alors le travail de scannage afin d'obtenir une image haute définition avec une mosaïque de onze photos. L'informatique fera le reste (cf. fig. 2).

Le logiciel Shadows Pro¹ possède une application discrète qui permet, à partir d'une photo, d'estimer la latitude pour laquelle le cadran a été calculé, si tant est qu'il y ait eu calcul. . . Il suffit de faire coïncider les trois lignes de couleurs avec obligatoirement le midi et deux autres heures choisies (cf. fig. 3). L'application calcule alors la latitude du lieu, la déclinaison du mur qui le supportait et l'angle de la sous-styloire par rapport au midi.

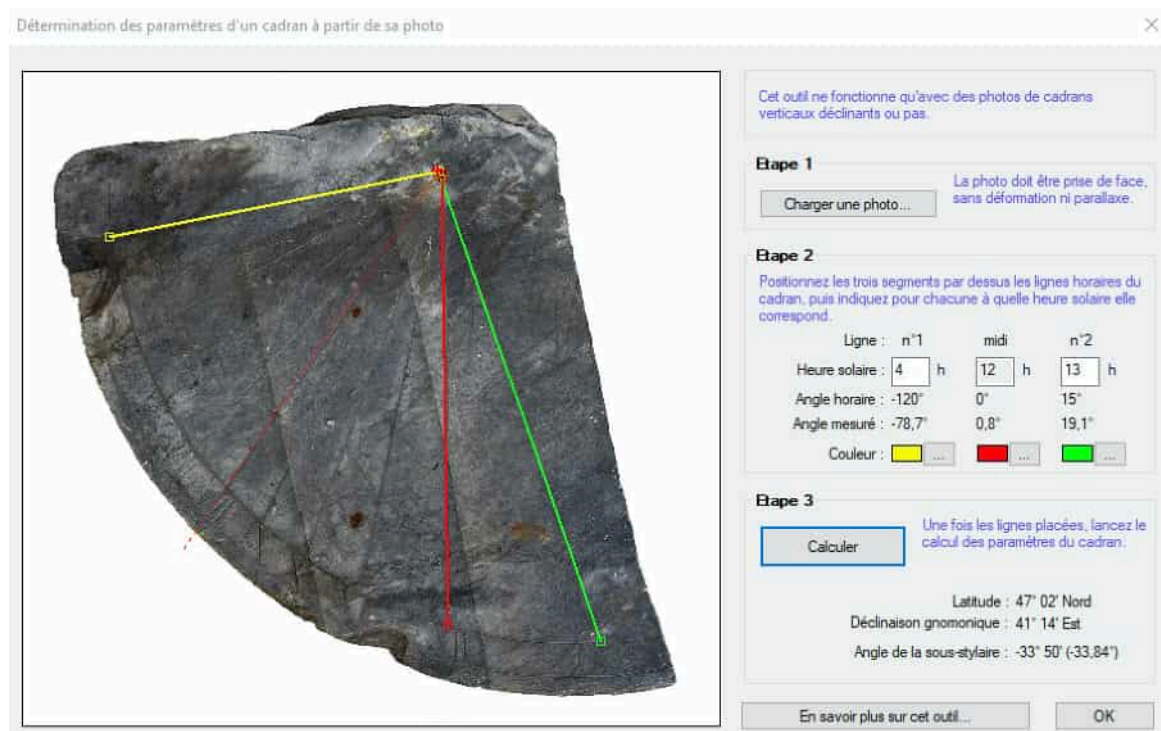


FIGURE 3 – Logiciel Shadows Pro.

1. Blateyron François, [www.shadowspro.com]

- Déclinaison : 41° 14' Est, ce qui confirme les heures matinales.
- Latitude estimée : 47° 2' Nord. Cette estimation, même approximative, est compatible avec une latitude tourangelle (de 46° 44' à 47° 42'), voire lochoise (Loches est à 47° 16' Nord).

Avant de se lancer dans un tour du Monde sur le 47^e parallèle Nord, il y a sur ce cadran des graffitis précieux, dont un très explicite, à condition de s'en tenir au principe de parcimonie (cf. fig. 4).

Révélé à la craie : « André Berthon né à Chanceaux le 8 juin 1919 ».

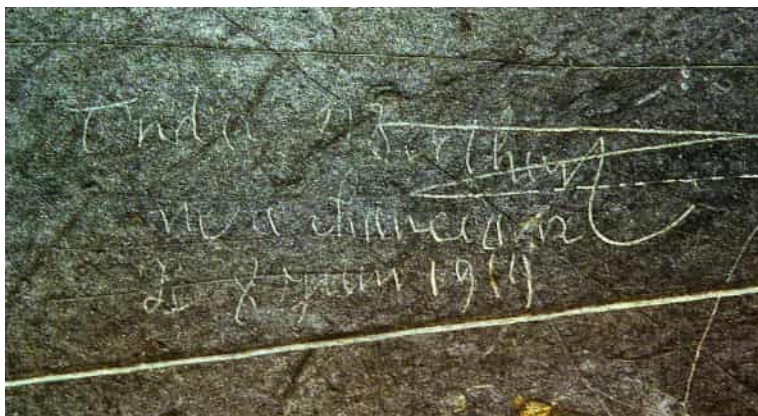


FIGURE 4 – Graffitis sur le cadran révélés à la craie.

En précisant « né à Chanceaux », André Berthon semble vouloir nous signifier qu'il n'est pas de la commune où se trouve ce cadran. Il sera donc notre guide.

Après vérification aux Archives Départementales, il est bien né à Chanceaux-près-Loches, au lieudit L'étang le 8 juin 1919, fils de Élise Berthon âgée de 17 ans, mère célibataire, déclaré par son grand-père Léopold Berthon. Deux ans plus tard, le 2 février 1921, sa sœur Renée naît dans les mêmes conditions.

En 1926, le recensement montre que Léopold est décédé depuis celui de 1921. Le décès a eu lieu le 23 octobre 1924 au 12 rue Jules Moineaux à Tours, adresse administrative de l'Hôpital Saint-Gatien. C'est cette disparition qui a sans doute disséminé la famille. En 1931, ils ont tous disparu de Chanceaux-près-Loches et semblent se rassembler à Saint-Jean-Saint-Germain :

- Georgette, la tante d'André et sœur d'Élise, (née le 28-9-1911) se marie avec Alexandre Guenand (Betz-le-Château 1904, Saint-Hippolyte 1963) s'établit à Saint-Jean-Saint-Germain au lieudit Les Denis.
- Le 13 novembre 1937, Renée, la petite sœur d'André, cultivatrice domiciliée à Saint-Jean-Saint-Germain se marie avec Albert Marteau né à Saint-Jean-Saint-Germain et cultivateur à Sennevières. Sur l'acte, on apprend que Élise, la mère de Renée et d'André, toujours célibataire est maintenant cuisinière à Tours où elle habite 17 rue Jules Charpentier. Elle décèdera à Saint-Benoît-la-Forêt le 7 août 1970.
- Le 14 novembre 1939, André Berthon lui-même, cultivateur à Saint-Jean-Saint-Germain se marie avec Madeleine Bouffeteau.

Compte-tenu des convergences vers Saint-Jean-Saint-Germain, c'est sur cette commune, issue de la fusion de Saint-Jean et de Saint-Germain en 1834, que commenceront les recherches de bâtisses anciennes, manoirs ou châteaux. Ils sont au nombre de cinq :

- Le Rouvray, château du début XIX^e siècle, transformé en 1863.

- Le Château de Saint-Germain, du XV^e siècle, restauré en 1902 où Dubreuil Chambardel² précise page 119 que l'Inspecteur de l'Université Chaveneau lui avait signalé un cadran colonnaire qu'il ne retrouva pas.
- Le Coudray, château des XVIII^e et XIX^e siècles³.
- Mont Félix, château construit entre 1841 et 1843 par le propriétaire du Coudray pour son fils.
- La Roche, manoir du XIV^e au XVIII^e siècle.

Après avoir fait connaissance des cinq bâtisses de Saint-Jean-Saint-Germain susceptibles d'avoir arboré un cadran solaire, il faut maintenant les confronter à une donnée intangible : la déclinaison Est de 41°.

La technique consiste à coller un ruban de scotch sur l'écran de l'ordinateur et, à l'aide d'un rapporteur numérique, à y tracer un trait tourné vers l'Est de 41° par rapport au sud (*cf.* fig. 5). Ensuite, il reste à vérifier sur le cadastre l'orientation des châteaux et de leurs dépendances.

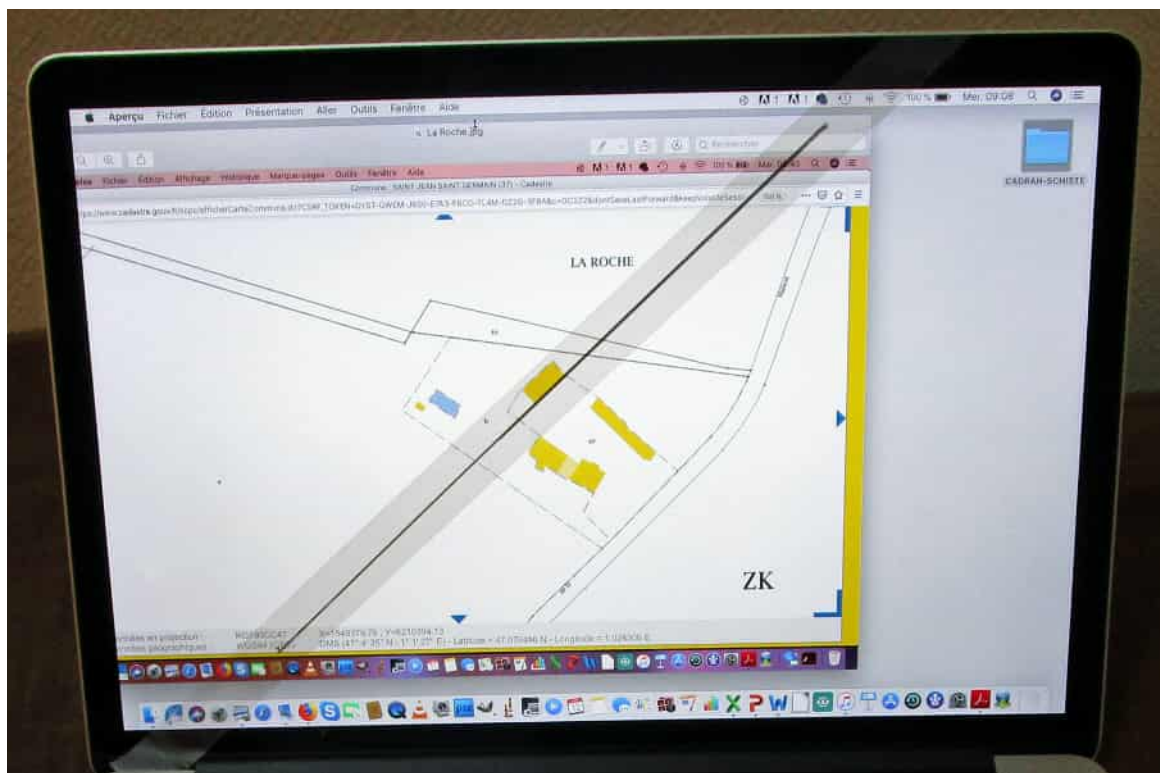


FIGURE 5 – Utilisation du cadastre pour déterminer l'orientation des bâtiments.

Seul, sur la commune de Saint-Jean-Saint-Germain, le manoir de La Roche présente son bâtiment principal orienté à 41° vers l'Est... à 400 mètres des Denis, le hameau où a habité Georgette, la tante d'André Berthon. Dubreuil-Chambardel (opus cité) pages 110 et 111, au sujet d'un autre cadran connu, réalisé à Saint-Jean-Saint-Germain, parle ainsi de son auteur, l'abbé Pillault :

Cet abbé n'était pas dépourvu de connaissances en gnomonique, si nous en jugeons par cette ardoise, qui en vaut bien d'autres. Nous trouvons également son nom :

2. Dubreuil-Chambardel Louis, *Les cadrans solaires tourangeaux*, Péricat, Tours, 1922.
3. *Le patrimoine des communes d'Indre-et-Loire*, Éditions Flohic, 2001.

PILLAULT, l'an 7, tracé sur un des cadrans construits par de Gueldres, et qui fut probablement en sa possession.

Né le 8 juillet 1756, d'une vieille famille de la bourgeoisie Lochoise, Henri-Nicolas Pillault était fils de Nicolas-François Pillault, (1) conseiller avocat du roi au baillage et siège royal de Loches et de Marie-Jeanne Haincque. Il avait été tenu sur les fonts par son frère Nicolas-Adrien (2), alors écolier, et par sa tante, Denise-Marthe Pineau, veuve du sieur Charles-Florent Pillault de la Roche. Ce surnom de La Roche venait d'une terre que la famille possédait près de Loches, dans la paroisse de Saint-Germain, et fut porté par plusieurs personnages, dont le dernier fut l'auteur du cadran qui nous occupe.

Voilà qui conforte notre option cadastrale et confirme l'âge possible du cadran. Le 16 juin, un document très argumenté est envoyé aux propriétaires du manoir de La Roche.



FIGURE 6 – Manoir de La Roche.

En attendant la réponse des propriétaires, la recherche sur André Berthon se poursuit à la mairie de Chanceaux-près-Loches où il est né et de Saint-Jean-Saint-Germain où il s'est marié. Si André est décédé à Tours en 1992, à l'hôpital peut-être, son épouse est décédée la même année à Montlouis-sur-Loire. Par un rapide coup de téléphone à la mairie, je me retrouve sur la tombe d'André Berthon à Montlouis. Une plaque signale que le couple a eu des enfants.

Peut-être y a-t-il encore des descendants sur Montlouis ? Dans un annuaire de 2013 il y a quelques Berthon. . . J'en choisis un et je décide d'aller frapper à sa porte. Là, je tombe sur le petit-fils d'André qui ne connaît pas en détail l'histoire de son grand-père. Il appelle son père au téléphone et me le passe. J'apprends alors qu'André Berthon a habité à La Roche et que lui, son fils, y est né. Le cadran est bien celui de La Roche.

Au fil de notre conversation, il me précisera qu'André et Madeleine ont eu quatre garçons dont les deux aînés sont encore en vie.

Mardi 25 juin, réponse des propriétaires attestant d'une présence ancienne d'un cadran solaire sur le manoir de La Roche. Nous nous rencontrons à La Roche le samedi 29 juin. À l'évidence, il faudra recentrer le cadran sur le corps de logis pour éviter l'imposante glycine qui maintenant occupe son dernier emplacement connu.

Michel Doucet, membre de la SAT⁴, sera le restaurateur du style du cadran. Le 21 août nous sommes allés vérifier la déclinaison du mur, estimée initialement par le logiciel *Shadows Pro* à 41,14° Est. Elle est mesurée au déclinomètre sur le mur principal à 42,60° Est. Les mesures sont très répétables (*cf.* fig. 7(a) & 7(b) page ci-contre). Dans la mémoire d'enfant⁵ du propriétaire, le dernier emplacement connu du cadran était sur un mur formant un angle de 14,5° avec le corps du bâtiment principal, accentuant ainsi la déclinaison Est. S'il avait été calculé pour cet emplacement, il aurait été orienté à environ 57° vers l'Est. . .

C'est donc une surprise de constater qu'il a été calculé pour le corps principal du logis mais pas pour son dernier emplacement connu. Y a-t-il eu deux emplacements successifs au fil des siècles ? Un œil expert verrait peut-être une reprise de la façade à gauche de la large fenêtre qui expliquerait la migration du cadran bien après le décès de son auteur ? Pour poser le cadran, ce sera plus simple pour nous. Il reste aux propriétaires à choisir l'emplacement pour un ensoleillement maximum.

Vérité historique sur l'abbé Pillault

Le Docteur Dubreuil Chambardel⁶ n'a pas cherché à en savoir davantage sur la vie de celui qu'il appelait l'abbé Pillault. Les terres de La Roche étaient propriété de son oncle et de sa marraine, veuve de ce dernier. Sans savoir s'il en fut lui aussi le propriétaire, il est plausible qu'il soit l'auteur du cadran. Sa vie vaut pourtant qu'on s'y attarde afin de rectifier la vérité historique.

Henry Nicolas Pillault est bien né à Loches le 8 juillet 1756. Avant la Révolution, il est chanoine de la Collégiale de Loches puis, en 1790, vicaire de la paroisse Saint-Martin de Tours. Dubreuil-Chambardel précise que Pillault prête les serments successifs auxquels sont soumis les curés en 1790 et 1792. Enfin, le 2 vendémiaire an VI (23 septembre 1797), il prête le serment de *Haine à la royauté et à l'anarchie*⁷ instauré par la loi du 12 janvier 1797 (23 nivôse an V et non du 19 fructidor an VI).

Mais entre 1792 et 1797, et surtout après, contrairement à ce que suggère Dubreuil Chambardel, l'abbé Pillault n'a pas eu une existence obscure⁸.

Sa vie fut éclairée par une jeune femme et la naissance de quatre enfants. Il se marie à Tours le 7 décembre 1793⁹ (17 frimaire an II) avec Anne Léonore Rocher âgée de 22 ans, fille d'un tisserand de Châtellerault. Ils habitent alors Rue de la Longue Échelle.

Neuf mois et deux jours après le mariage¹⁰, Bérénice Henriette naît à Loches le 9 septembre 1794. On apprend à cette occasion que Henry Nicolas Pillault est devenu cultivateur au hameau de La Fontaine à Loches. Il faudra attendre la naissance de la deuxième fille¹¹ pour comprendre que Henry Nicolas Pillault ne s'est pas attaché à la terre puisqu'il est devenu professeur de mathématiques, au collège de Loches apprendra-t-on plus tard.

Aspasie Sapho (!) naît le 15 décembre 1796 (25 Frimaire an V) à Loches, dans la citadelle, et le père de l'enfant signe Pillault Rocher. Malheureusement, cet enfant décédera deux jours

4. Société Astronomique de Touraine.

5. Il s'agit d'une propriété familiale depuis environ deux siècles.

6. https://fr.wikipedia.org/wiki/Louis_Dubreuil-Chambardel. Consultation le 4 octobre 2019.

7. Le serment fut prêté parce qu'il était alors salarié de la République.

8. Dubreuil-Chambardel Louis, *Les cadrans solaires tourangeaux*, Péricat, Tours, 1922, page 112.

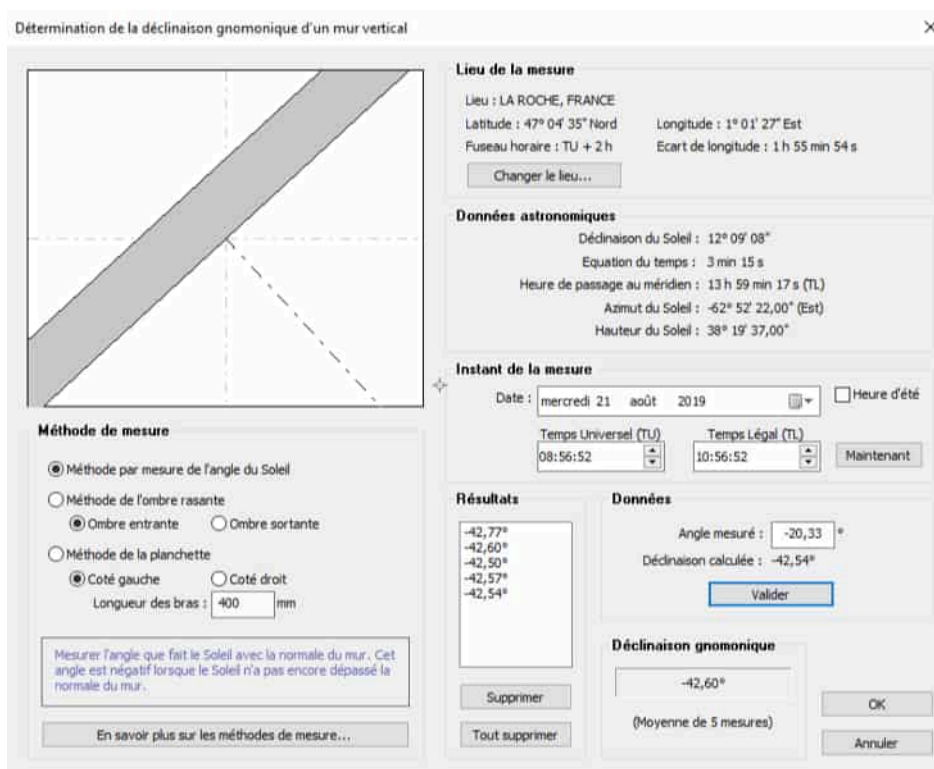
9. AD 37, Tours, 6NUM8, 261/007, vue 136/202.

10. AD 37, Loches, 6NUM8, 132/001, vue 71/249.

11. Le citoyen René Germain Pottier, qui certifie la naissance, est neveu de François Pottier, évêque d'Agathopolis, missionnaire apostolique en Chine. Il est aussi le neveu de Anne Pottier, sœur de l'évêque et accessoirement ancêtre de Michel Derouet. . . Le Lochois est un village!



(a) Dispositif de mesure



(b) Logiciel de calcul de la déclinaison

FIGURE 7 – Mesure de la déclinaison gnomonique.

plus tard. Un garçon naîtra le 25 octobre 1799 (13 brumaire an VIII) et décèdera le même jour. Seule sa mort est enregistrée, sans prénom¹². Un deuxième garçon prénommé Charles Henry naît le 8 avril 1807¹³ et décède deux jours plus tard le 10 avril 1807¹⁴.

Des quatre enfants du couple, seule Bérénice Henriette atteindra donc l'âge adulte. Elle se marie une première fois à Loches, le 20 octobre 1812, avec Pierre Besançon, professeur de mathématiques spéciales au lycée impérial d'Orléans. Ce dernier décède à Paris le 5 novembre 1819.

Elle se remarie le 19 juillet 1823 à Loches¹⁵ avec Auguste Alizard, âgé de 27 ans, notaire royal, né à Villers-lès-Guise département de l'Aisne, demeurant à Montmorillon dans la Vienne. Cet acte est l'occasion de constater que les parents de l'épouse sont encore vivants et présents à ce second mariage.

Henry Nicolas Pillault décède à l'âge de 76 ans, le 8 mai 1832¹⁶ à Loches, rue des Ponts où il habitait avec son épouse.

Anne Léonore Rocher (ici prénommée Éléonore) décède cinq ans plus tard, le 2 janvier 1837¹⁷, à l'âge de 65 ans, en son domicile, rue des Ponts à Loches. Le gendre, Auguste Alizard, sera l'héritier¹⁸, des biens de Anne Léonore Rocher. Il n'est pas fait mention de propriétés à Saint-Jean-Saint-Germain mais de biens immeubles à Dolus. Ceux d'Azay et Loches qu'elle avait hérité de son mari, ne figurent plus à la succession.

Si Henry Nicolas Pillault est l'auteur de notre cadran¹⁹, il l'aurait donc gravé entre 1780 et 1832...

Restauration du style

À l'origine, il s'agissait d'un style métallique, coudé au bon angle, encore partiellement présent en 1999, dont l'échancrure reste visible au bord du trou (*cf.* fig. 8(a) [page suivante](#)) entre les lignes de 8 h et 9 h là où se situe la sous-styloire. Pour fixer le nouveau style, la table a été reperçée à un diamètre de 9,5 mm sur toute son épaisseur à l'intersection approximative des lignes horaires (*cf.* fig. 8(b) [page ci-contre](#)).

Le trou débouchant sur la face ensoleillée est lamé sur une profondeur de 7 mm à une largeur de 20 mm et une longueur totale de 25 mm dans l'axe de la sous-styloire (*cf.* fig. 8(c) [page suivante](#)). Cette forme oblongue, en creux, permet au style d'affleurer la table et d'éviter le contact avec le schiste afin de garder une liberté de réglage. Le trou débouchant à l'arrière de la table est lui aussi lamé pour noyer la tête de vis de fixation de la base du style. Par prudence et pour des raisons pratiques, il a été décidé de doter le style de deux degrés de liberté angulaire. Un réglage supplémentaire de la table du cadran sera aussi possible en calant la face arrière de la plaque de schiste en appui sur le mur de façon à compenser la différence d'épaisseur.

C'est donc un style en deux parties. Une première pièce (*cf.* fig. 8(d) [page ci-contre](#)) appelée support du style dont les fonctions permettent de régler et d'immobiliser l'angle de la sous-styloire par rapport à la ligne de midi puis, une seconde pièce, qui est le style proprement dit

12. AD 37, Loches, 6NUM8, 132/005, vue 80/418.

13. Le registre des naissances à cette date n'est pas encore numérisé aux AD 37.

14. AD 37, Loches, 6NUM8, 132/005, vue 388/41.

15. AD 37, Loches, 6NUM8, 132/010, vue 106/371.

16. AD 37, Loches, 6NUM8, 132/020, vue 106/377.

17. AD 37, Loches, 6NUM8, 132/020, vue 274/377.

18. En 1790, la Révolution donne les mêmes droits à la femme qu'aux enfants de sexe masculin. En 1804, le Code Napoléon considère la femme comme mineure, sous la tutelle de ses parents ou de son conjoint.

19. Un autre graveur sur ardoise sévissait dans le lochois, 150 ans plus tôt, au début du XVII^e : Antoine de Gueldres. Il est mort à Beaulieu-lès-Loches le 17 août 1644.



FIGURE 8 – Les étapes de la restauration du style.

générateur de l'ombre, dont l'angle par rapport à la table du cadran peut-être ajusté. Les deux sont en inox.

Le style fait 311 mm (*cf.* fig. 8(e)). Sa longueur a été calculée²⁰ pour que, le 21 juin, son ombre reste inscrite dans le premier arc et ne perturbe pas la lecture des heures.

Des essais ont été pratiqués sur un support orienté à $42,60^\circ$ vers l'Est, angle entre la sous-styloire et la ligne de midi à $-32,20^\circ$ et un angle entre le style et sa sous-styloire de $30,10^\circ$ simulant ainsi le mur du manoir de La Roche, avec déclinomètre et photographies automatiques. . . L'ombre batifole un peu parmi les heures.

Restauration de la table

Il faut débarrasser la table des restes oxydés de la fixation basse du cadran. Le métal a été percé puis taraudé de façon à l'extraire délicatement sans dégât.

Après de nombreuses réflexions sur les options de fixation du cadran au mur, il est décidé de privilégier une restauration à l'identique, c'est-à-dire de garder les deux trous superposés parallèles à la ligne de midi. Ils sont alors reperçés à un diamètre de 10 mm et avec un lamage de

20. Savoie Denis, *Gnomonique moderne*, Société Astronomique de France, 1997.

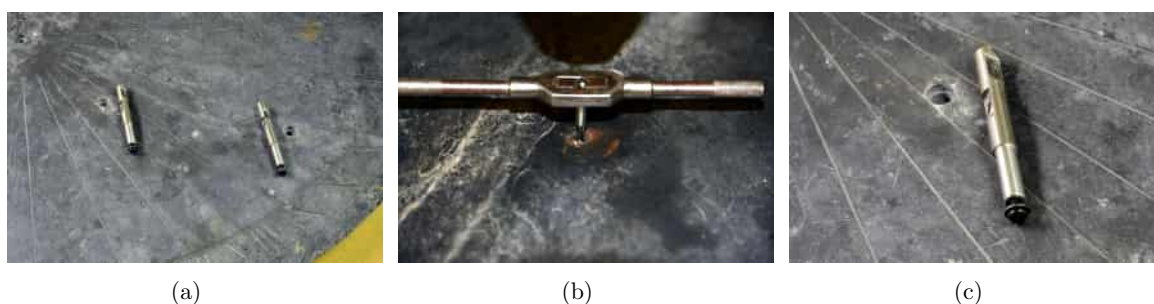


FIGURE 9 – Restauration de la table.

15 mm (profondeur 5 mm) côté soleil pour recevoir discrètement une rondelle et sa vis (*cf.* fig. 9(b) & 9(c)). Les supports sont en inox, de diamètre 12 mm, insérés de 12 cm dans le tuffeau, usinés pour rester immobiles dans un scellement chimique polyester.

Au vu de l'état de la tranche supérieure de la table du cadran, il nous a semblé utile de rendre étanche le millefeuille afin que la pluie ne s'y infiltre et gèle entre les strates. Nous avons utilisé une résine *époxy* noire et son durcisseur de la marque *Axton*. Déposée minutieusement sur la tranche, sans bavure, la résine ne se voit pas du sol.

Mise en place du cadran

Au pied du mur, nous sommes vite rattrapés par la réalité. L'emplacement choisi pour fixer le cadran est situé entre 2,5 et 3 mètres de hauteur. Ce n'est pas le même support, plan et vertical, sur lequel nous avons mesuré la déclinaison à 42,60° Est. Les circonstances ne nous permettent pas d'avoir une nouvelle mesure de la déclinaison sur ce support. L'enduit à la chaux, centenaire et irrégulier, fait que le cadran penche légèrement vers l'arrière, provoquant ainsi une inclinaison supérieure à 90°... de 2 ou 3 degrés. Subitement, nous revient alors en mémoire un écrit salvateur²¹ de Denis Savoie dont nous allons devoir nous inspirer pour lire les heures.

Pour l'anecdote, l'opération sur échafaudage nous a occupés jusqu'à midi. Après un rapide déjeuner nous avons prévu de vérifier l'exactitude de l'heure à midi solaire c'est-à-dire à 13 h 48, heure légale. Nous n'avions oublié qu'une chose : un imposant tilleul (*cf.* fig. 11 page ci-contre).

Le cadran ne sera donc éclairé que de 5 heures à 10 heures et encore, aux environs du solstice d'été. La tâche de mise à l'heure s'annoncera peut-être moins ardue dans l'art du compromis... lors d'un prochain matin ensoleillé.

Dans cette belle aventure, la ponctualité saura s'incliner devant la sauvegarde patrimoniale.

Remerciements

Nous remercions :

- Michel Magat pour la protection du cadran pendant de longues années.
- Les mairies de Chanceaux-près-Loches, Saint-Jean-Saint-Germain et Montlouis-sur-Loire pour leur accueil et leur réactivité à fournir les renseignements sur André Berthon.
- Christophe Berthon et son père pour la confirmation de la présence d'André à La Roche.

21. Savoie Denis, *Quel style polaire pour un cadran faux ?*, Cadran Info n° 32, Octobre 2015.



(a)



(b)

FIGURE 10 – Mise en place du cadran.



FIGURE 11

- Notre ami François Pineau pour avoir accepté de présenter notre travail à la Commission des Cadrans Solaires de la Société Astronomique de France.
- Brigitte et John Bullard pour leur accueil.



Streptogramme horophile à quartz. . . ou les heures hybrides¹

par Michel Derouet

Histoire de la réalisation d'un cadran solaire de temps moyen.

C'est une longue histoire. . .

Le déclic fut la lecture d'un article de Jearl Walker² dans *Pour la Science* de février 1981. Celui-ci relatait la mise au point d'un « cadran solaire analemmique » par C. Sloan à Arapahoe en Caroline du Nord. Il présentait le principe, les bases géométriques et terminait l'article en fournissant un programme en BASIC pour calculer la longueur des ombres portées. Là, surprise, une des premières équations, victime d'une malencontreuse coquille, était fautive. Elle sera corrigée quelques mois plus tard³. Il n'en fallait pas plus pour exciter la curiosité.

Sur ce même principe, je calculai alors un cadran horizontal que je publiai en 1989 dans la revue *Astro-Ciel*⁴ de Pierre Bourge, intitulé « cadran solaire analemmatique ». Il était complété par un programme en BASIC élaboré par Daniel Deneuchatel.

Cette terminologie froissa les tenants de l'orthodoxie gnomonique. C'est donc par dérision qu'il devint en 1991 *cadran à streptogramme horophile*⁵ (dessin d'entrelacs qui porte les heures) dans la revue d'*Astronomie en Touraine et Centre-Ouest*.

L'article se terminait par :

Ci-dessous figure un brouillon réalisé sur contreplaqué. Il ne reste plus maintenant qu'à le graver dans un matériau noble et durable . . .

Ce « brouillon » que je croyais perdu fut retrouvé en janvier 2019 (*cf.* fig. 1 page suivante). Trente ans plus tard, j'ai enfin tenu ma promesse (*cf.* fig. 2 page ci-contre). À l'époque, les calculs et le graphisme avaient été faits « à la main ». En 2019, j'ai voulu profiter du confort moderne en utilisant le logiciel *Shadows Pro*⁶ développé par François Blateyron.

1. Sans rapport avec le roman *L'heure hybride* de Kettly Mars. . .

2. Walker Jearl, "Cadran solaire analemmique", *Pour la Science*, p. 120–124, Février 1981.

3. Walker Jearl, "Cadran solaire analemmique", *Pour la Science*, p. 121–122, Juillet 1981.

4. Derouet Michel, Deneuchatel Daniel, *Cadran solaire analemmatique*, *Astro-ciel*, n° 23, p. 9–19 et n° 24, p. 29–31, 1989.

5. Ce nom qui se voulait joyeusement iconoclaste a été forgé avec la complicité d'un professeur tourangeau de latin–grec.

6. Blateyron François, [www.shadowspro.com]

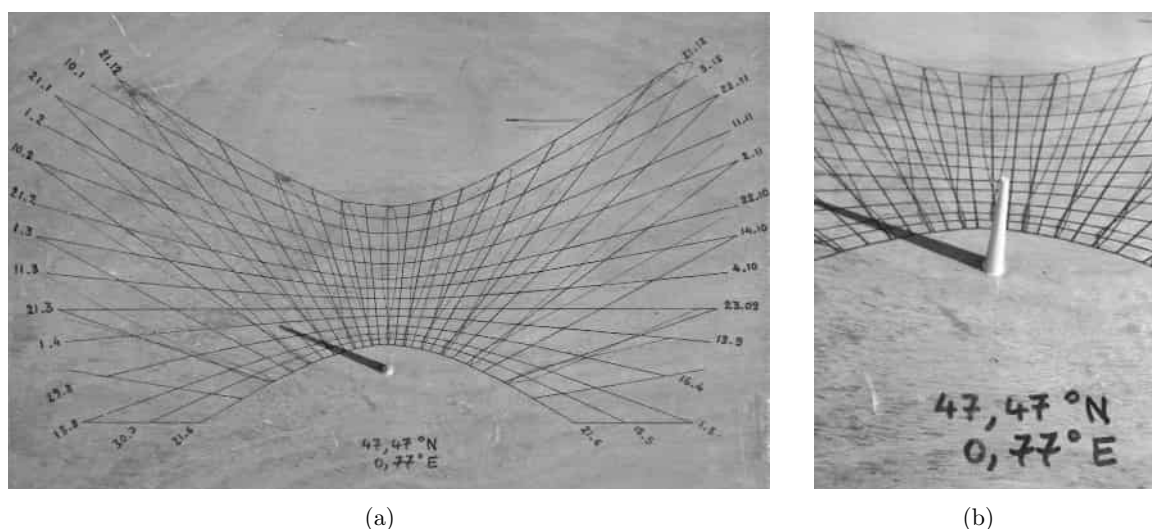


FIGURE 1 – Brouillon d'un cadran horizontal pour la revue *Astro-Ciel* (1989).

Il est maintenant possible d'introduire des fantaisies cosmétiques au graphisme du cadran et, ainsi, de raconter une histoire. J'ai choisi de le faire vertical et de ponctuer chaque heure par une fleur issue de mes hybridations de cactus.

Il sonne les heures de 8 à 16 prolongées par les fleurs des hybrides suivants qu'il est possible de retrouver par une recherche sur le forum du site *Au Cactus Francophone*⁷.

- 8 – *Cleistocactus candelilla* X *Cleistocactus winterti colademono* (n° 1782)
- 9 – *Echinopsis* cv Paul Schmitt X *Echinopsis* sp. à fleur jaune (n° 1487)
- 10 – *Echinopsis* cv Terracota X *Echinopsis* sp. à fleur jaune (n° 1751)
- 11 – *Lobivia famatimensis* X *Echinopsis spiniflora* (n° 9051)
- 12 – *Lobivia aurea* X *Echinopsis* cv Aurora (n° 1940)
- 13 – *Echinopsis* sp. à fleur jaune X *Echinopsis* cv Romance (n° 1927)
- 14 – *Echinopsis* sp. à fleur jaune X *Echinopsis* cv Nelissa (n° 1938)
- 15 – *Cleistocactus smaragdiflorus* X *Lobivia pugionacantha* (n° 9043)
- 16 – *Lobivia backbergiana* X *Matucana madisoniorum* (n° 1856)

et le soleil au-dessus du style : *Echinopsis oxygona* X *Trichocereus huascha* (n° 9011).

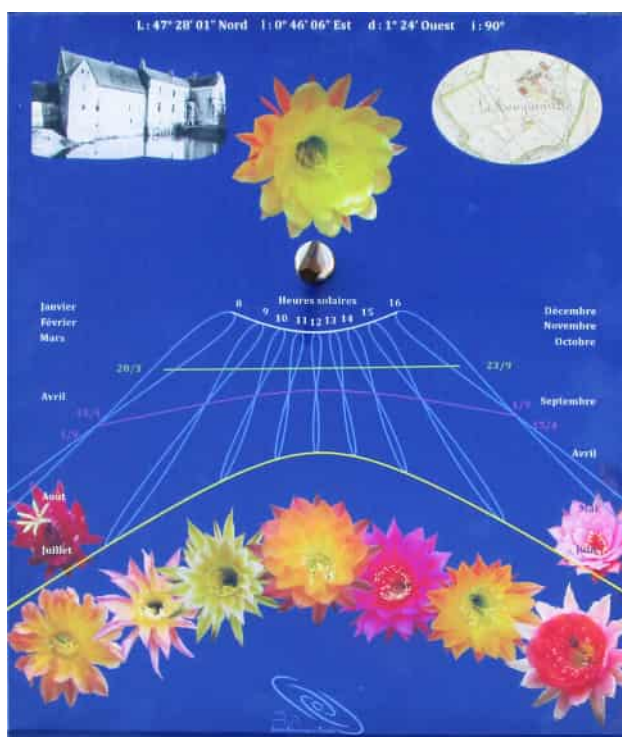


FIGURE 2 – Cadran solaire réalisé à l'aide du logiciel Shadows Pro.

7. *Au Cactus Francophone* : <https://www.cactuspro.com/forum/list.php?1>.

Le support est une tôle en inox de 58 × 50 cm, trouvée chez un ferrailleur local mais le capot d'une gazinière aurait très bien pu faire l'affaire. . . Le carrossier du cru a d'abord passé un primaire d'accrochage « tous métaux » puis une couche blanche polyester bi-composants.

Un imprimeur de Tours a fait le reste avec une impression jet d'encre puis une laque anti-UV.

Puisqu'on était parti dans la légèreté et pour être dans le vent de la mouvance horlogère, il fallait en faire un cadran solaire à quartz. Le cristal avait été acheté dans les années 80, il y a donc préméditation. . . Il s'agit d'un quartz fumé ou plus vraisemblablement « enfumé », c'est-à-dire un cristal de roche teinté par irradiation artificielle. Après l'avoir enchâssé dans un support, il a été scié au bon angle et à la bonne dimension par un gemmologue local. Ensuite, il fut collé⁸ sur un aimant néodyme (force 30 kg), lequel est retenu par le même aimant de l'autre côté de la plaque en inox⁹.



(a)



(b)

FIGURE 3 – Style polaire en quartz.

Le dessin donne l'heure, qu'on devine solaire (fig. 4 page suivante). Elle se lit à la pointe de l'ombre projetée par le quartz, d'un côté ou de l'autre des courbes en 8, selon la date dont le séparateur est la courbe fuchsia. La droite verte signale les équinoxes de printemps et d'automne. En gris le solstice d'hiver et en jaune le solstice d'été. Ce cadran est donc corrigé de l'équation du temps, de l'écart au méridien et de la déclinaison du mur.

Remerciements

- Martin Le Moal de la Société Astronomique de Touraine pour sa contribution aux premiers calculs du cadran horizontal.
- Daniel Deneuchatel de la Société Astronomique de Touraine pour le programme en BASIC publié dans Astro-Ciel.
- Patrick Saint-Léger, *L'empreinte des Temps*, minéraux et fossiles, Rue Colbert à Tours dans les années 80, pour le quartz.
- Jean-Louis Gouzien de la Société Astronomique de Touraine et Thomas Le Blanc pour la découpe du cristal de quartz.

8. *Reparax* (colle forte + poudre) pour faire l'accroche sur l'aimant et sur le quartz puis *Araldite* entre les deux.

9. L'inox est un matériau dont la susceptibilité magnétique est faible.

Affichage numérique d'informations horaires à partir des signaux GPS — Application et comparaison avec un cadran solaire

par Christian Druon

Réalisation d'un dispositif électronique permettant l'affichage de l'heure solaire vraie locale en utilisant un module GPS. Application et comparaison avec un cadran solaire.

1 Objectif

Le but de ce projet est la réalisation d'un dispositif électronique permettant l'affichage de l'heure solaire vraie locale en utilisant un module GPS. Ce dernier capte les signaux des satellites et fournit diverses informations, en particulier l'heure UT (temps Universel) toutes les secondes. L'avantage est procuré par la stabilité de l'heure obtenue qui est excellente puisqu'elle est calée sur celle fournie par l'horloge atomique. Le système fonctionne quelle que soit la longitude et il ne nécessite pas de connexion internet. De plus il est possible d'afficher des informations supplémentaires comme l'heure TS (Temps Sidéral) et l'équation du temps qui intéressent les gnomonistes.

2 Réalisation d'un système de réception et d'affichages d'informations horaires à partir d'un module GPS

2.1 Le module GPS

Le module utilisé peut se procurer sur internet à un prix dérisoire compte tenu de ses performances. Il contient un circuit intégré spécifique (U-Blox — NEO-M8) qui détecte les signaux GPS et fournit toutes les secondes de nombreuses informations comme :

- la date (jour, mois, année) ;
- l'heure UT (heure, minute, seconde, centième de seconde) ;
- la longitude du lieu ;
- la latitude du lieu ;

- le nombre de satellites utilisés par le module ;
- l'altitude du lieu ;
- la vitesse de déplacement.

Ce module comporte une antenne active de type *résonateur diélectrique* reliée à la carte GPS par un mini câble coaxial. La figure 1 montre ce module GPS.

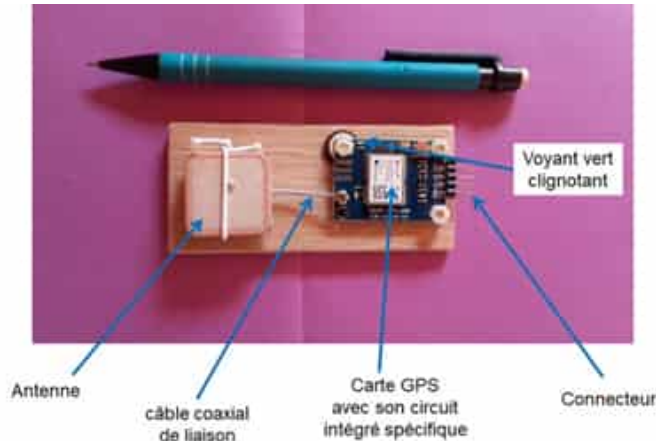


FIGURE 1 – Photo du module GPS avec son antenne.

Le connecteur comporte 4 broches pour alimenter le module et assurer le transfert des informations. La figure 2 donne un schéma synoptique du module.

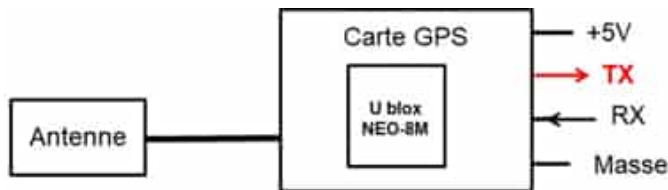


FIGURE 2 – Schéma synoptique du module GPS.

La carte est alimentée en +5 V. Les informations sont disponibles sous forme de signaux série (type liaison RS232). En particulier la sortie TX envoie les informations au circuit utilisateur.

2.2 Exploitation des informations utiles

Pour extraire les informations utiles (heure UT, date, longitude) une carte ARDUINO et un afficheur LCD sont utilisés.

2.2.1 La carte Arduino.

Il s'agit d'une carte de type DUE qui comporte :

- une mini fiche USB pour la programmation et l'alimentation en 5 V,
- des connexions RX et TX pour la liaison avec le module *GPS*,
- une connexion de type I2C pour la liaison avec l'afficheur.

2.2.2 L'afficheur LCD

L'afficheur à cristaux liquides choisi présente :

- 4 lignes de 20 caractères,

— une liaison de type I2C qui a l'avantage de ne nécessiter que 4 fils de liaison (2 pour l'alimentation et 2 pour le transfert des données).

La figure 3 montre ces 3 composants avec les liaisons.

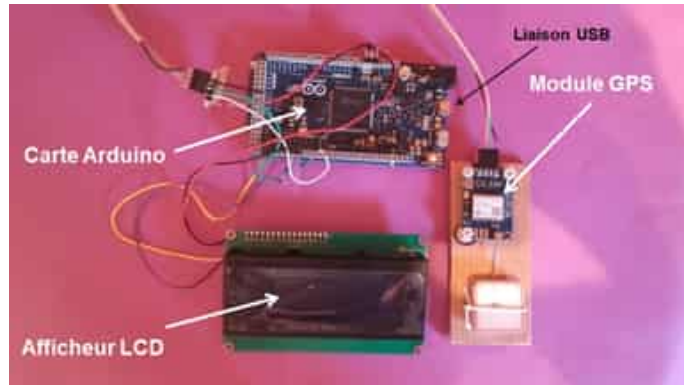


FIGURE 3 – Le module GPS, la carte Arduino, l'afficheur et les liaisons.

2.3 La programmation de la carte Arduino

La programmation s'effectue avec un ordinateur PC grâce à la liaison USB en langage C/C++. Lorsque la programmation est terminée, on enlève la liaison avec le PC et le système est autonome. La figure 4 donne l'organigramme des étapes de traitement des données.

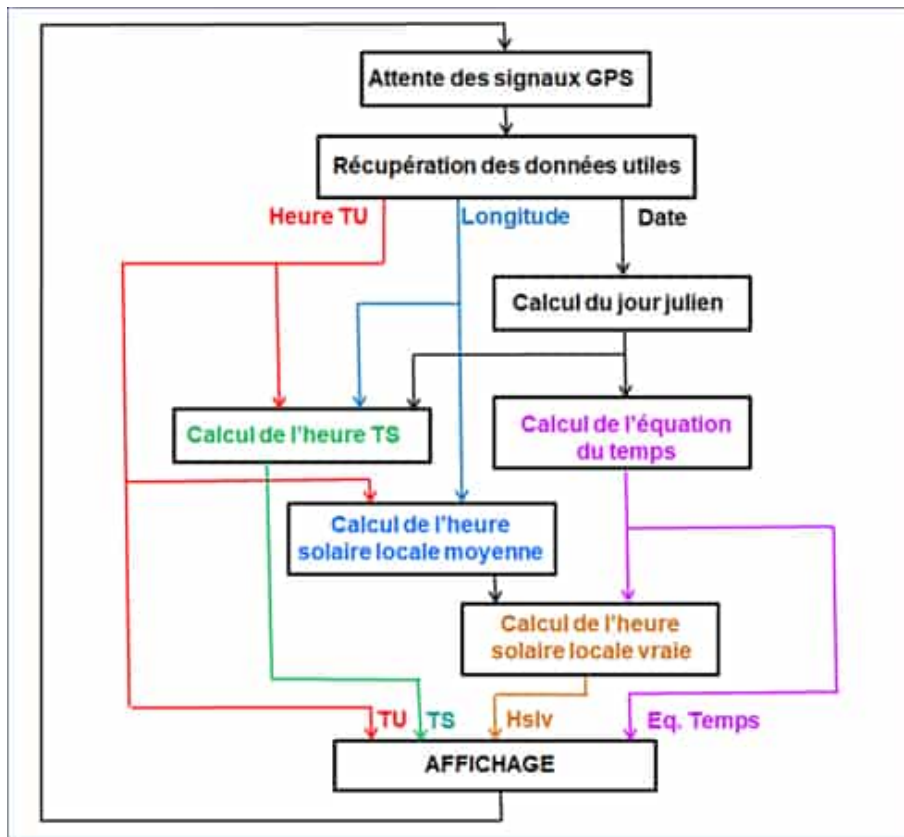


FIGURE 4 – Organigramme du traitement des données.

À partir de la date, on calcule le jour julien. L'heure TS est calculée à l'aide de l'heure UT, de la longitude et du jour julien. L'équation du temps est obtenue à partir du jour julien. On utilise la longitude et l'heure UT pour calculer l'heure solaire locale moyenne. Enfin, l'heure solaire vraie locale est calculée à partir de l'heure solaire locale moyenne et de l'équation du temps.

La figure 5 montre un exemple d'affichage de ces informations.



FIGURE 5 – Exemple d'affichage des heures UT, **FIGURE 6** – Photo montrant la réalisation finale. TS, de l'heure solaire vraie locale et de l'équation du temps.

La figure 6 est une photo du système mis en boîte.

2.4 Caractéristiques

2.4.1 Avantages et inconvénients

Ce système ne comporte aucun bouton et n'a besoin d'aucun réglage. Il démarre automatiquement dès que le module a détecté au moins 4 satellites. En cas de coupure de courant, le système redémarre dès que le courant est revenu.

Il nécessite la réception des signaux satellites, donc il fonctionne dans la plupart des situations. Il peut toutefois ne pas fonctionner dans certains immeubles faisant « cage de Faraday ».

Il a été testé pour différentes longitudes par exemple pour des longitudes est (région lilloise) et longitudes ouest (Bretagne).

2.4.2 Stabilité et précision

L'heure UT est calée sur celle des horloges atomiques (Rubidium) dont la stabilité relative est de 10^{-13} soit une dérive de 1 s sur 300 millénaires.

La précision de lecture est inférieure à la seconde puisque le système calcule et affiche dès qu'il reçoit le signal GPS toutes les secondes.

3 Application lors de l'équinoxe d'automne et comparaison avec un cadran solaire

3.1 Application lors de l'équinoxe d'automne 2019

L'équinoxe a eu lieu le 23 septembre 2019 à 7 h 50min 12 s UT (source IMCCE). Cet équinoxe correspond à une situation qui ne se produit qu'une seule fois dans l'année. En effet, à cet instant précis, *les heures locales solaires vraies et sidérales sont identiques*.

Il était particulièrement intéressant de repérer cet événement sur l'afficheur. Au lieu d'observation (Villeneuve d'Ascq) la longitude est de 3° 8' 46" E, soit un écart en temps de 12 min 36 s. L'équation du temps était de -7 min 32 s.

On en déduit qu'à 7 h 50 min 12 s UT, l'afficheur devait indiquer pour les heures locales solaires et sidérales :

$$7 \text{ h } 50 \text{ min } 12 \text{ s} + 12 \text{ min } 36 \text{ s} + 7 \text{ min } 32 \text{ s} = 8 \text{ h } 10 \text{ min } 20 \text{ s}$$

La figure 7 montre un affichage obtenu à un instant très proche de l'équinoxe.



FIGURE 7 – Affichage obtenu à 7 h 50 min 29 s UT.

Avec les données précédentes on aurait dû lire TS = Hsol = 08 : 10 : 37.

On obtient un accord à 3 s près ce qui semble tout à fait acceptable.

3.2 Comparaison avec un cadran solaire

La figure 8 est une photo de la maquette d'un cadran solaire de temps sidéral que j'ai réalisée et qui a fait l'objet d'un exposé à Grenoble en 2015 (voir Cadran Info n° 32 – 2015).

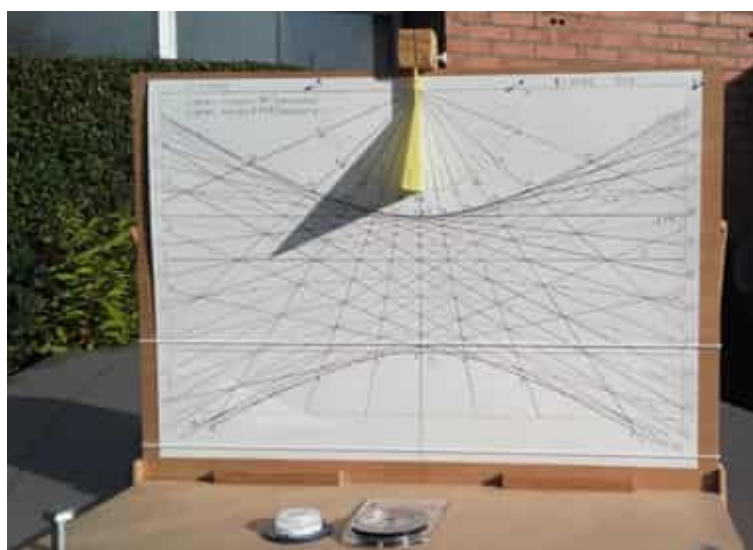


FIGURE 8 – Maquette d'un cadran solaire donnant les heures locales solaires vraies et sidérales.

Lors de l'équinoxe d'automne, on remarque que la pointe de l'ombre du style tombe bien sur la droite des équinoxes.

La figure 9 donne un agrandissement de la zone de la table autour de la pointe de cette ombre. On peut ainsi faire plus facilement la lecture des heures. On relève :

- heure solaire vraie locale : environ 8 h 20 min
- heure sidérale locale : environ 8 h 20 min. Cette lecture se fait par interpolation entre les lignes horaires sidérales bleues (2^e semestre) 8 h et 9 h.

Là aussi on obtient un bon accord compte-tenu de la précision de lecture sur un cadran solaire de cette taille.

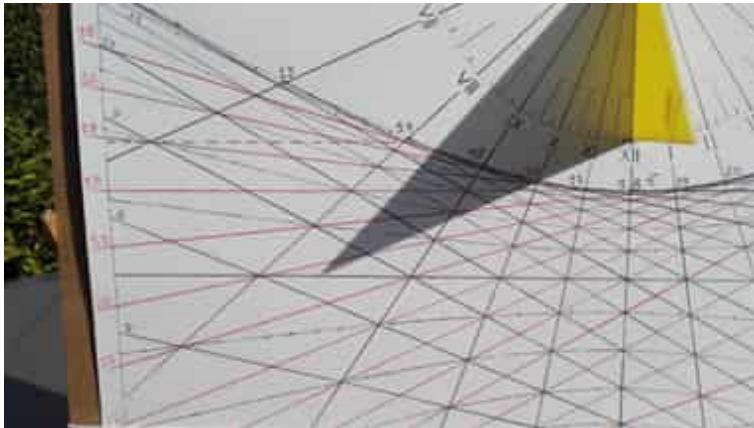


FIGURE 9 – Agrandissement sur la pointe de l’ombre pour une meilleure lecture des heures.

4 Conclusion

Le système proposé demande peu de composants. Les liaisons entre composants sont directes sans nécessiter d’électronique d’interface. Il ne demande aucun calibrage et il n’y a pas de bouton de réglage. Il démarre automatiquement dès qu’il détecte les satellites.

Il fonctionne quelle que soit la longitude (est ou ouest). L’heure UT obtenue est très stable puisqu’elle est calée sur celle de l’horloge atomique. La précision de lecture est inférieure à la seconde puisque le système est rafraîchi toutes les secondes. Les seuls cas de non fonctionnement concernent les lieux où les signaux GPS ne sont pas reçus.

Enfin, le système est évolutif puisqu’on peut, en modifiant la programmation, afficher bien d’autres informations comme la date, le jour julien, la latitude, la longitude, la déclinaison du Soleil...

En annexe de la version numérique,

vous trouverez le fichier programme prêt à l’emploi ¹ :

- Code_GPS_Arduino.txt



1. Le logiciel pour Arduino est à télécharger et à installer sur PC (ou sur Mac ou sur Linux). À partir de cette plateforme, et après avoir connecté la carte via le câble de liaison au PC (prendre le NATIVE USB PORT de la carte), on peut téléverser le programme (`sketch_feb05a.ino`) dans la carte Arduino DUE, puis ensuite la déconnecter. Le matériel est alors autonome, prêt à fonctionner. Une autre version du programme est proposée en utilisant la formule de J. Meeus (relation (28.3) p. 185 de la dernière version anglaise de l’ouvrage) et en utilisant une meilleure précision dans les longitude moyenne et anomalie moyenne du Soleil, puis dans l’excentricité de l’orbite terrestre et l’obliquité de l’écliptique. Le programme est intitulé : `sketch_mars_nouveau.ino`

Cadran de hauteur et heures légales

par Henri Gagnaire¹ & Paul Gagnaire

Cet article concerne deux cadrans de hauteur pour lesquels sont tracés des abaquages afin qu'ils indiquent l'heure en Temps Universel. Le premier est le cadran de Jamnitzer déjà présenté dans un article de Cadran Info. Le deuxième est une adaptation du cadran de berger. Deux maquettes de démonstration sont présentées, simples à réaliser à notre époque où l'ordinateur permet aisément de tracer des courbes. L'article est suivi d'annexes explicatives.

1 Cadran de hauteur de Jamnitzer

Les cadrans de hauteur sont généralement construits pour indiquer les heures solaires et parfois les heures temporaires ([1] et annexe 3.1). Cependant, pour un cadran de berger (voir annexe 3.2), l'association Méridienne de Nantes a proposé un tracé où figurent les heures Temps Universel (UT — voir annexe 3.3). Le diagramme enroulé autour du cylindre ne présente qu'une seule face où sont tracées les lignes des heures du matin et celles des heures de l'après-midi [2]. La lecture est assez difficile car les lignes sur le diagramme sont très proches.

Un article récent de Cadran Info décrit un disque en laiton massif réalisé par l'orfèvre allemand Wenzel Jamnitzer [4]. Son instrument comprend, entre autres, un cadran de hauteur pour les heures solaires qui est mis en évidence sur la figure 1 page suivante.

Un petit style droit perpendiculaire au disque vertical projette son ombre sur la surface de celui-ci. Lors de la lecture de l'heure, le disque doit être orienté afin d'être placé dans le plan vertical contenant le Soleil (on éclaire sa tranche). L'ombre du style recouvre toujours le diagramme gravé sur le disque. Celui-là est un abaque qui comporte des cercles concentriques centrés sur le style, chacun d'entre eux correspondant à une déclinaison du Soleil. Le plus petit cercle correspond au solstice d'hiver tandis que le plus grand est relatif au solstice d'été. Sur chaque cercle sont marquées les différentes heures. Enfin, toutes les marques relatives à une heure donnée sont reliées entre elles pour dessiner une ligne continue des heures.

1. Association Cherche Midi 42 .

En général, sur un cadran de hauteur et c'est le cas pour le cadran gravé par Jamnitzer, l'échelle des dates est repliée puisque à la même déclinaison correspondent deux dates dans l'année.

D'autre part, dans une journée, la hauteur du Soleil prend la même valeur pour des heures solaires symétriques par rapport à midi. Il est donc possible de tracer, sur une toute petite surface, un diagramme qui convient pour toutes les dates et toutes les heures de l'année.

La conception du cadran de Jamnitzer permet facilement d'indiquer les heures UT. Pour celles-ci interviennent d'une part l'équation du temps et d'autre part la longitude du lieu. On ne peut plus alors replier l'échelle des dates puisque, pour les deux jours qui ont la même déclinaison du Soleil, les valeurs de l'équation du temps sont différentes. D'autre part, la hauteur du Soleil n'est pas la même pour deux heures symétriques par rapport à 12 h UT. Il faut donc dessiner quatre cadrans différents, donc disposer d'une surface environ quatre fois plus vaste. Sur une face du disque vertical (ou de toute autre surface verticale), on peut effectuer le tracé pour le semestre Hiver-Printemps et sur l'autre face, le tracé pour le semestre Été-Automne. Sur chaque face, on doit trouver un diagramme pour les heures du matin et un autre pour les heures de l'après-midi. Ces deux diagrammes sont situés de part et d'autre du style droit qui traverse alors la surface du dispositif.



FIGURE 1 – Face gnomonique du disque de Jamnitzer (1578).

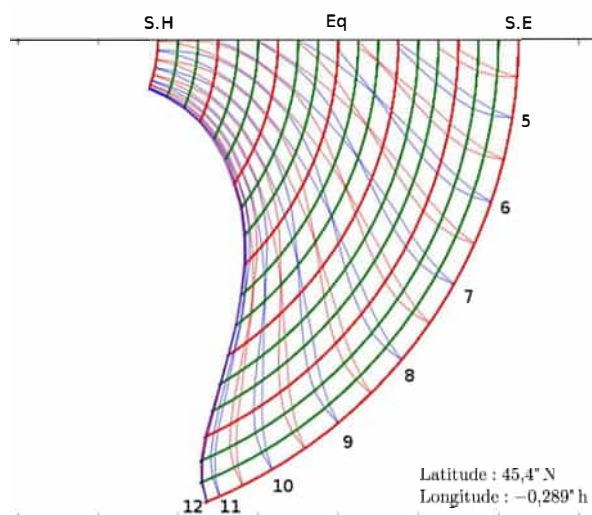


FIGURE 2 – Diagramme des heures du matin pour toute l'année.

entre le matin et l'après-midi. C'est vraiment un cadran de poursuite.

La figure 5 page ci-contre donne le schéma d'une maquette de démonstration. Celle-ci ne procure l'heure correcte que pour la longitude pour laquelle le tracé a été calculé. La planchette

Pour montrer le bien-fondé du tracé des quatre cadrans, on a superposé, sur la figure 2, les diagrammes des heures du matin des deux semestres. Si on reconnaît bien la courbe en huit pour chaque heure, le tracé est suffisamment « touffu » pour rendre difficile une lecture de l'heure.

Les tracés de chaque face sont donnés sur les figures 3 et 4 page suivante. On doit considérer l'intersection de l'ombre du style avec le cercle des dates qui convient et sur ce cercle, on fait l'interpolation pour connaître l'heure. Il ne reste plus qu'à ajouter le décalage administratif en vigueur pour connaître l'heure de la montre.

Quelle que soit la saison, le disque doit être dans le plan vertical contenant le Soleil, mais il faut le retourner « face pour face »

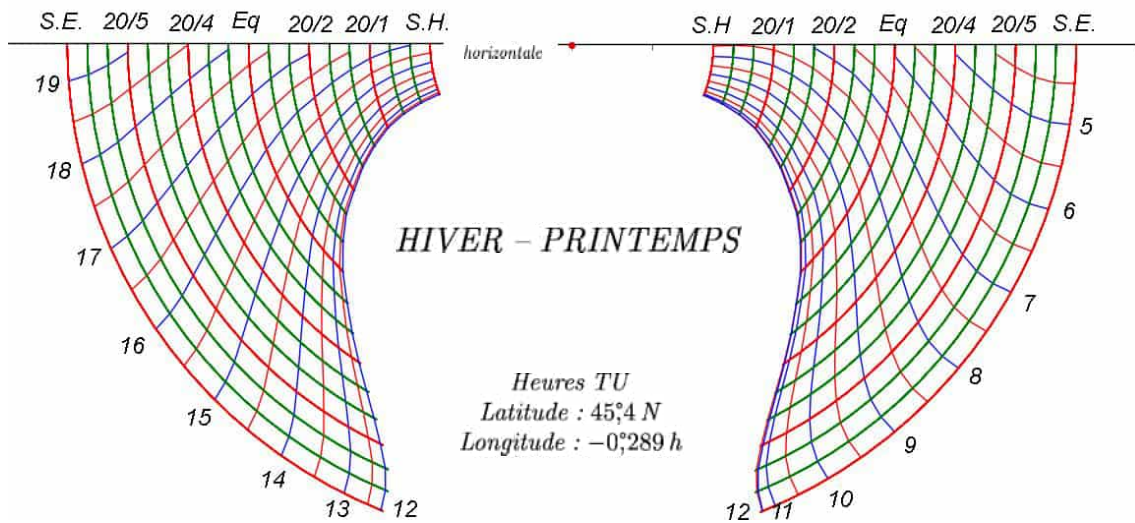


FIGURE 3 – Diagramme des heures pour le premier semestre.

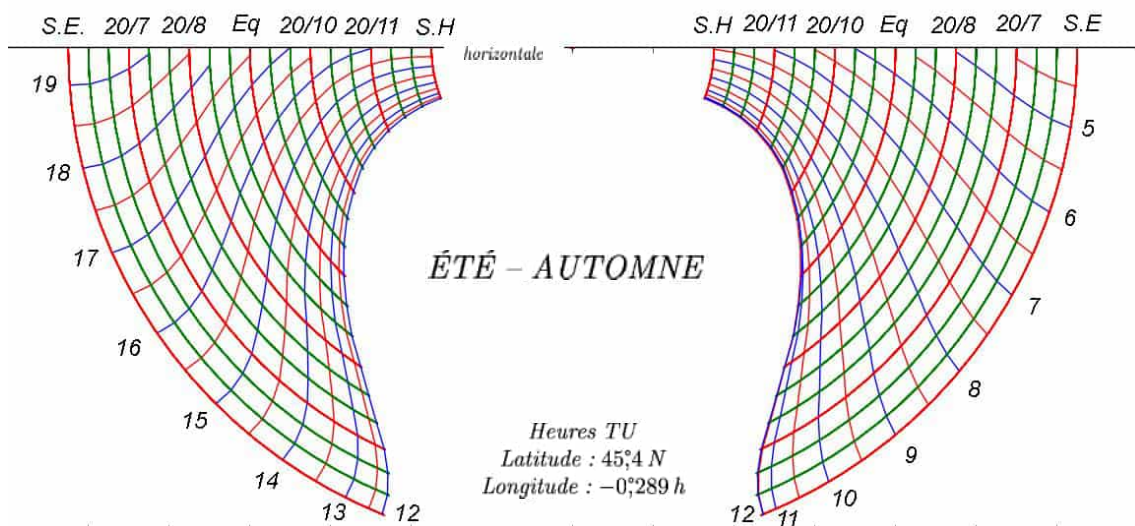


FIGURE 4 – Diagramme des heures pour le second semestre.

porte-diagramme, de forme rectangulaire et non circulaire, est mobile autour d'un axe horizontal afin que la ligne supérieure du diagramme puisse être réglée bien horizontalement quel que soit le support sur lequel est posée la maquette. Le gnomon est une épingle de couturière qui permet de projeter une ombre très fine.

La figure 6 page suivante montre un essai effectué le 4 février 2020 à 11 h 10 min de la montre [5]. Le petit cercle rouge tangent aux lignes des dates du 1^{er} et du 10 février montre que l'ombre de l'aiguille indique qu'il est un peu plus de 10 h UT, ce qui est correct puisque l'essai a été effectué en période d'hiver.

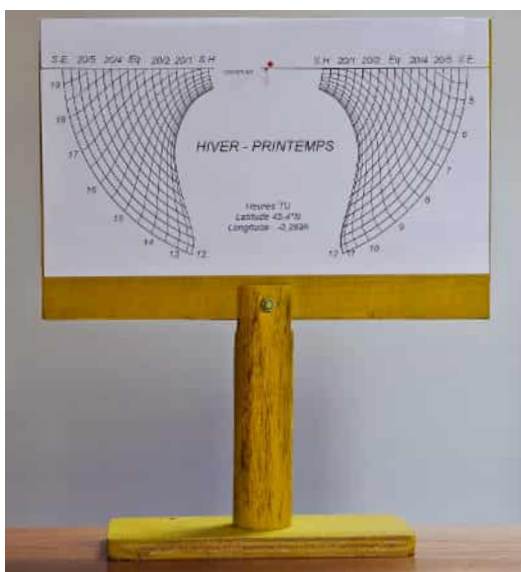


FIGURE 5 – Maquette de démonstration.



FIGURE 6 – Essai.

Sur l’abaque d’un cadran de hauteur, il faut faire une double interpolation. Il faut lire entre les lignes des dates pour choisir celle qui convient et il faut lire entre deux lignes des heures pour connaître l’heure du moment de l’observation. Ceci est plus difficile à faire l’hiver que l’été et ne donne pas un résultat très précis.

2 Cadran de berger plan



FIGURE 7 – Cadran de hauteur avec diagramme du cadran de berger déroulé sur un plan.

Il est possible de dérouler le diagramme du cadran de berger (voir annexe 3.2) et de faire un cadran de hauteur tel celui présenté au Musée de la Vie Wallonne [3] et montré sur la figure 7. - Sur le diagramme, l’échelle des dates est repliée, la région près de l’axe correspond à la saison d’été. Une seule ligne des heures correspond aux heures solaires symétriques par rapport à midi. Un petit style en lame de couteau, perpendiculaire au diagramme doit être déplacé le long du bord supérieur du dispositif pour être en face de la date du jour. Il faut faire pivoter le dispositif afin d’obtenir une ombre du style très fine et on peut alors lire l’heure.

Cet instrument a une table plane. Cela offre la possibilité d’indiquer les heures UT car les deux faces peuvent accueillir, l’une le tracé des heures du matin et l’autre celui des heures de l’après-midi sur un diagramme où l’échelle des dates est dépliée.

La figure 8 page suivante montre le diagramme pour les heures du matin pour la latitude de 45,4° N et une longitude égale à -0,289 h. Pour chaque date, la longueur de l’ombre est égale au produit $L \tan h$ où L et h sont respectivement la longueur du gnomon et la hauteur du Soleil. À midi solaire, au solstice l’été,

la hauteur du Soleil est voisine de 68° , angle dont la tangente est égale à 2,47. À la même heure, au solstice d’hiver, la hauteur du Soleil est d’environ 21° , angle dont la tangente est égale à 0,38. Le rapport un peu supérieur à 6 entre les valeurs des tangentes explique le minimum très prononcé pour le solstice d’été dans la ligne horaire 12. On constate également qu’il est très difficile de connaître l’heure au voisinage du solstice d’hiver.

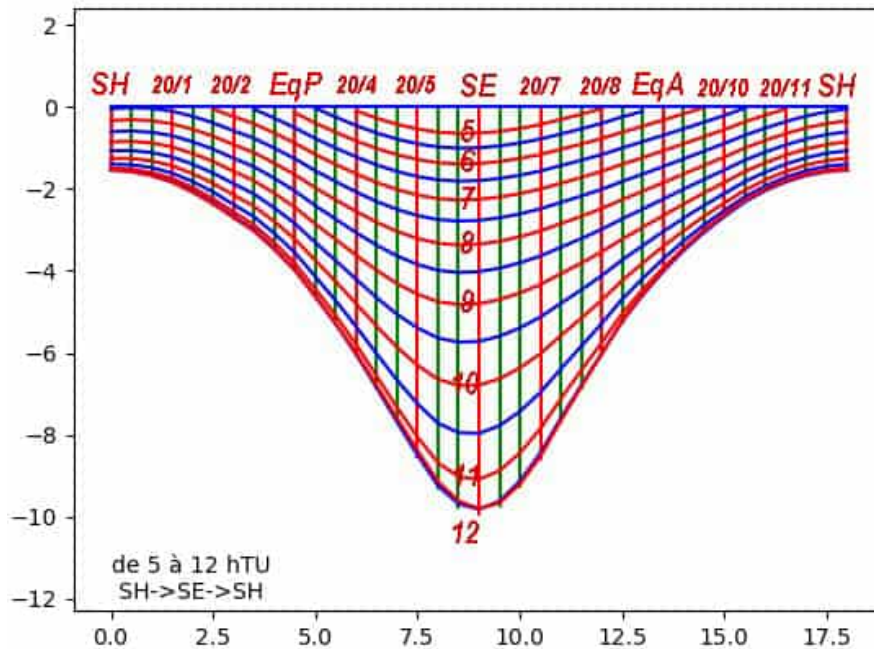


FIGURE 8 – Diagramme des heures du matin — longueur du style : $L = 4$ unités de longueur.

Pour remédier à ce dernier inconvénient, on pourrait remplacer le style mobile, de longueur fixe par un grand nombre de styles fixes, de longueur différente, maximale pour le solstice d’hiver et minimale pour le solstice d’été. Ainsi la distance entre les lignes horaires serait augmentée autour du solstice d’hiver sans qu’elle soit diminuée pour le solstice d’été.

En fait, plutôt qu’une multitude de styles fixes, il est plus judicieux de fixer une plaquette rigide, perpendiculaire à la table qui supporte le diagramme, donc horizontale, et de même longueur que lui. La plaquette simule ainsi une infinité de styles. La figure 9 page ci-contre montre la forme doublement trapézoïdale, facilement réalisable, que l’on peut choisir pour cette plaquette. Sa largeur varie du simple (solstice d’été) au double (solstice d’hiver).

Le diagramme qui doit être fixé sur la table verticale est alors celui montré sur la figure 10 page suivante. Il mérite quelques explications. Au solstice d’été, quelle que soit l’heure, la longueur de l’ombre est la même que dans le diagramme précédent car la largeur de la plaquette est égale à la longueur du style ($L = 4$ unités de longueur). Le diagramme ne présente plus un minimum unique mais deux minima à des dates qui diffèrent d’environ 20 jours du solstice d’été. Ceci s’explique assez facilement. La longueur de l’ombre est toujours égale à $L \tan h$ où L désigne maintenant la largeur de la plaquette. Cette largeur varie avec la déclinaison comme $\tan h$ et le produit $L(\delta) \tan h(\delta)$ n’est pas minimal pour le maximum de déclinaison.

Enfin, la distance entre les lignes horaires autour du solstice d’hiver est multipliée par deux par rapport au premier diagramme car la largeur de la plaquette est le double de la longueur du style.

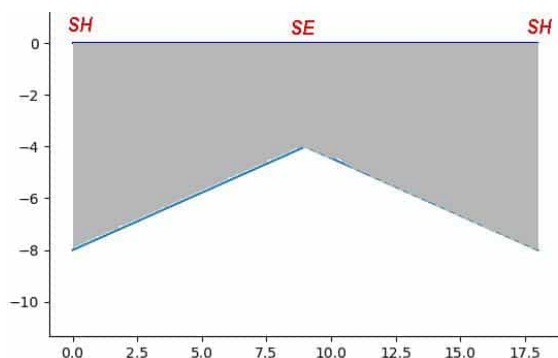


FIGURE 9 – Plaquette remplaçant le style.

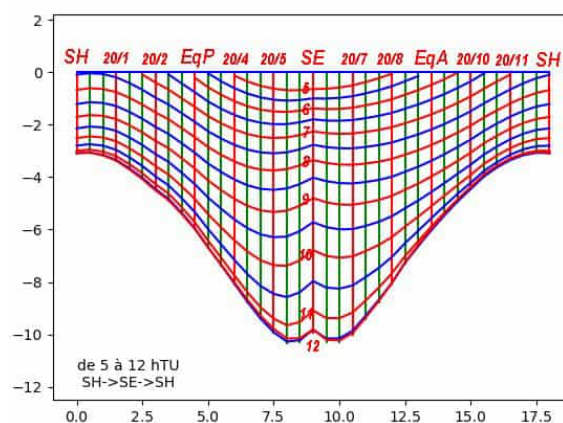


FIGURE 10 – Diagramme des heures du matin — avec la plaquette de la figure 9.

La maquette de démonstration qui a été réalisée est montrée sur la figure 11 page suivante. La plaquette porte-ombre est réalisée dans un carton fort, utilisé pour confectionner les passe-partout d’encadrement. Les découpes linéaires sont faciles à réaliser. La table est une planchette de bois que l’on peut orienter facilement si on dispose d’un support bien horizontal. Pour cette réalisation, dix unités de longueur valent 127 mm.

Pour faire une lecture, il faut que la table soit parfaitement en face du Soleil. Le réglage est facile à réaliser. Il suffit que les ombres des bords de la plaquette supérieure soient alignées avec les lignes verticales correspondant aux solstices d’hiver. On peut alors lire l’heure sur l’intersection de l’ombre du bord de la plaquette avec la ligne verticale correspondant à la date du jour. Cette intersection a été matérialisée par le point rouge sur la photographie de la figure 11 page suivante. La photographie a été prise le 21 février à environ 11 h, heure légale. Le cadran indique qu’il est 10 h, heure temps universel.

Références

- [1] Jean-Michel Ansel, Henri Gagnaire & Paul Gagnaire : *Le cadran cylindrique de hauteur de G. Brentel (Cylinder solaris concavus – 1615)*, Cadran Info n° 36, octobre 2017, pp. 30–54.
- [2] www.meridienne.org/index.php?page=berger.calculs.
- [3] www.provincedeliege.be/fr/viewallonne.
- [4] Denis Savoie : *Le cadran solaire de hauteur de Wenzel Jamnitzer de l’Observatoire de Paris*, Cadran Info n° 36, octobre 2017, pp. 136–151.
- [5] La photographie a été réalisée grâce à l’application gratuite Gnomonic-Photo pour Android (auteur C. Busto). Les indications en rouge se superposent automatiquement à la photographie. Si elles apparaissent penchées, c’est que le photographe maladroit a été obligé de faire pivoter la photographie en « post-traitement ».

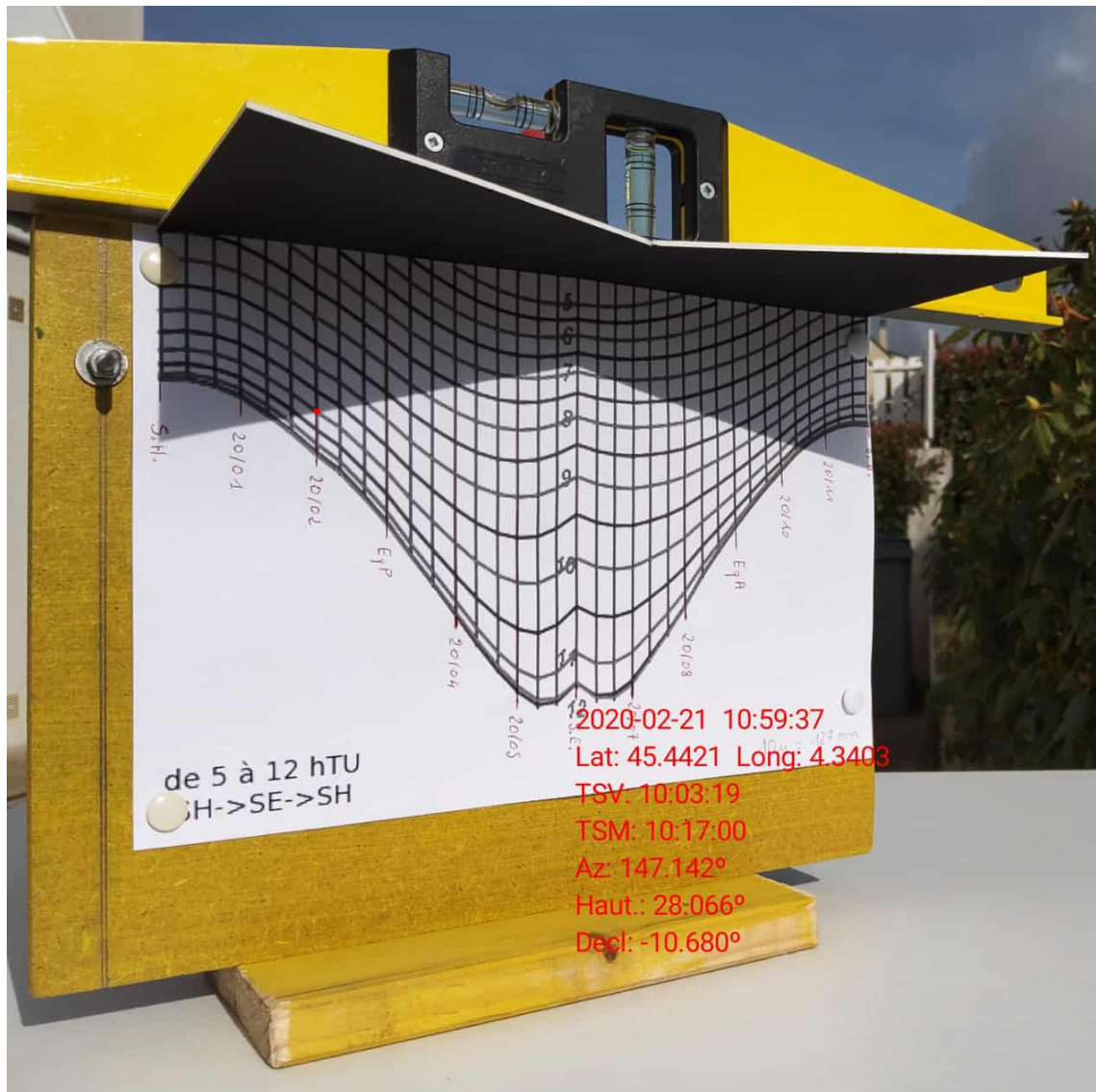


FIGURE 11 – Maquette du cadran de berger plan.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. Denis Savoie dont l'article sur le cadran de Jamnitzer leur a donné l'idée de cette petite étude. Merci également pour son autorisation de reproduire l'image de la figure 1 page 61.

3 Annexes

3.1 Heures temporaires

Le système de mesure du temps par les heures temporaires, dites aussi inégales, antiques, saisonnières, bibliques, judaïques, romaines, repose sur la prise en compte du lever et du coucher du Soleil, afin d'établir un décompte séparé pour le jour et pour la nuit. La période de jour

s'étend du lever au coucher du Soleil ; l'heure temporaire est la douzième partie de cette durée. La période de nuit s'étend du coucher au lever du Soleil ; l'heure temporaire de nuit est la douzième partie de cette durée. Les heures temporaires ne sont pas des instants, mais des durées, aussi on ne numérote pas les lignes, mais les intervalles entre les lignes ; celles-ci balisent l'achèvement des durées.

Sauf les jours d'équinoxes, l'heure temporaire de nuit n'est jamais égale à l'heure temporaire de jour et leurs divergences extrêmes dépendent de la latitude. À la latitude 49° Nord, pour prendre un exemple limpide, le jour solsticial d'été dure 16 heures et le jour solsticial d'hiver seulement 8 heures. Le premier engendre donc une heure temporaire de 80 minutes, tandis que le second n'arrive qu'à 40 minutes. L'écart va donc du simple au double. Évidemment, les heures de nuit évoluent de la même façon, mais symétriquement. Ce n'est qu'aux jours d'équinoxes que l'heure de jour et l'heure de nuit sont égales, chacune valant 60 minutes [1].

Cette première remarque peut être illustrée par le dessin du cadran solaire méridional à la latitude 49°. On voit bien que les lignes d'heures temporaires et celles de temps vrai se coupent sur l'équinoxiale atteinte par l'ombre de l'extrémité du style droit. Ce point porte-ombre peut, également, être l'extrémité du style polaire, si elle est aussi celle du style droit qui y aboutit. On notera, en outre, que les lignes d'heures temporaires ne convergent pas au pied du style droit. La ligne temporaire 6 se superpose à la ligne de midi vrai ; toutes les deux, en effet, marquent le milieu du jour clair, quelle qu'en soit la durée.

De tout cela on tire la conclusion que, sur le cadran solaire, les lignes d'heures temporaires ne peuvent être activées qu'entre les deux arcs solsticiaux ; il serait donc fautif de leur faire outrepasser ces deux bornes.

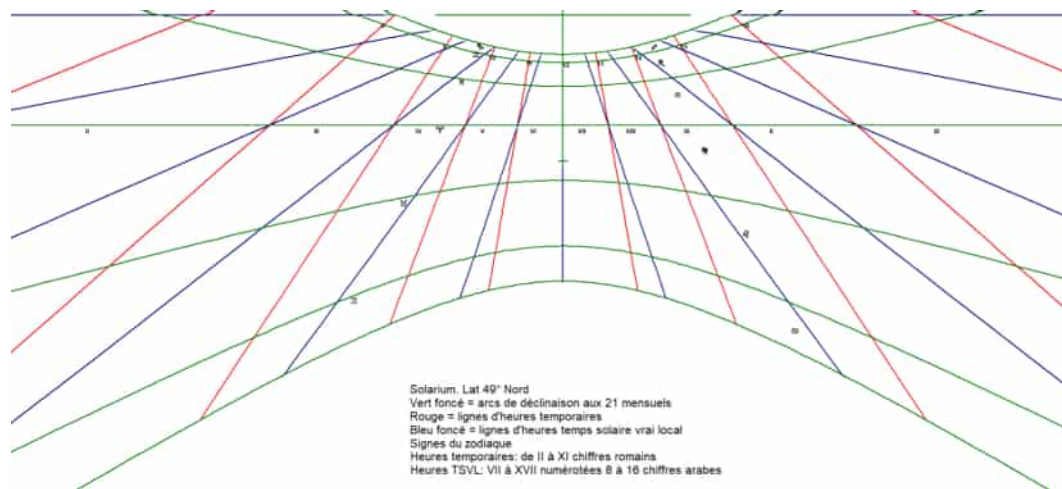


FIGURE 12 – Heures solaires et heures temporaires sur un cadran horizontal.

Par facilité, on considère souvent, et on écrit, que les lignes des heures temporaires tracées sur un cadran solaire plan, sont des droites, ce qui est faux, mais ne se voit qu'aux latitudes un peu élevées où leurs courbures deviennent manifestes [2]. Sur le graphique de la figure 13 page suivante, on aperçoit le début de cette inflexion dès la latitude 45°.

L'emploi des heures temporaires a été général, depuis les Babyloniens jusqu'à la Renaissance, avec, cependant, deux autres pratiques largement utilisées : dans l'armée romaine, la nuit était toujours divisée en quatre « veilles » dont la deuxième se terminait à minuit ; pour la vie religieuse on recourait au cadran canonial. De nos jours encore, on trace les heures temporaires sur les cadrans solaires de toutes surfaces, pour des fins pédagogiques ou esthétiques et rares

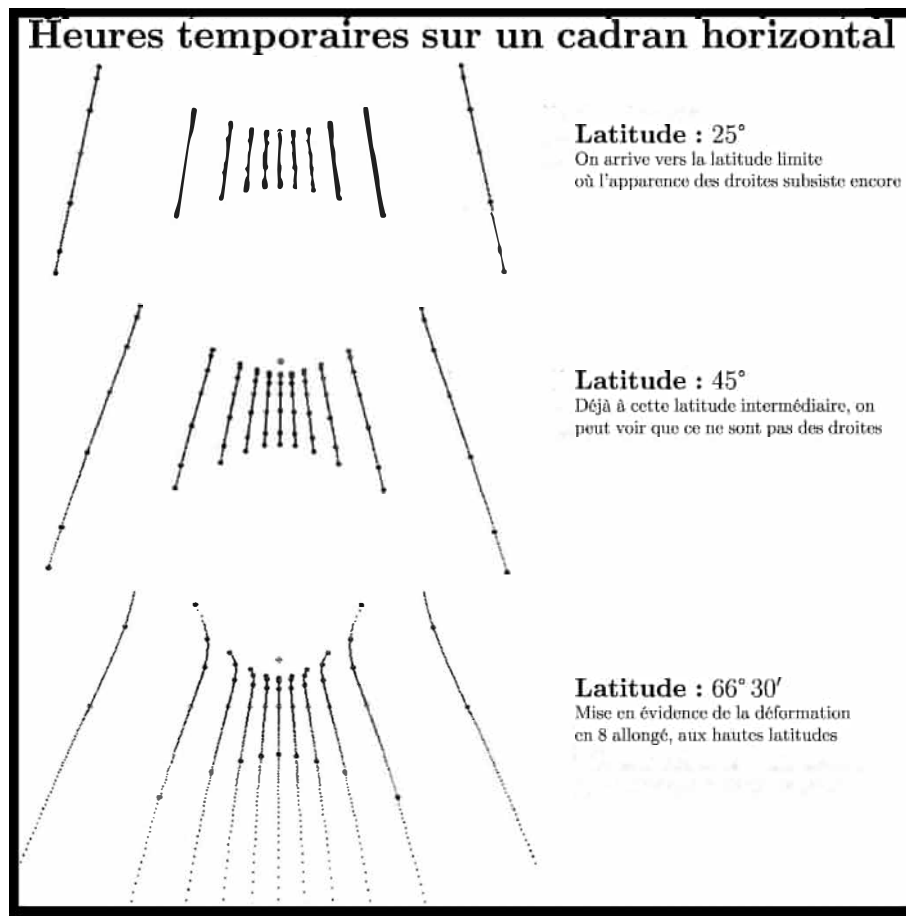


FIGURE 13 – Courbures des lignes temporaires.

sont les traités de Gnomonique qui ne parlent pas des huit cadrans de la Tour des vents, à Athènes.

Enfin, comment ne pas présenter, pour clore cette annexe la photo du cadran de la cathédrale Saint-Pierre de Ratisbonne, daté de 1487 (figure 14 page ci-contre), soit près d'un siècle après la construction du plus ancien cadran à style polaire d'Europe, en 1401, à Kothen (Saxe-Anhalt), sur la Jakobi-Kirche.

Références

- [1] Denis Savoie : *La Gnomonique* : chapitre XXI. pp. 295-301. Éd. Les belles lettres, 2007 (2^e édition).
- [2] Dominique Collin : chapitre III, pp. 53-78 in Denis Savoie : *Recherches sur les Cadrans solaires*, Brepols, 2014.

3.2 Les cadrans de hauteur

3.2.1 Généralités

Les cadrans de hauteur peuvent être classés en deux groupes :

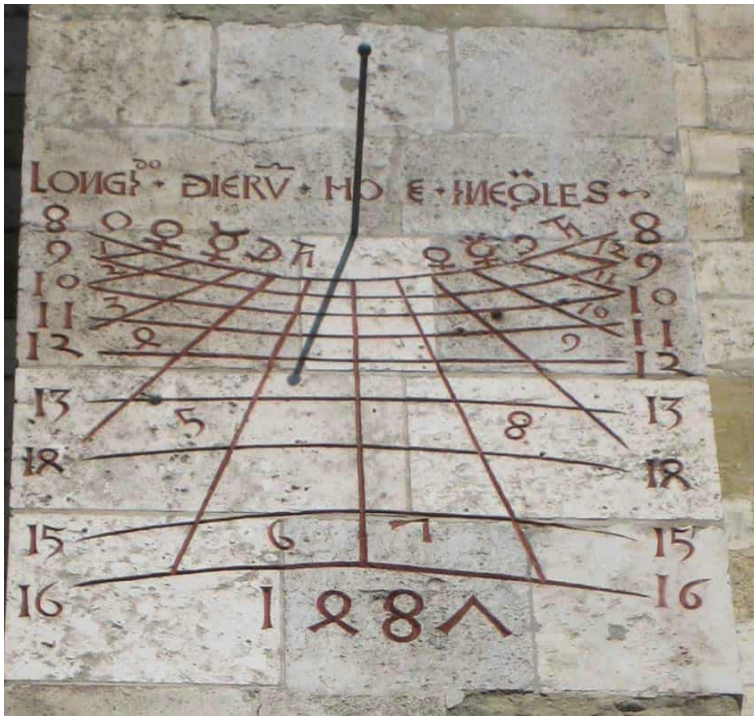


FIGURE 14 – Cadran de la cathédrale de Ratisbonne (1487).

1. ceux avec lesquels il faut viser directement le Soleil (capucin de Saint-Rigaud, quadrant, cadrans de Régiomontanus, d'Apian etc.) ; une étude exhaustive leur est consacrée dans la référence [1].
2. ceux qui comportent un objet porte-ombre ; parmi ceux-ci, le plus connu est le cadran (ou montre) de berger. Les cadrans calices et le cadran de Jamnitzer, réalisés par des joailliers pendant la Renaissance font partie de cette catégorie. L'anneau astronomique quant à lui donne l'heure grâce à un œilleton.

Ce sont ces derniers qui nous intéressent ici.

Tous ces cadrans traduisent les variations de la hauteur h du Soleil sur l'horizon au cours de la journée en heures solaires H_s . Cependant la hauteur du Soleil dépend aussi de la latitude φ du lieu. Un cadran de hauteur, sauf exception, ne fonctionne donc qu'à une latitude donnée. De plus, la hauteur du Soleil varie également au cours des saisons. Un cadran de hauteur ne donne l'heure que si on connaît la date (autrement dit la déclinaison δ du Soleil).

Tout ceci est traduit par la relation :

$$\sin h = \cos \varphi \cos \delta \cos H + \sin \varphi \sin \delta$$

Quand on veut tracer les lignes d'un cadran de hauteur, il faut d'abord choisir une échelle des dates c'est-à-dire un ensemble de lignes telles qu'à chaque ligne correspond une déclinaison du Soleil. Pour le cadran de berger, ces lignes sont des génératrices d'un cylindre (voir description ci-après). Pour le cadran de Jamnitzer, ce sont des cercles.

Ensuite, pour chaque déclinaison, il faut calculer a priori, compte-tenu de la géométrie du cadran, la position de l'ombre de l'objet porte ombre pour chaque heure où le soleil est au-dessus de l'horizon et marquer cette position sur la ligne correspondante.

Relier par une courbe continue les marques relatives à la même heure permet de tracer une des lignes des heures. On trace ainsi un abaque.

3.2.2 Description du cadran de berger

Le cadran de berger est constitué d'un cylindre coiffé d'un chapeau tournant qui porte le gnomon ; celui-ci, assez semblable à une lame de couteau, se replie, hors périodes d'utilisation, pour s'abriter dans le corps du cylindre (15). Le cylindre est habillé, sur toute sa hauteur, d'une feuille de papier où sont imprimés les tracés gnomoniques convenables pour la latitude d'emploi : cercles horizontaux des hauteurs, verticales des dates, généralement jumelées par déclinaisons solaires égales, courbes des heures, elles aussi superposées selon leur écart à XII. Tout en haut, ou tout en bas, se déploie une rangée de cases portant les noms des mois ; parfois deux rangées, superposées et décalées pour jumeler les dates d'égale déclinaison solaire. Comme l'heure est obtenue en fonction de la date et de la hauteur, le tracé ne peut convenir qu'à une seule latitude, mais avec une certaine tolérance.

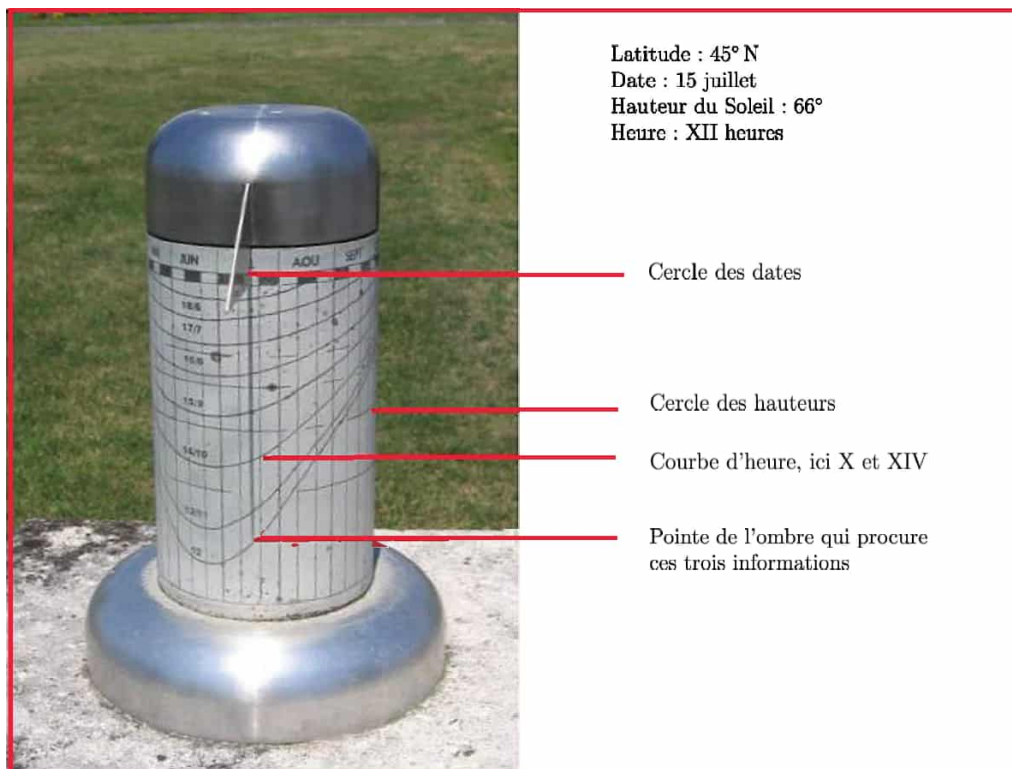


FIGURE 15 – Cadran de berger — Parc de l'Hôtel de ville de Chateaubernard (Charente). [2].

L'utilisation est très simple : on déploie le gnomon pour le placer horizontalement ; en faisant tourner le couvercle on le positionne au sommet de la verticale de date appropriée, puis, le cylindre maintenu bien vertical, on tourne l'instrument jusqu'à ce que l'ombre du gnomon soit, elle aussi, bien verticale et la plus mince possible. Le gnomon est alors dans l'azimut du Soleil et la pointe de son ombre indique à la fois l'heure et la hauteur du Soleil. Pour plus de détails, on peut consulter le site de l'Association Méridienne de Nantes (référence [2] de l'article).

Références

[1] Yvon Massé, *De l'analemme aux cadrans de hauteur*, 2009. ISBN 978-2-7466-1307-2.

[2] www.cadrans-solaires.fr/originaux-parcs-france.html (site de J. Robic — page : parcs de cadrans).

3.3 Heures solaires — Heures Temps Universel

L'heure solaire H_s est une heure locale. C'est celle qui est donnée par un cadran solaire.

Il n'est pas midi au Soleil en même temps à Strasbourg et à Brest. Du fait de la différence d'environ 12° dans la longitude entre ces deux villes, quand il est midi solaire à Strasbourg, il n'est que 11 h et 12 min au Soleil à Brest. Le décalage en minutes de temps est égal à 4 fois la longitude exprimée en degrés puisque la Terre effectue une rotation de 360° en 24 h, soit de 15° par heure et donc de 1 degré en 4 minutes.

L'heure Temps Universel H_{UT} est reliée à l'heure solaire du Méridien international, dit autrefois « de Greenwich ». Si un cadran solaire indique l'heure H_s , à Greenwich, l'heure solaire est différente et vaut $H_s + 4\lambda(\text{min})$ où λ est la longitude du cadran, exprimée en degrés, par rapport à Greenwich, λ devant être comptée négativement si le cadran est à l'Est de Greenwich et positivement dans le cas contraire. Il est donc possible d'exprimer la longitude d'un lieu en heures décimales. Par exemple, la longitude de Saint-Étienne est égale à $H_\lambda = -0,289h$. Ainsi quand un cadran solaire indique H_s , au Soleil à Greenwich, il est $H_s + H_\lambda$.

La durée du jour solaire n'est pas constante au cours de la révolution de la Terre autour du Soleil. Cela tient à la fois à l'ellipticité de la trajectoire terrestre et à l'inclinaison de l'axe des pôles par rapport au plan de la trajectoire (plan de l'écliptique). La longueur du jour solaire varie de quelques secondes en plus ou en moins par rapport à la valeur moyenne égale à 24 h. Cumulées sur plusieurs jours, ces petites variations entraînent une différence maximale d'environ plus ou moins un quart d'heure entre l'heure solaire et l'heure moyenne. La différence entre l'heure moyenne et l'heure solaire est l'équation du temps H_{EqT} qui varie au jour le jour et dont la valeur précise est tabulée dans les éphémérides. On peut exprimer également l'équation du temps en heures décimales.

L'heure Temps Universel H_{UT} est l'heure solaire de Greenwich corrigée de l'équation du temps; En définitive :

$$H_{UT} = H_s + H_\lambda + H_{EqT}$$

Pour avoir l'heure légale de la montre en France, il faut rajouter le décalage administratif de 1h en période d'hiver et de 2h en période d'été.

Quand on veut calculer les lignes d'un cadran solaire pour faire apparaître les heures UT, il faut écrire la relation entre l'angle horaire H exprimé en degrés et l'heure UT :

$$H = 15 (H_s - 12) = 15 (H_{UT} - H_\lambda - H_{EqT} - 12)$$



Variation de l'équation du temps

par Guy Grasca

Variation de l'équation du temps dans le temps et impact sur la représentation de courbe de la méridienne du temps moyen.

1 Présentation

Pour écrire cet article, je me suis inspiré du document de Kevin Karney, *Variation in the equation of time*, (réf. [1]) dans lequel j'ai repris les chapitres qui m'ont semblé les plus importants. J'ai ajouté une étude de l'impact de la variation de l'équation du temps sur la courbe de la méridienne du temps moyen que l'on trouve sur certains cadrans solaires.

L'équation du temps est la différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai : $ET = TSM - TSV$. Les anglo-américains ont adopté la définition inverse : $ET = TSV - TSM$. C'est la raison de l'inversion de la courbe de l'équation du temps dans leurs revues par rapport à la courbe des revues francophones.

L'équation du temps a deux composantes : l'équation du centre et la réduction à l'équateur.

— L'équation du centre est définie par deux paramètres :

1. L'angle que fait le soleil dans son plan de rotation autour de la Terre par rapport à son point d'origine : le périhélie. Ici l'approche est géocentrique car on regarde la marche du Soleil autour de la Terre. La Terre décrit autour du Soleil une orbite elliptique. La Terre est au périhélie lorsqu'elle est au plus près du Soleil, et celui-ci est au périhélie par rapport à son orbite vue de la Terre. Le plan de rotation de la Terre autour du soleil est appelé plan de l'écliptique.
2. L'excentricité de l'orbite elliptique de la terrestre.

— La réduction à l'équateur est définie par deux paramètres :

1. L'angle que fait le soleil dans le plan de l'équateur terrestre par rapport à son point d'origine : le point vernal qui matérialise l'équinoxe de printemps.

2. L'angle que fait le plan de l'équateur terrestre par rapport au plan de rotation de la Terre.

Cet angle est appelé obliquité de l'écliptique.

2 Équinoxe de printemps

Créé en l'an 708 de la fondation de Rome (−45 ou 46 avant J.-C.) à l'initiative de Jules César, le calendrier julien comporte trois années communes de 365 jours suivies d'une année dite bissextile de 366 jours, soit une année moyenne de 365,25 jours.

Après une année bissextile, la date de l'équinoxe de printemps est décalée d'un quart de jour chaque année pendant trois ans, puis revient à la même date que l'année bissextile précédente. Enfin, presque car l'année équinoxiale de printemps, c'est-à-dire le retour entre deux équinoxes de printemps consécutifs, est de 365,242 374 jours. Valeur à ne pas confondre avec l'année tropique qui a pour valeur 365,242 189 6 jours (pour plus de détails voir réf. [2]).

La conséquence de cette différence est un glissement de la date de l'équinoxe de printemps au fil des années. Ce qui amena l'équinoxe de printemps aux alentours du 10 mars à la fin du 16^e siècle et faussa ainsi le calcul du jour de Pâques qui était réalisé avec l'équinoxe de printemps fixé au 21 mars. En 1582 le pape Grégoire XIII réforma le calendrier en apportant deux modifications :

- Suppression de dix jours pour que l'équinoxe de printemps revienne au 21 mars.
- Suppression de trois années bissextiles sur une période de 400 ans : les années séculaires sont bissextiles si elles sont divisibles par 400.

Dans le calendrier grégorien ainsi créé, l'année moyenne, sur une période de 400 ans, est de 365,2425 jours. Valeur très proche de l'année équinoxiale de printemps.

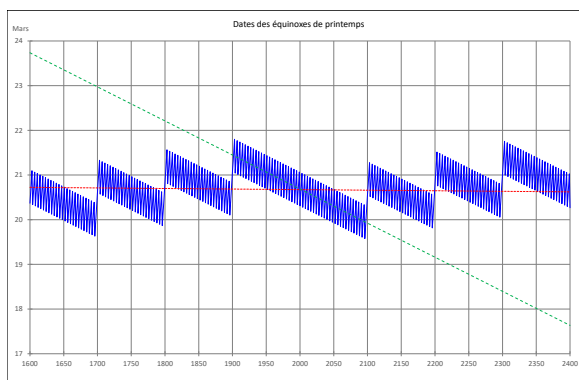


FIGURE 1 – Dates des équinoxes de printemps.

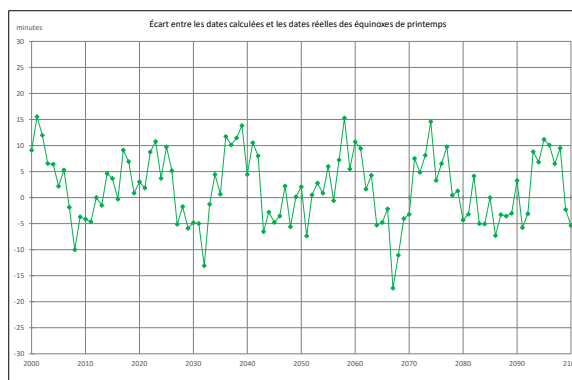


FIGURE 2 – Écart entre les dates calculées et les dates réelles des équinoxes de printemps.

La figure 1 montre la variation de la date de l'équinoxe de printemps (au mois de mars) pour la période 1600 à 2400. L'alternance des cycles de 4 ans donne une courbe en dents de scie. Les années bissextiles sont sur la pointe du bas. On voit l'effet de la réforme grégorienne avec les années 1700, 1800 et 1900 qui ne sont pas bissextiles.

Actuellement l'équinoxe de printemps reste calé au 20 mars. Au cours de la 2^e moitié du 21^e siècle, l'équinoxe de printemps oscillera entre les 19 et 20 mars.

La ligne en pointillés rouges indique la date moyenne de l'équinoxe de printemps dans le calendrier grégorien : 20,67 mars, soit le 20 mars à 16 h UTC.

La ligne en pointillés verts fait apparaître la variation de la date de l'équinoxe de printemps dans le calendrier julien. On voit bien la conséquence des trois jours supprimés sur une période de 400 ans. Attention, cette ligne n'indique pas la date de l'équinoxe de printemps dans le calendrier julien. Pour cela il faut tenir compte des 10 jours supprimés en 1582 auxquels il faut ajouter les 3 jours supprimés par les années 1700, 1800 et 1900 qui n'ont pas été bissextiles. Cela ramène l'équinoxe de printemps au 7 mars dans le calendrier julien.

Les calculs des dates des équinoxes de printemps ont été réalisés à l'aide de la formule donnée par Jean Meeus (réf. [3] page 69).

La figure 2 page précédente montre la différence, en minutes, entre les dates calculées et les dates réelles des équinoxes de printemps fournies par Patrick Rocher (réf. [4]) pour la période 2000 à 2100.

3 Passage au périhélie

Dans sa révolution autour du soleil, la Terre décrit une orbite elliptique. Elle passe au périhélie, c'est-à-dire au plus près du soleil, début janvier. Mais la durée entre deux passages consécutifs au périhélie, appelée révolution anomalistique, est de 365,259 636 jours. Elle est plus longue que l'année civile qui comporte 365,2425 jours. La date de retour au périhélie va donc dériver lentement. Sur une période de 400 ans cela représente 6,8544 jours.

La figure 3 page ci-contre montre la variation de la date de passage au périhélie (au mois de janvier) pour la période 1600 à 2400. Plus précisément il s'agit du passage au périhélie du barycentre du système Terre-Lune. On retrouve la courbe en dents de scie avec le cycle de 4 ans des années bissextiles. La date 0 janvier correspond au 31 décembre de l'année précédente.

La ligne en pointillés rouges indique la date moyenne du passage au périhélie dans le calendrier grégorien. On voit bien le décalage de presque 7 jours de la date sur une période de 400 ans.

La ligne en pointillés verts fait apparaître la variation de la date du passage au périhélie dans le calendrier julien. Attention, cette ligne n'indique pas la date du passage au périhélie dans le calendrier julien. Ici aussi il faut tenir compte de la réforme grégorienne et retirer 13 jours pour avoir la bonne date dans le calendrier julien.

Les calculs des dates des passages au périhélie ont été réalisés à l'aide des formules données par Jean Meeus (réf. [3] page 99). À la page 100 l'auteur précise :

Pour la Terre, la formule donnée n'est réellement valable que pour le barycentre du système Terre-Lune.

La figure 4 page suivante compare les dates calculées pour le barycentre du système Terre-Lune (courbe en bleu), aux dates réelles du passage de la Terre pour la période 1600 à 2400 (courbe en vert). Les dates correspondent au mois de janvier.

Les dates de passage de la Terre au périhélie ont été prises dans le livre de Jean Meeus pour les années 1960 à 2005 (réf. [5] page 1–19), et dans les lettres d'information de l'IMCCE pour les années 2006 à 2020 (réf. [6]).

4 Obliquité

La variation de l'obliquité de l'écliptique en fonction du temps est donnée par Jean Meeus (réf. [3] page 55). Il est possible d'en calculer les valeurs suivantes :

- Année 1600 : $\varepsilon = 23,491\ 272\ 9$.

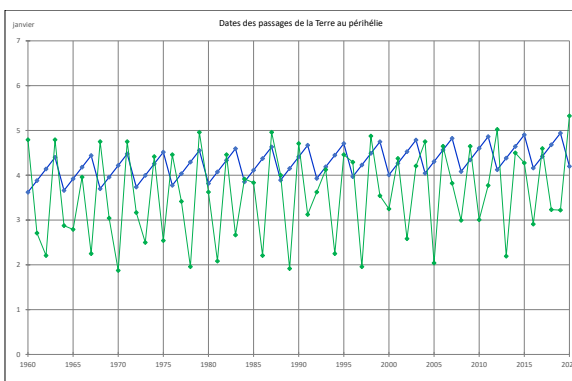
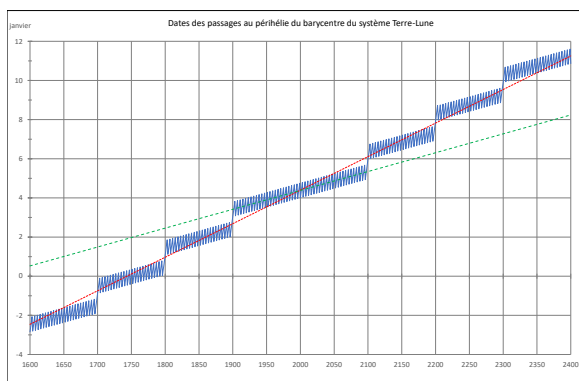


FIGURE 3 – Écart entre les dates calculées et les dates réelles des équinoxes de printemps.

FIGURE 4 – Dates des passages de la Terre au périhélie.

- Année 2000 : $\varepsilon = 23,439\,291\,1$.
- Année 2400 : $\varepsilon = 23,387\,304\,50$.

La variation sur un siècle est de $-0,013^\circ$ (environ $47''$), soit en valeur relative $-5,5 \times 10^{-4}$. La figure 5 montre la variation de l'obliquité de l'écliptique pour la période 1600 à 2400.

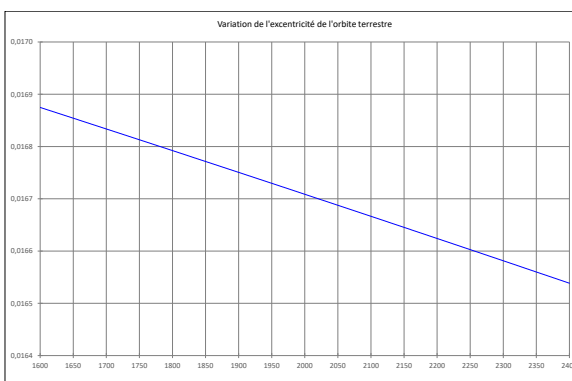
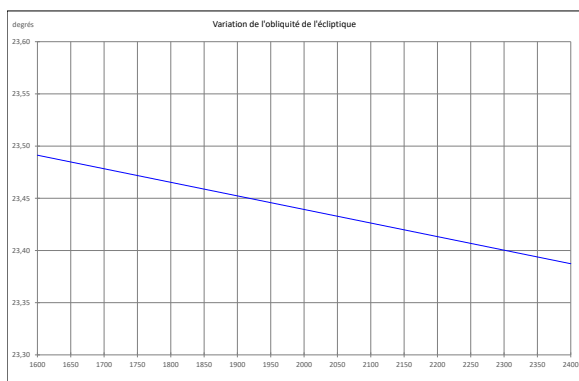


FIGURE 5 – Variation de l'obliquité de l'écliptique.

FIGURE 6 – Variation de l'excentricité de l'orbite terrestre.

5 Excentricité

La variation de l'excentricité de l'orbite terrestre en fonction du temps est donnée par Jean Meeus (réf. [3] page 63). Il est possible d'en calculer les valeurs suivantes :

- Année 1600 : $e = 0,016\,875\,835$.
- Année 2000 : $e = 0,016\,708\,634$.
- Année 2400 : $e = 0,016\,537\,379$.

La variation sur un siècle est de $-0,000\,042$, soit en valeur relative -25×10^{-4} .

La variation de l'excentricité est donc 5 fois plus importante que celle de l'obliquité.

La figure 6 montre la variation de l'excentricité de l'orbite terrestre pour la période 1600 à 2400.

6 Équation du temps

L'équation du temps a été calculée pour les trois années bissextiles 1600, 2000 et 2400.

La figure 7 montre les courbes de la réduction à l'équateur pour les années concernées. Elles sont quasiment superposées. Elles ont le même point d'origine car dans le calendrier grégorien, la date de l'équinoxe de printemps est constante sur une période de 400 ans. La très faible variation de l'obliquité fait que l'amplitude de la réduction à l'équateur est pratiquement la même pour les 3 années concernées.

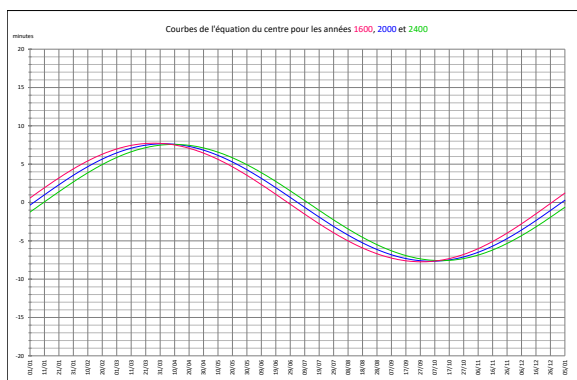
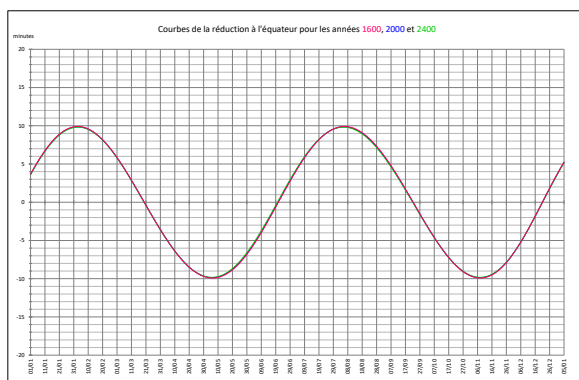


FIGURE 7 – Courbes de la réduction à l'équateur pour les années 1600, 2000 et 2400.

FIGURE 8 – Courbes de l'équation du centre pour les années 1600, 2000 et 2400.

La figure 8 montre les courbes de l'équation du centre pour les années 1600, 2000 et 2400. Il est aisé de voir que les 3 courbes n'ont pas le même point d'origine. Ceci est la conséquence du décalage de la date de passage au périhélie. On peut voir aussi que l'amplitude diminue au fil des siècles car l'excentricité diminue.

La figure 9 montre l'équation du temps pour les années 1600, 2000 et 2400.

La figure 10 montre l'écart de l'équation du temps entre les années 1600 et 2000, et entre les années 2000 et 2400. Sur une période de 400 ans, cet écart est d'environ -1 minute début janvier et d'environ $+1$ minute fin juin début juillet.

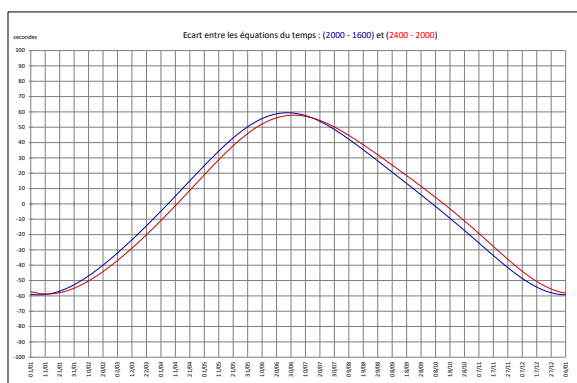
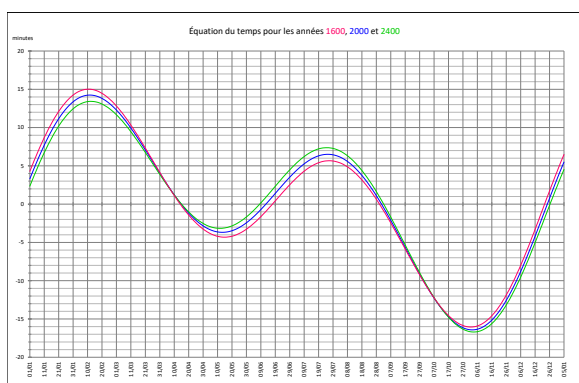


FIGURE 9 – Équation du temps pour les années 1600, 2000 et 2400.

FIGURE 10 – Écart entre les différentes équations du temps.

Alors quel est l'impact de cette variation de l'équation du temps sur les cadrans solaires ?

À priori minime car l'écart d'une minute est noyé par la précision, d'une part du tracé des lignes horaires, et d'autre part de la lecture de l'heure à l'œil nu. Sauf que les méridiennes avec la courbe de temps moyen sont assez précises, et ce décalage d'une minute peut être perfectible. Ce point est étudié dans le dernier chapitre.

Les calculs ont été effectués avec les formules fournies par Jean Meeus (réf. [3] page 71 pour la longitude moyenne et page 109 pour l'anomalie moyenne).

7 Variation de l'équation du temps au cours des siècles

Pour se faire une idée de la variation de l'équation du temps sur une période plus longue que celle étudiée précédemment, par exemple des années 0 à 4000, il faut prendre en compte le fait qu'il y a deux calendriers : le calendrier julien jusqu'en 1582 et le calendrier grégorien à partir de 1583.

La figure 11 montre les courbes de l'équation du temps dans le calendrier julien. La réforme grégorienne en 1582 n'a pas été prise en compte, donc toutes les années multiple de 4 sont bissextiles. Les courbes ont été tracées de l'année 0 à l'année 2400 par pas de 400 ans.

La figure 12 montre les courbes de l'équation du temps dans le calendrier grégorien. Les courbes ont été tracées de l'année 1600 à l'année 4000 par pas de 400 ans.

On voit nettement que l'on obtient deux faisceaux de courbes différents.

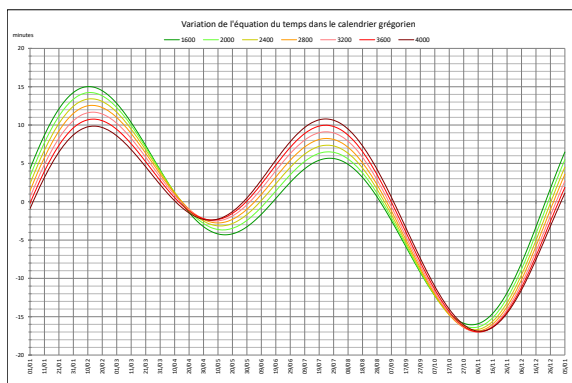
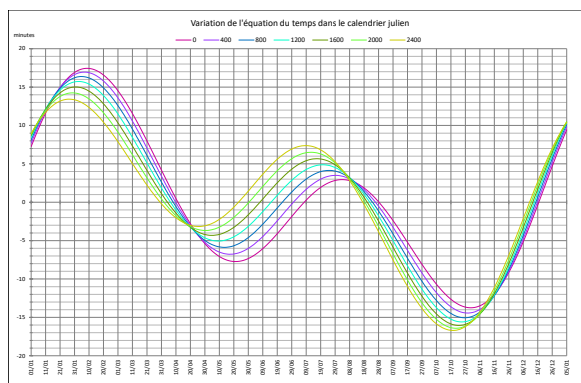


FIGURE 11 – Variation de l'équation du temps dans le calendrier julien.

FIGURE 12 – Variation de l'équation du temps dans le calendrier grégorien.

8 Courbe de la méridienne du temps moyen

Pour voir l'impact de la variation de l'équation du temps sur les méridiennes du temps moyen rien de tel que de tracer les courbes en 8 pour des époques différentes.

La figure 13 page suivante montre les courbes de la méridienne du temps moyen pour les années 1600, 2000 et 2400. Les lignes horaires, la ligne des équinoxes et les lignes des solstices ont été tracées avec les valeurs de déclinaison de l'année 2000.

Les calculs ont été réalisés en coordonnées rectangulaires avec les formules fournies par Denis Savoie (réf. [7] pages 119 et 120).

Les calculs ont été effectués en fixant la longueur du style droit à un. Le pied du style droit est à l'intersection des axes des abscisses et des ordonnées. Le quadrillage permet de connaître les dimensions de la méridienne.

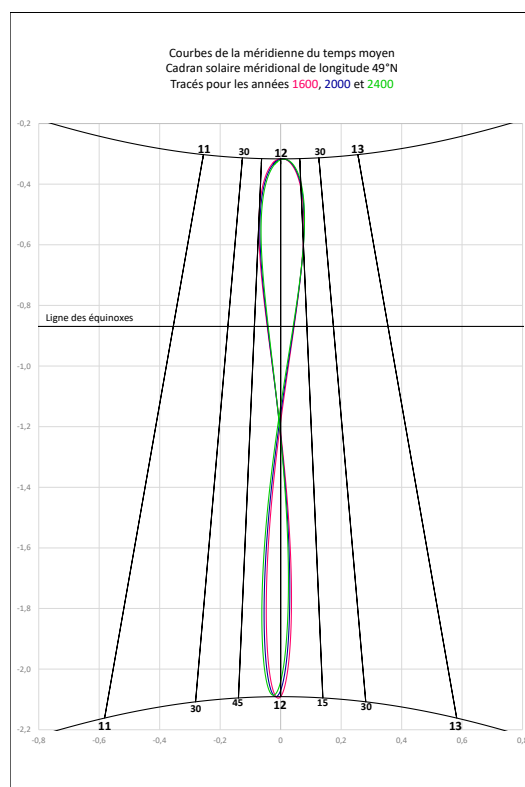


FIGURE 13 – Courbes de la méridienne de temps moyen (années 1600, 2000 et 2400).

La figure 14 page suivante est un zoom sur la partie haute du cadran.

La figure 15 page ci-contre est un zoom sur la partie basse du cadran.

L'effet de la variation de l'équation du temps est visible sur la courbe de temps moyen.

Sur la figure 15 page suivante on voit l'effet de la diminution de l'obliquité de l'écliptique dans le temps : les courbes pour les années 1600 et 2400 ne tangentent pas l'arc du solstice d'été, contrairement à la courbe de l'année 2000.

9 Épilogue

La variation de l'équation du temps au fil du temps a pour conséquence de fausser les méridiennes du temps moyen. Sur une longue période, à l'échelle humaine, il faut tenir compte de cette variation qui est d'une minute en quatre siècles.

Les premières méridiennes avec la courbe du temps moyen datent du 18^e siècle. Elles servaient à régler les montres et les horloges. Depuis leur création le décalage de la courbe du temps moyen est faiblement perceptible.

Pour une méridienne du temps moyen construite en 2000, le décalage au bout de 400 ans pourrait être mis en évidence. Mais un phénomène risque d'être d'une autre ampleur : la suppression de la seconde intercalaire qui permet de maintenir de concert temps vrai et temps moyen (voir sur ce sujet l'article de Denis Savoie, réf. [8]). Et là c'est environ une minute par siècle de décalage. Si cette suppression est réalisée, notre méridienne du temps moyen construite en 2000 prendra 4 minutes de retard en 2400. Retard auquel il faudra ajouter la variation de l'équation du temps durant ces 4 siècles. D'où une correction comprise entre -5 et -3 minutes pour que le midi de la méridienne du temps moyen corresponde au midi de la montre. Il faudra comptabiliser le nombre de secondes intercalaires supprimées et calculer la dérive de l'équation

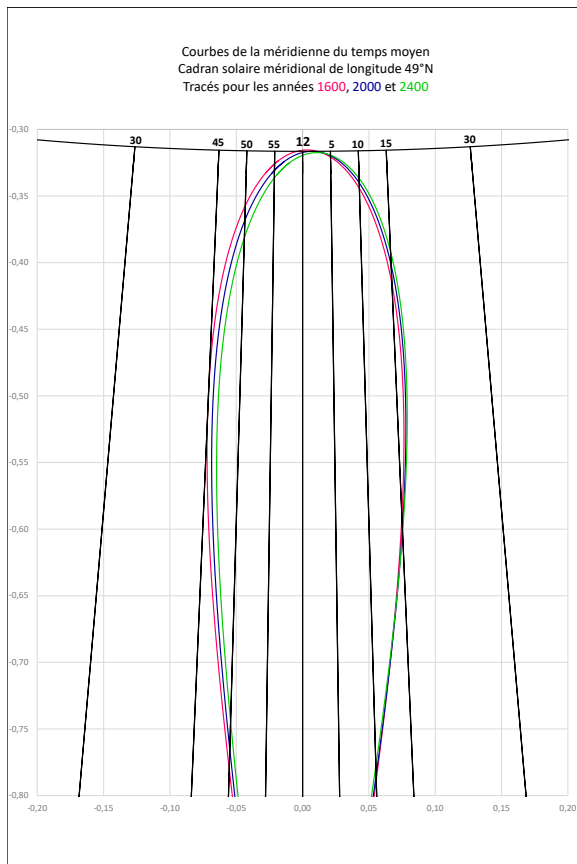


FIGURE 14 – Courbes de la méridienne de temps moyen (partie haute).

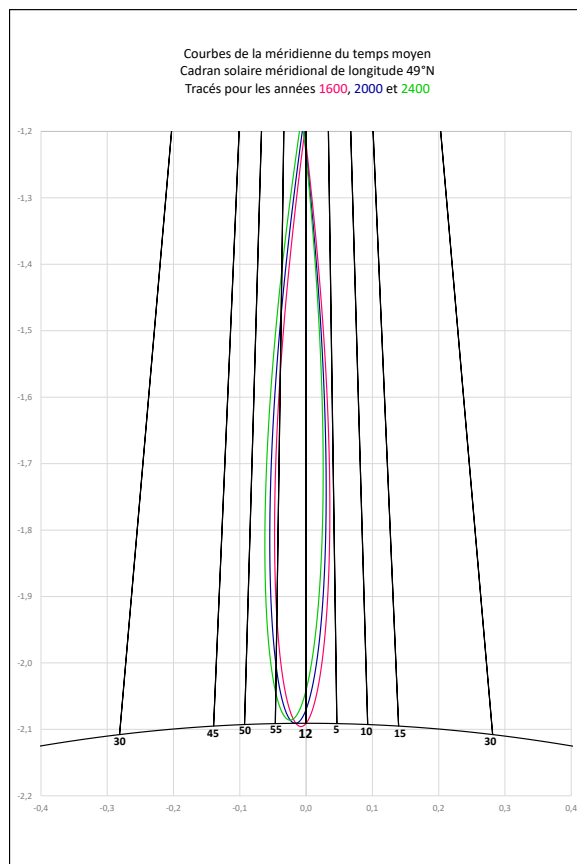


FIGURE 15 – Courbes de la méridienne de temps moyen (partie basse).

du temps pour recalibrer la méridienne du temps moyen avec l'heure de la montre. Mais nous ne serons plus de ce monde pour faire cette gymnastique.

Note : pour plus d'information sur les échelles de temps lire l'article réf. [9].

Références

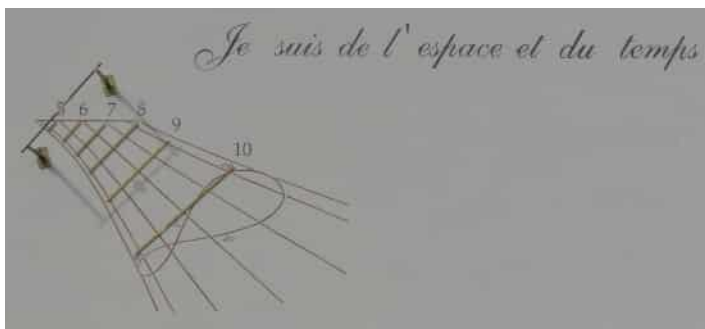
- [1] Kevin Karney (2005) : *Variation in the equation of time*, article disponible sur le lien : www.precisedirections.co.uk/Sundials/E-o-T_Variability.pdf
- [2] Jean Meeus et Denis Savoie (1992) : *The history of the tropical year*, article disponible sur le lien : www.researchgate.net/publication/243749776_The_history_of_the_tropical_year
- [3] Jean Meeus (2014) : *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs*, Société Astronomique de France.
- [4] Patrick Rocher (IMCCE) : *Équinoxe de printemps entre 1583 et 2999*, article disponible sur le lien : www.imcce.fr/newsletter/docs/Equinoxe_%20printemps_1583_2999.pdf

- [5] Jean Meeus (1983) : *Astronomical tables of the sun, moon and planets*, Willmann-Bell Inc, Richmond, Virginia.
- [6] Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides : *Lettres mensuelles d'information*, disponibles sur le lien : www.imcce.fr/lettre-information/
- [7] Denis Savoie (2007) : *La gnomonique*, Les belles lettres.
- [8] Denis Savoie (2011) : *Vers une nouvelle échelle des temps? Conséquences pour la gnomonique*, Cadran Info n° 24, Commission des cadrans solaires. Article disponible sur le lien : michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/seconde_intercalaire/doc_cadrans/reforme_de_1_heure_d_savoie_2011.pdf
- [9] Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides : Rotation et révolution de la Terre : échelles de temps, article disponible sur le lien : promenade.imcce.fr/fr/pages3/325.html



L'espace et le temps

Cadran réalisé par notre collègue Jean-Michel Ansel. « Il a été achevé en septembre 2019. Situé sur le mur est de l'école, il est maintenant aux bons soins des enfants de Maisoncelles en Brie, une commune aux habitants bien sympathiques. »



Monsieur le Maire et
Jean-Michel Ansel
devant le cadran

La gnomonique d’Oronce Fine (1494–1555)

Le Livre I de la partie gnomonique du *Protomathesis* (1532)

par Éric Mercier

*Ses contemporains, et les historiens de sciences, ont exprimé des opinions très contrastées sur l’œuvre scientifique d’Oronce Fine. Dans le domaine de la gnomonique, la principale attaque est venue d’un contemporain : Pedro Nunes (1502-1578), qui est considéré comme l’un des plus grands savants Portugais de l’Histoire. L’objet de cet article est d’évaluer la qualité scientifique du 1^{er} livre de la partie Gnomonique du *Protomathesis*, œuvre majeure de Fine. Il apparaît qu’il s’agit d’une œuvre originale, de bonne tenue scientifique, qui a beaucoup influencé ses successeurs. Les critiques de Nunes sont parfois justifiées, mais plus généralement sa bonne foi peut clairement être mise en doute.*

1 Introduction

Oronce Fine¹, qui fut le premier professeur de Mathématiques au collège de France (fig. 1 [page suivante](#)), est un contemporain de François 1^{er} (1494–1547). C’est donc un personnage de la Renaissance, dont l’œuvre embrasse de nombreuses disciplines : astronomie, gnomonique, astrologie, technologie militaire, science du comput, géographie, optique, alchimie, philosophie des Sciences, musique et mathématiques (algèbre, géométrie)². Le jugement que portent sur lui les historiens des Sciences est assez contrasté, par exemple :

— Montucla (1799, p. 729) en parlant de la gnomonique :

Münster et Oronce Finée (sic) sont ensuite les premiers les traités de gnomonique ont vu le jour . . . Münster se trompe quelque fois, mais Oronce Fine très fréquemment ainsi que lui a reproché Nonius (= Nunes) . . .

1. Réglons tout de suite la question de la prononciation : Fine ? Finé ?, voire Finée ou Fini ? ; la question est délicate. Hillard & Poulle (1971) signalent que la forme latine que Fine a choisi lui-même (*Finæus*) milite pour Finé ; mais les historiens de sa région d’origine retiennent « Fine » qui est encore attesté localement. Par ailleurs, dans un poème d’époque son nom rime avec « doctrine ». La prononciation « Fine » semble donc devoir être préférée.

2. La liste bibliographique des œuvres d’*Oronce Fine* (livres, cartes et manuscrits) qui semble la plus exhaustive est disponible dans les annexes de Hillard & Poulle (1971).



FIGURE 1 – Un portrait d’Oronce Fine (D’après Thévet 1584).

- Lalande (1803, p. 49) nous dit juste que
Münster et Oronce Fini (sic) sont les premiers qui aient donné la description de toutes les espèces de cadrans solaires. Ce sont les plus anciens traités de gnomonique rien de plus. . .
- Delambre (1819, p. 400 & 434-435) ne retient rien de marquant, mais il n’évoque pas la gnomonique qui nous intéresse ici.
- Hockey (2007, p. 368) dans son magistral *Biographical Encyclopedia of Astronomers* ne retient bizarrement, dans l’œuvre astronomique de Fine, qu’une méthode de mesure des longitudes grâce aux éclipses de la Lune. Le principe de cette méthode était pourtant connu des grecs de l’antiquité.
- Eagleton (2009, p. 98) est plus positive :
L’utilisation de matériels (tirés du Livre de Fine sur les cadrans solaires) dans les livres de Münster et Clavius, ainsi que dans d’autres livres sur les cadrans solaires à travers les XVI et XVII^e siècles, montre l’influence de Fine et son importance dans cette discipline. . .
- Goulding (2011) commence sa *review* du recueil d’article qui contient la référence précédente, de la façon suivante :
Le nom d’Oronce Fine, premier Professeur de Mathématiques au Collège Royal, était proverbial d’incompétence même à sa propre époque.

En effet, dès son époque, les jugements étaient divergents; les critiques les plus sévères sont sans doute venue de Nunes (= *Nonius* en latin) dans son livre de 1546 entièrement consacré aux erreurs de Fine *De erratis Orontii Finaei* et qui contient notamment deux chapitres sur la gnomonique (fig. 2 page suivante). Inversement, Thévet (qui était premier Cosmographe du Roy) en 1584 évoque un *second Archimède*, qui ressuscita en l’Université de Paris, la splendeur des Mathématiques (sic) qui pour lors estoient par trop abastardies. Dans le même ordre d’idée il faut signaler l’existence de traduction de ses œuvres, notamment en Italien, jusqu’à la fin du XVII^e siècle. Par ailleurs, ses livres étaient inscrites, d’une manière ou d’une autre, au programme officiel de l’enseignement dans les Universités de Messine, Pise, Cambridge, Valencia, Oxford . . . (Axworthy A., 2020).

Il est certain que Oronce Fine, a commis de nombreuses erreurs dans ses écrits de mathématiques et géographie (voir synthèse dans Leitão 2009). Mais qu’en est-il du domaine de la Gnomonique? Quel est la place de cet auteur dans l’histoire de cette science? C’est ce que je me propose d’essayer d’établir en explorant ses écrits dans ce domaine, et en essayant de les restituer dans la production de l’époque.



FIGURE 2 – Pages de garde des principaux livres évoqués ici : Münster 1531, partie gnomonique (4^e) du *Protomathesis* de Fine 1532, Nunes 1546, Fine 1560. On constate que la partie gnomonique du *Protomathesis* est datée de 1531, mais intégrée dans un ouvrage de 1532.

2 Oronce Fine (sa vie, son œuvre)

Il existe plusieurs biographies de Fine (pour les plus récentes : Escallier 1957, Hillard & Poulle 1971, Drinkwater 1990, Marr 2009, Axworthy 2011), je me contenterai ici de l’essentiel.

- Oronce est né le 20 Décembre 1494, dans une famille riche et cultivée, à proximité de Briançon (Dauphiné).
- assez jeune (aucun biographe ne précise son âge) il commence ses études à Paris et dès 1516, il y enseigne. C’est l’époque de ses premiers livres dont l’édition des œuvres de Peurbach (*Theoricarum novarum textus. . .*) en 1515, et de Sacrobosco (*Mundialis sphere opusculum. . .*) en 1516 ; deux monuments de l’astronomie des débuts de la Renaissance.
- vers 1520–1524 il passe quelques temps en prison, mais sans que les raisons n’en soient établies (trois hypothèses ont été proposées par ses biographes, voir Axworthy (2011) pour une discussion complète).
- en 1526 il publie son premier ouvrage personnel (*Aequatorium planetorum, unico . . .*)
- en 1531 il est recruté comme « lecteur » de Mathématiques au Collège Royal, poste créé pour lui ; il s’agit en fait de la chaire de Mathématiques.
- en 1532 sort son œuvre majeure *Protomathesis* qui comprends quatre parties : arithmétique, géométrie, cosmographie³ et gnomonique. De nombreuses autres livres suivront jusqu’à sa mort en 1555, date à laquelle il était toujours à son poste au Collège (Royal) de France.

Certains des écrits d’Oronce Fine n’ont pas résisté à l’analyse critique, et ce, dès son époque avec, nous l’avons vu, la publication du livre de Nunes⁴ (1546) *De erratis Orontii Finaei*⁵

3. Cette troisième partie doit énormément au livre de Sacrobosco que Fine avait édité quelques années plus tôt (Axworthy 2020).

4. Pedro Nunes (ou Nonius en latin) (1502–1578), il est considéré comme un des plus grands savants portugais de l’Histoire.

5. cet ouvrage a été ré-édité plusieurs fois 1546, 1571 et 1592, ce qui constitue une preuve « en creux » de l’influence de Fine à son époque. Il a été récemment traduit en portugais (Carvalho & Leitão 2005).

puis celui de Borrel (1559) *De quadratur circuli libri duo*. De fait, on ne peut pas nier que les théories mathématiques de Fine sur la quadrature du cercle, la trisection de l'angle, la duplication du cube, et certains aspects du calcul des longitudes, sont intégralement fausses ! En ce qui concerne la gnomonique, elle serait à ajouter dans la liste des erreurs de Fine si l'on en croit Nunes (1546). Montucla (1799), nous l'avons vu, n'est pas loin de penser la même chose. Mais inversement, Eagleton (2009) souligne le rôle déterminant de Fine dans la conception de la seconde version de l'ouvrage de Münster (1533) *Horologiographia* qui deviendra par la suite une œuvre extrêmement influente. Toujours selon Eagleton (2009), Clavius (*Gnomonices*, 1581) et Kircher (*Ars magna lucis et umbrae*, 1646) avouent s'être beaucoup inspiré de Fine, et n'expriment quant à eux, que quelques réserves ponctuelles focalisées sur un ou deux instruments en particulier.

3 L'œuvre gnomonique d'Oronce Fine

Œuvres publiées de son vivant

- *Descriptio partium, et succinta utilitatum elucidatio quadrantis cujusdam universalis. . . Orontio Fineo. . . auctore ; Lutetiae Parisiorum impressa : Nicolaum Savetier, (1527).*

Livre sur les usages du *Quadrant novus*.

- *Orontii Finei Delphinatis, liberalium disciplinarum professoris regii, Protomathesis : Opus varium, ac scitu non minus utile quam jucundum, nunc primum in lucem foeliciter emissum. Cujus index universalis, in versa pagina continetur ; Paris : Gérard Morrhy, Jean Pierre (1532).*

Livre majeur d'Oronce Fine, en 4 parties, dont seule la dernière concerne la gnomonique. Cette partie est elle-même divisée en quatre livres. Dans ces quatre livres, Fine présente un panorama couvrant beaucoup de cadrans et selon Eagleton (2009), il s'agit d'un des textes fondateurs de la gnomonique. D'après Dutarte (2006 p. 215), le texte de 1527 est intégré dans les livres 3 et 4 de cette partie, ce qui ne semble pas être exact.

- *Orontii Finei Delphinatis, regii mathematicarum professoris. Quadrans astrolabicus, omnibus Europae regionibus inserviens : Ex recenti & emendata ipsius Auctoris recognitione in ampliorem, ac longe fideiorem redactus descriptionem ; Paris : Simon de Colines (1534).*

Ce texte est présenté comme la seconde édition de l'ouvrage de 1527 par Hillard & Poulle (1971) ; la comparaison avec le *Protomathesis* montre qu'il s'agit d'un texte, en 57 propositions, très différent de ce dernier (en 7 + 21 propositions).

Œuvres posthumes

Annuli astronomici, instrumenti cum certissimi, tum commodissimi, usus, ex variis auctoribus, Petro Beausardo, Gemma Frisio, Ioãne Dryandro, Boneto Hebraeo, Burchardo Mythobio, Orontio Finæo, una cum meteoroscopio per Ioãnẽ Regiomontanum, & annulo non universali M.T. auctore ; Lutetiae : apud Gulielmum Cavellat, (1558)

Il s'agit d'un recueil dont un seul chapitre *Compendiaria tractatio de fabrica & usu annuli astronomici* est signé Fine : c'est un extrait de *Protomathesis*.

Orontii Finei Delphinatis, regii mathematicarum professoris, De solaribus horologiis, & quadrantibus, libri quatuor. Sequens pagina summa librorum capita tibi expediet, apud Gulielmum Cauellat, Parisiis, in pingui gallina (1560).

C'est la ré-édition de la quatrième partie du *Protomathesis*, elle fut initiée par les enfants de Fine qui, laissés dans la misère par la mort de leur père, espéraient en tirer quelques ressources financières. Le texte est inchangé, mais les figures sont légèrement différentes (fig. 3). Signalons à ce sujet que généralement Fine réalisait lui-même la gravure de ses figures, il a même réalisé la gravure des figures d'autres auteurs (Hillard & Poulle 1971). Il est probable que Fine avait prévu cette ré-édition⁶, et avait réaliser les matrices des dessins pour cette future édition. Après sa mort, ses enfants auraient utilisé ces figures avec l'ancien texte non modifié pour constituer cet ouvrage.

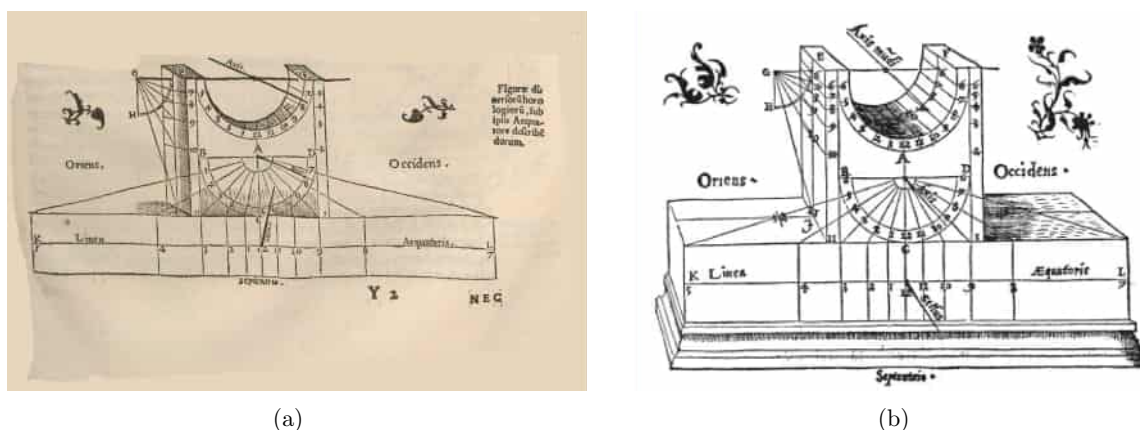


FIGURE 3 – Deux figures équivalentes des ouvrages de 1532 (a) et 1560 (b). Le texte est toujours inchangé.

Opere di Orontio Fineo del Delfinato : diuise in cinque parti - arimetica, geometria, cosmografia, & oriuoli / tradotte da Cosimo Bartoli . . . ; et gli specchi / tradotti dal caualier Ercole Bottrigaro. . . In Venetia : Presso Francesco Franceschi senese, (1587).

Opere di Orontio Fineo del delfinato : diuise in cinque parti; aritmetica, geometria, cosmografia, e oriuoli, tradotte da Cosimo Bartoli,. . . Et gli spechi, tradotti dal caualier Ercole Bottrigaro. . . ; Venetia, presso Gio. Giacomo Hertz (1670).

Les deux traductions en italien du *Protomathesis*.

Le contexte de l'époque

Avant 1520, il n'existait pas d'ouvrage de gnomonique tel que l'on le conçoit maintenant. Cela ne veut pas dire qu'il n'existait pas d'écrits qui circulaient en Europe, mais, si l'on en croit Eagleton (2009), il s'agissait de recueils hétéroclites d'œuvres manuscrites médiévales, apparemment d'origine allemande, en grande majorité très altérées par le processus de copies et re-copies successives. Ces documents étaient, en grande partie, scientifiquement faux ! Curieusement aucun manuel arabe ne semble être parvenu intact, contrairement à ce qui s'est passé à cette époque pour d'autres disciplines (Médecine, Astronomie, Arithmétique. . .). Entre 1520 et 1540, la situation a brutalement changée, et plusieurs auteurs, dans différentes parties

6. Il avait déjà re-publié de façon indépendante les trois premières parties *Protomatheus* en 1542 et 1544.

de l'Europe ont publié des ouvrages imprimés visant à rationaliser et nettoyer la bibliographie ancienne, ainsi qu'à présenter un tableau le plus exhaustif et le plus exact possible de la gnomonique. Il s'agit vraiment d'une période charnière, voire fondatrice. Il faut probablement insister sur le fait que le but principal de ces auteurs était, non pas d'inventer de nouveaux instruments⁷, mais de présenter rigoureusement les anciens⁸.

Parmi ces auteurs on peut citer (liste non exhaustive) :

- Albrecht Dürer qui dans sa géométrie *Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheit, in Linien, Ebenen unnd gantzen corporen*, Nürnberg de 1525 présente quelques cadrans solaires (p. 108–114) tracés au compas et à la règle.
- Pierre Apian et son mystérieux⁹ *Liber de umbris ad horologium confectionem*. Landshutt qui semble ne pas nous être parvenu (1524).
- Pierre Apian : *Liber Cosmographicus* (1524) où la gnomonique est secondaire, mais où est présenté le nocturlabe et la célèbre volvelle. Ce livre fut traduit en français dès 1544.
- Georges Hartmann, avec un livre resté manuscrit (1527), qui a été traduit et commenté par Lamprey (2002). Les premiers chapitres doivent énormément à Dürer qui, comme Hartmann était de Nuremberg.
- Sébastien Münster avec *Compositio horologiorum, in plano, muro, truncis, anulo, con concavo, cylindro & variis quadrantibus, cum signorum zodiaci & diversarum horarum inscriptionibus*. Bâle, H. Petri, (1531). Ce livre doit aussi beaucoup à Dürer (fig. 4).

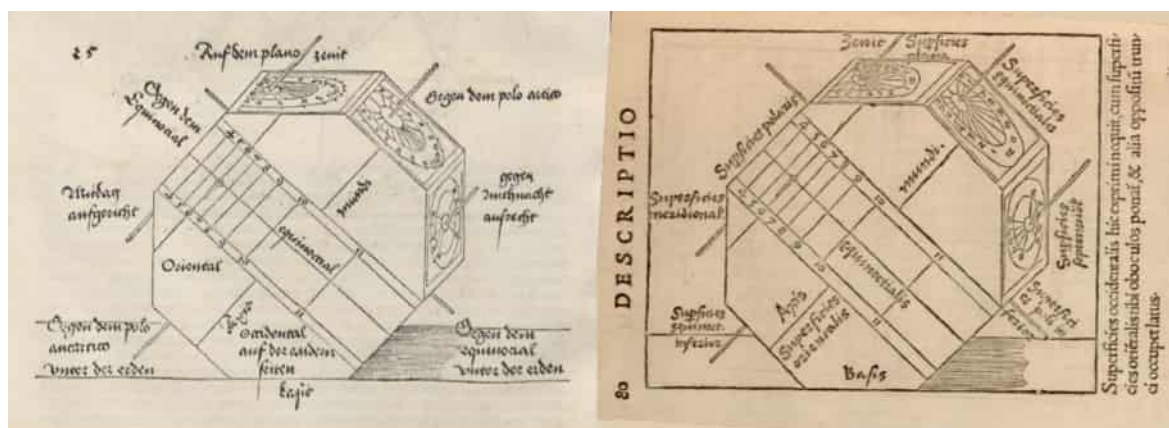


FIGURE 4 – Deux figures équivalentes dans les livres de Dürer (1525) et Münster (1531).

- Oronce Fine et son *Protomathesis* (1532), de facto objet principal de cette étude. En première approximation (comparaison des figures), il ne semble pas avoir été directement influencé, ni par Dürer, ni par Münster, ni par Apian bien que l'on y retrouve la célèbre volvelle de ce dernier, mais avec quelques différences.

7. Fine, dans son introduction à la partie gnomonique de *Protomathesis* revendique des découvertes personnelles, mais il n'en dit pas plus. Il s'agit probablement de l'horloge hydraulique et d'un quadrant particulier qu'il décrit dans les livres II, III et IV.

8. Nicholas Kratzer (né en 1487 à Munich, mort à Londres après 1550), qui a fait toute sa carrière à la cour d'Henri VIII en Angleterre) s'inscrit dans la même démarche. Il ne nous a pas laissé d'ouvrage écrit, mais quelques instruments survivants et les tableaux de Holbein témoignent de son oeuvre (North 2004). Il est connu pour avoir ramené, quand il est arrivé en Angleterre en 1517–18, des copies de manuscrits médiévaux, provenant du monastère de Maurbach situé près de Vienne, qui ont inspiré son travail de gnomoniste (Pattenden 1979).

9. Il est cité dans la *bibliographie internationale de gnomonique* de Nicolas Severino. Je n'ai pas trouvé d'autres informations.

- Sébastien Münster avec *Horologiographia, post priorem aeditionem per Sebast. Munsterum recognita, et plurimum aucta atque locupletata, adjectis multis novis descriptionibus et figuris*. In-n° 4, pièces limin., 336 p., fig., pl., fig. Basileae : excudebat H. Petrus, (1533). Il s'agit d'une reprise du livre de 1531, qui faisait 210 pages environ, enrichi fortement (pour atteindre 400 p. environ), notamment par des reprises importantes du *Promathesis* (fig. 5).

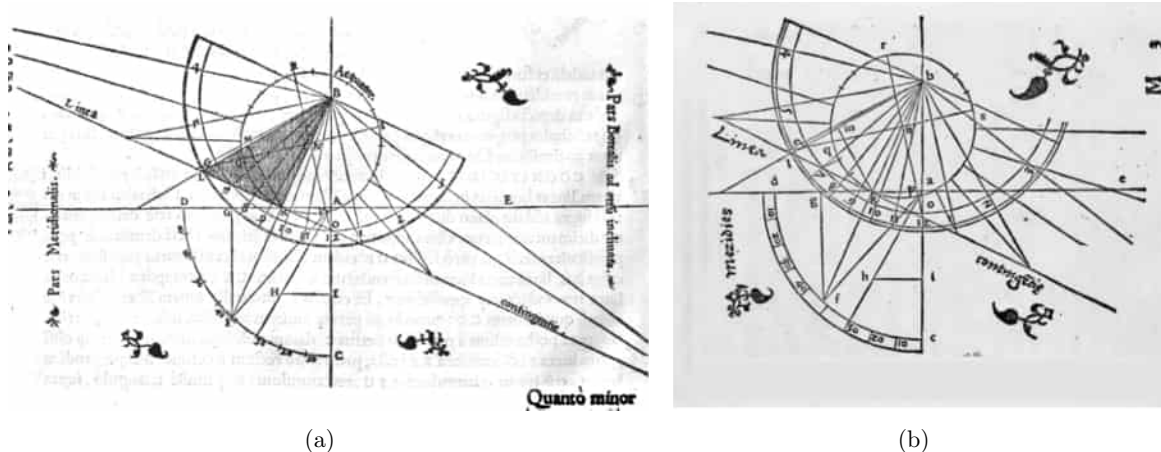


FIGURE 5 – Deux schémas tirés respectivement de Fine (1532) et Münster (1533) illustrant un des emprunts de ce dernier.

4 Le Livre I de la quatrième partie du *Protomathesis*

Nous allons maintenant parcourir et analyser l'ouvrage de Fine. Pour cela, nous disposons de deux aides précieuses : une traduction très simplifiée / commentaire succinct, en anglais, en trois petits brochures totalisant 75 pages (Drinkwater, 1990, 1993a & 1993b) et une traduction des livres III et IV de la version italienne, réalisée par Marie-Agnès Pédaillé et qui était incluse dans le site Web de Philippe Dutarte (Instruments mathématiques anciens), site actuellement disparu. Ce présent article ne traitera que du Livre I qui correspond aux cadrans *classiques* et au *nocturlabe*.

Après une page de titre / sommaire, une courte introduction et le titre du Livre I (*Premier livre sur la composition et l'utilisation des cadrans solaires communs de toutes sortes, où les heures sont marquées par l'ombre d'un Gnomon sur des plans et autres surfaces*), Oronce Fine rentre directement dans le vif du sujet.

Livre I; Proposition 1

Le titre est :

Un diagramme donnant l'information nécessaire pour faire des cadrans solaires horizontaux, verticaux, ceux qui sont (déclinants), ceux qui sont inclinés et ceux qui sont (orientés plein est ou plein ouest).

Ce titre est la seule indication sur le but de cette Proposition, la construction géométrique débute immédiatement, il s'agit de construire un outil intermédiaire qui sera utilisé ensuite

dans la construction géométrique de différents cadrans. L'auteur localise ses premiers exemples à la latitude de 48° N. (Paris). Je vais plutôt utiliser ici 55° N., de façon à ce que, en s'éloignant de 45°, il y ait moins d'ambiguïtés causées par des impressions de symétrie qui n'existent pas.

La construction proposée est résumée à la figure 6. Les lettres sont celles de Fine (sa figure du *fol. 158 v*), les couleurs caractérisent les deux étapes de la construction (noir, puis rouge), r et R représentent les rayons de respectivement du petit et du grand cercle. Notons que le petit cercle n'a qu'une valeur conceptuelle (cercle équinoxial) et ne sera pas utilisé par la suite.

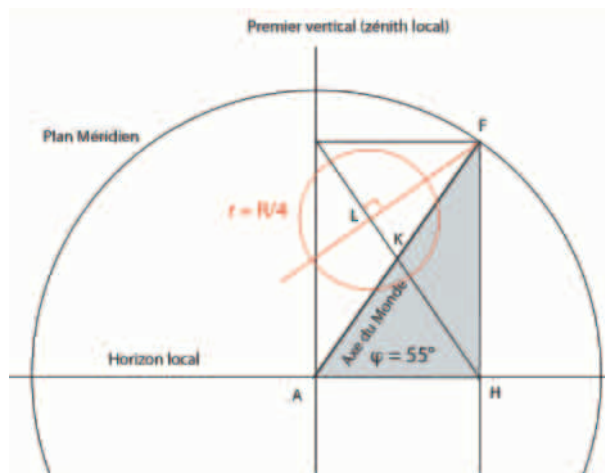


FIGURE 6 – Construction géométrique intermédiaire utilisée par Fine pour une des méthodes de dessin des cadrans horizontaux et verticaux. Le triangle grisé est le triangle gnomonique ; le cercle rouge est le cercle équinoxial.

Livre I; Proposition 2

Il s'agit maintenant d'utiliser ce dessin préparatoire pour dessiner un cadran horizontal. La construction de Fine est synthétisée à la figure 7 (figure originale : *fol. 159 v*). Les étapes de la construction sont indiquées par les couleurs, respectivement noir, rouge, vert. Dans un premier temps on trace le triangle grisé de la figure précédent, mais en faisant en sorte que sa base horizontale (AH) devienne verticale (EF, homologue de AH dans la nouvelle figure).

F est le centre du cercle du futur cadran. Puis on localise G en se servant de la distance EG. Nous reviendrons sur cette valeur qui mérite discussion. À partir de G on trace les rayons espacés de 15° qui recoupent la ligne horizontale passant par E. Ces points d'intersection, joints à F matérialisent les premières lignes horaires du cadran horizontal, les autres sont tracées par symétrie. Fine explique que pour connaître le nombre d'heures à tracer avant 6 h et après 18 h, il faut se référer à sa cosmographie et à la méthode de détermination des heures maximales de lever et coucher du Soleil selon

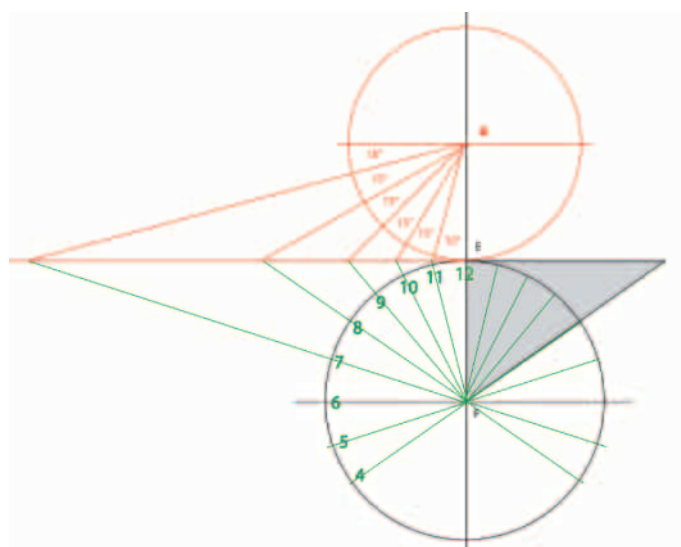


FIGURE 7 – La première méthode de construction du cadran horizontal (voir texte).

la latitude du lieu. Puis il indique comment utiliser la forme du triangle grisé comme porte ombre, précise qu'il peut être rabattable dans le cas d'un cadran portable, auquel cas on peut adjoindre une boussole. Enfin Fine discute des limites de la construction graphique et promet une méthode mathématique dans la suite de son ouvrage (Prop. 5).

Voyons maintenant la question de la valeur du EG de la figure 7 page précédente. Fine, dans son texte dit que cette valeur est égale à FK , ou AK , de la figure précédente (fig. 6). Cette affirmation est reprise aussi bien dans le *De solaribus horologiis, & quadrantibus* que dans les éditions italiennes de *Protomathesis*. C'est clairement une erreur, la bonne valeur est FL (Drinkwater, 1990). Ce n'est probablement pas une erreur typographique : les deux segments FK et AK sont bien indiqués à la place de FL. Ce n'est pas non plus un erreur de raisonnement car FK est égal au demi rayon du cercle de la figure 6 page ci-contre, c'est une constante qui ne dépend pas de la latitude. . . or le fait même que Fine construise cette figure montre qu'il est conscient qu'il faut tenir compte de cette latitude pour dessiner le cadran. Par ailleurs, on constate sur la figure 6 que la seconde étape de la construction (en rouge) serait inutile si la valeur de FK suffisait pour déterminer EG. Il s'agit donc probablement d'une faute d'inattention lors de la rédaction. Ce point n'est pas anecdotique dans la mesure où cette erreur a été utilisée par Pedro Nunes, en 1546, pour rejeter l'ensemble de la gnomonique de Fine.

Le livre de Nunes (1546), *De erratis Orontii Finaei* (Des erreurs d'Oronce Fine, fig. 2 page 83), est présenté comme une critique strictement scientifique du travail de Fine, en fait, et Leitão (2009) l'a très bien montré, d'autres considérations, plus terre à terre¹⁰, président à sa publication. Cet ouvrage¹¹, dont il existe trois éditions (1546, 1571 et 1592) est constitué de 19 chapitres dont les deux derniers sont consacrés à la gnomonique. Le chapitre 18 évoque les erreurs que Fine commet dans sa présentation du *Nocturlabe* (Prop. 18 du Livre I). Le chapitre 19 traite des cadrans solaires horizontaux et verticaux (Prop. 1 à 3 du Livre I); nous verrons plus loin pourquoi, selon moi, Nunes ne présente pas ses critiques dans l'ordre de l'ouvrage de Fine.

Nunes commence son chapitre 19 par cette phrase :

Permettez-nous de parvenir à la conclusion que les descriptions des horloges horizontales et verticales que Oronce décrit dans (son) livre sont toutes deux fausses. Et ce qui deviendra évident lorsque le processus de construction des horloges sera connu.

Puis il commence sa propre démonstration sans avoir essayé de comprendre, ou de corriger l'erreur de Fine. Contrairement à ce dernier, il passe beaucoup de temps à justifier la construction qui viendra ensuite. Cette justification est construite autour d'un schéma 3D (fig. 8 page suivante), pas très habile en ce qui concerne la perspective, mais où l'on reconnaît le cercle équinoxial (en haut) et le futur cadran horizontal (en bas), incliné, l'un par rapport à l'autre, de l'angle complémentaire à la latitude. Le style polaire correspond au segment lc et, lm et cr illustrent un exemple de ligne horaire dans respectivement, le cercle équinoxial et dans le cadran. La démonstration mathématique, sans aucune formule, est lourde et très difficile à suivre, même quand on sait où l'auteur veut nous emmener. Puis il propose sa propre construction qui diffère de celle de Fine avec, notamment, l'absence de construction préliminaire, et le fait que les deux cercles sont construits dans l'ordre inverse; d'abord le cercle équinoxial (dont on fixe arbitrairement le rayon), puis le cadran (dont il faut établir le rayon) (fig. 8 page suivante). Nunes nous dit que le rayon du cercle du cadran (en bas) est égal au segment at , avec l'angle abt , égale à la latitude du lieu. Il est facile de démontrer, par le théorème des triangles

10. À l'époque de la publication, Nunes avait besoin de signer un ouvrage « marquant » pour intégrer le corps enseignant de l'Université de Coimbra, car il n'avait pas les titres Universitaires requis (voir Leitão 2009).

11. Dont Fine ne semble jamais avoir tenu compte, ce qui semble particulièrement énerver certains commentateurs ultérieurs (voir Leitão 2009).

semblables, que la solution de Nunes est absolument équivalente à celle de Fine corrigée de l'erreur mentionnée plus haut. La méthode de Nunes n'en est pas moins plus simple et plus élégante.

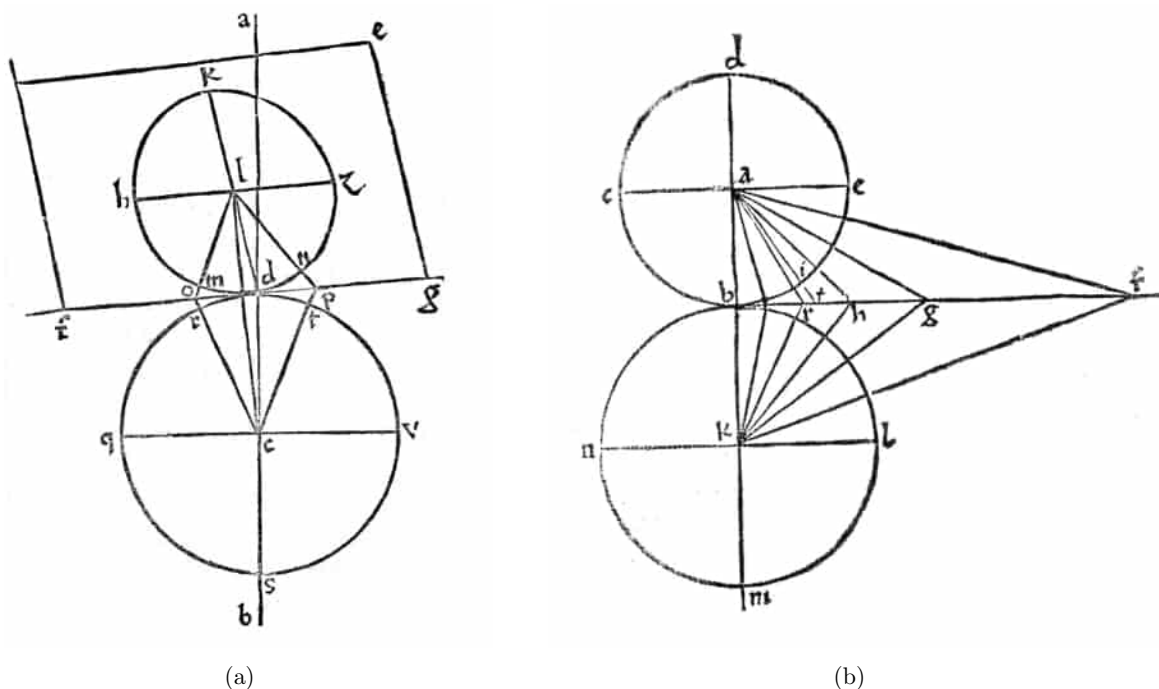


FIGURE 8 – (a) Le schéma 3D explicatif de Nunes (1546), voir texte et (b) construction du cadran horizontal selon Nunes (1546), voir texte.

Après avoir traité les cadrans verticaux, sur lesquels nous reviendrons, il conclut : ce chapitre et ... son livre, par cette condamnation sans appel :

C'est évident d'après ce que nous avons montré ; et donc toutes les horloges qui sont faites selon les règles d'Oronce sont fausses. Il n'est pas opportun maintenant d'examiner ce que Oronce expose au sujet des (autres) horloges ...

Comme nous l'avons vu, l'erreur n'est peut-être pas aussi définitive que l'affirme Nunes, par ailleurs, il semble un peu exagérer de condamner les quatre livres de gnomonique sur la base des 2 ou 3 premières propositions du Livre I. Mais il y a pire (!) et nous verrons lors de l'examen de la proposition 4 que Nunes est très certainement de mauvaise foi dans cette critique.

Il est intéressant de remarquer que Bullant, qui dans son édition de 1561 du *Recueil d'horlogiographie, contenant la description, fabrication et usage des horloges solaires*, premier traité de gnomonique en Français, utilise la méthode de Nunes (dessin initial du cercle équinoxial), alors que manifestement, et il le reconnaît, il emprunte beaucoup au très excellent, et très docte mathématicien Oronce Finé. C'est également la méthode de Nunes qui est utilisée par Vinet en 1564 dans son *La manière de fere les solaires, que communement on apele quadrans* qui, lui, se réfère directement à son grand ami Paro Nunes docteur Portugalois (sic).

Enfin, et ce sera quasiment général dans son ouvrage, Fine ne parle pas de longueur du style, ni de dessin d'arc de déclinaison ; mais cela est bien entendu scientifiquement lié.

Livre I; Proposition 3

Le sujet en est la construction d'un cadran vertical plein sud. La procédure est, classiquement, très proche de celle qui concerne un cadran horizontal. Il suffit, de remplacer la latitude par la co-latitude, de compter les lignes horaires dans le sens anti-horaire, en limitant leur tracé à l'intervalle 6 h–18 h. C'est ce qu'explique Fine; en pratique il utilise de nouveau son dessin préparatoire de la proposition 1, et commet la même erreur en utilisant AK ou lieu de FL pour déterminer le diamètre du cercle du cadran. Bien entendu Nunes considère que toute la procédure est fautive.

Livre I; Proposition 4

Dans cette proposition, Fine nous indique une solution alternative pour tracer les cadrans horizontaux et verticaux sans dessin préparatoire. Son explication englobe les deux types de cadrans (fig. 9(a)), je vais détailler ici la procédure pour le cadran horizontal qui correspond à la moitié basse de son dessin.

Tout d'abord (fig. 9(b)) on trace un cercle équinoxial avec les lignes horaires coupant la ligne horizontale tangente au cercle (en noir). Puis on trace la ligne AF dont l'inclinaison sur l'horizontal est égale à la latitude (co-latitude si on avait choisi de tracer le cadran vertical). On détermine le point G, centre du futur cadran horizontal, tel que $CG = AF$ (en rouge). Puis on trace les différentes lignes horaires du cadran à partir de G (en vert) et les numérote selon les principes énoncés précédemment.

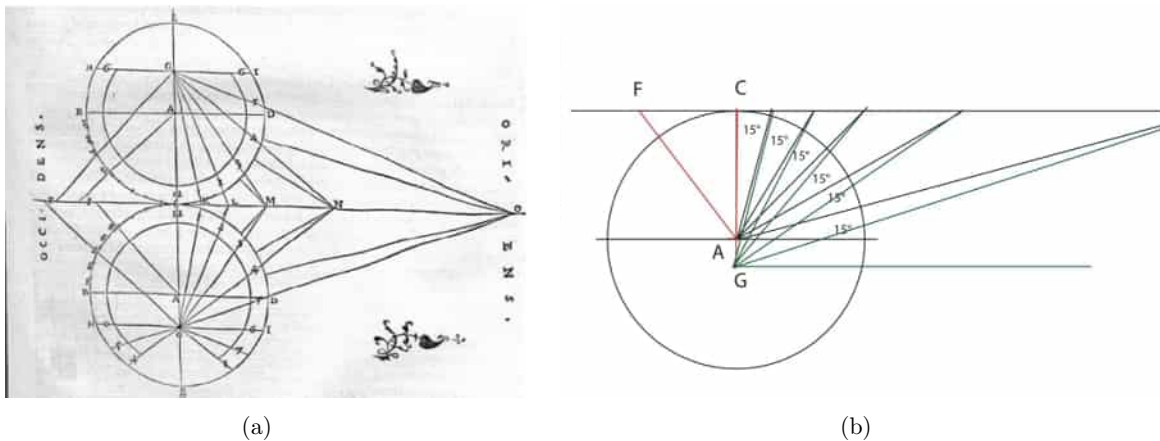


FIGURE 9 – (a) La seconde méthode de Fine pour tracer un cadran horizontal et vertical et (b) les différentes étapes de la construction pour le cadran horizontal. Cette méthode est strictement équivalente à celle de Nunes (1546)!

On remarque que cette procédure est strictement la même que celle de Nunes. La nuance est que les deux cercles (équinoxial et du cadran) sont ici superposés. Qu'en dit Nunes? Rien! Justement car il a arrêté son analyse à la fin de la proposition 3 ce qui lui permet le jugement mentionné plus haut... à mon avis, on peut sérieusement se poser des questions sur son objectivité; ce questionnement apparaît déjà, mais pour d'autres raisons, dans l'analyse de Leitão (2009).

On peut aussi se demander pourquoi Fine n'a pas présenté directement cette méthode qui est nettement plus simple et plus élégante que celle de ses propositions 1 à 3.

Livre I; Proposition 5

Fine tient ici sa promesse de nous donner une méthode mathématique pour définir les lignes horaires. Il s'agit donc d'une méthode trigonométrique. Cette trigonométrie est très éloignée des standards qui sont les nôtres, avec notamment des résultats en fractions sexagésimales (au lieu de l'actuelle valeur décimale inférieure à 1). La figure 10, illustre l'exemple donné par Fine pour illustrer sa méthode : c'est le calcul de la ligne de 10 h (ou 14 h) sur un cadran horizontal à 48° N. de latitude. On remarquera la présentation en tableau qui constitue un progrès pédagogique majeur par rapport aux textes mathématiques de cette époque (mais on est encore loin de la présentation en équation).

Formula calculi arcus Horizontalis.	Arcus.		Sinus recti.	
	Gra.	Min.	partes	min. sec.
Altitudopoli arctici data.	48	0		
Complementum eiusdem altitudinis.	42	0	40	8 52
Distancia à Meridiano.	30	0	30	0 0
Arcus primo reperitur.	19	33	20	4 26
Complementum distantie à Meridiano.	60	0	51	37 41
Complementum arcus inuenti.	70	27	56	32 27
Arcus productus	66	47	55	8 25
Arcus Horizontalis desideratus.	23	13		

- 1) Prenez la latitude 48° de 90° = 42°.
- 2) Le sinus de 42° est 40 8' 52" (A).
- 3) La ligne de 2 heures est à 30° du méridien.
- 4) Le sinus de 30° est à 30 0' 0" (B).
- 5) Multipliez (A) par (B) et divisez le résultat par 60 = 20 4' 26".
- 6) 20 4' 26" = 19° 33' (C).
- 7) Prenez 30° à partir de 90° = 60°.
- 8) Le sinus de 60° est 51 57' 41" (D).
- 9) Prendre 19° 33' (C) à partir de 90° = 70° 27'.
- 10) Le sinus de 70° 27' est 56 32' 27" (E).
- 11) Multipliez (D) par 60 et divisez-le par (E) = 55 8' 25".
- 12) 55 8' 25" = 66° 47'.
- 13) Prenez 66° 47' de 90° pour obtenir 23° 13' : l'angle de la ligne de 2 heures dans le cercle horizontal requis !

FIGURE 10 – Exemple numérique, choisi par Fine, pour illustrer le calcul du cadran horizontal et traduction, avec les conventions actuelles d'après Drinkwater (1990).

Fine complète cette proposition avec le tableau de lignes horaires pré-calculées pour toutes les latitudes (en degrés entiers) de 35 à 55 (cadran solaire horizontal (colonne 1) et cadran vertical orienté vers le sud (colonne 2)). Ce tableau, dont la figure 11 page suivante propose une retranscription avec un calcul d'erreur (en minute d'angle) par rapport au calcul actuel. On constate que le résultat est excellent. La méthode numérique de Fine, et les tables trigonométriques qu'il a utilisées, sont remarquablement précises. On notera que la seule coquille de ce tableau (5 h/7 h, 38° N.) est recopiée dans la version de 1560 (!).

Livre I; Proposition 6

Dans cette proposition, Fine indique comment transformer le tableau précédent en un abaque auquel il donne la forme d'un quadrant.

Livre I; Proposition 7

Son titre est :

Des cadrans solaires, horizontaux et verticaux, qui sont conçus pour être transportés par les voyageurs, tout en étant adaptés au climat particulier dans lequel ils se trouvent, quelle que soit l'altitude du pôle Nord à cet endroit.

Il ne s'agit pas de proposer un cadran véritablement universel, mais plutôt des cadrans composites, avec plusieurs échelles horaires dépendantes de la latitude (climat dans le langage de l'époque). Fine illustre :

- un cadran horizontal (fig. 12(a) page ci-contre), avec, et c'est implicite, un style unique à inclinaison réglable, ce qui évoque les cadrans Butterfield du XVIII^e siècle.

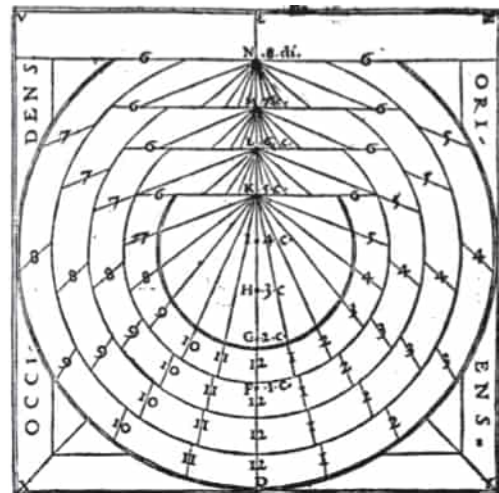
Cadran Horizontal	Cadran Vertical Sud	11h-13h		erreur (min.)	10h-14h		erreur (min.)	9h-15h		erreur (min.)	8h-16h		erreur (min.)	7h-17h		erreur (min.)	6h-18h		erreur (min.)
Latitude (°)	Latitude (°)	degr.	min.		degr.	min.		degr.	min.		degr.	min.		degr.	min.		degr.	min.	
35	55	8	43	1	18	18	1	29	49	1	44	49	0	64	58	0	90	0	0
36	54	8	57	0	18	46	-1	30	26	1	45	30	1	65	29	1	90	0	0
37	53	9	10	0	19	9	1	31	2	0	46	11	0	66	0	0	90	0	0
38	52	9	22	0	19	34	0	31	37	0	46	50	0	69	29	-180	90	0	0
39	51	9	33	1	19	58	0	32	11	0	47	28	0	66	55	1	90	0	0
40	50	9	45	1	20	21	1	32	44	0	48	4	0	67	21	1	90	0	0
41	49	9	57	1	20	44	1	33	16	0	48	39	0	67	47	0	90	0	0
42	48	10	10	0	21	7	0	33	46	1	49	12	1	68	11	0	90	0	0
43	47	10	22	-1	21	29	1	34	18	0	49	44	1	68	33	0	90	0	0
44	46	10	32	1	21	51	0	34	47	0	50	16	0	68	54	0	90	0	0
45	45	10	43	1	22	12	0	35	17	-1	50	46	0	69	15	0	90	0	0
46	44	10	54	1	22	33	0	35	44	0	51	15	0	69	35	-1	90	0	0
47	43	11	5	0	22	53	1	36	11	0	51	42	1	69	53	0	90	0	0
48	42	11	17	-1	23	13	0	36	37	0	52	9	0	70	11	-1	90	0	0
49	41	11	25	1	23	33	0	37	3	0	52	35	0	70	28	-1	90	0	0
50	40	11	35	1	23	52	0	37	28	-1	53	0	0	70	43	0	90	0	0
51	39	11	45	1	24	9	1	37	52	-1	53	24	-1	70	59	0	90	0	0
52	38	11	55	0	24	27	1	38	15	-1	53	46	0	71	13	0	90	0	0
53	37	12	5	0	24	43	2	38	37	0	54	8	0	71	28	-1	90	0	0
54	36	12	13	1	25	2	0	38	58	0	54	29	0	71	41	-1	90	0	0
55	35	12	22	1	25	18	1	39	19	0	54	49	0	71	54	-1	90	0	0

FIGURE 11 – En noir : retranscription du tableau de Fine des valeurs des angles des lignes horaires pour un cadran vertical et un horizontal construits à des latitudes variant de 35° N 58° N. En rouge, et à droite de chaque valeur, l’erreur commise par rapport à une valeur « moderne ». La seule coquille est entourée en rouge, la bonne valeur est 66° 29’.

- un cadran vertical Sud (fig. 12(b)), mais qui lui possèdent curieusement plusieurs styles (et qui de ce fait devait être illisible, l’ombre utile étant perdue parmi les autres).
- un cadran vertical Nord, c’est le seul mentionné dans tout son ouvrage.



(a)



(b)

FIGURE 12 – Les cadrans horizontaux (a) et verticaux (b) transportables de Fine.

Livre I ; Proposition 8

Après ces considérations opérationnelles (Fine nous a donné le moyen de construire un cadran) il va s’attaquer à la théorie en discutant des cadrans solaires (théoriques) localisés

à l'équateur et au pôle Nord. La discussion va être menée en commentaire de deux blocs gnomoniques ajustés à ces latitudes extrêmes (fig. 3(a) page 85 et fig. 13(a)). Les vues perspectives de ces blocs sont un peu ratées dans le *Protomatheus*, mais mieux réussies dans le *De solaribus horologiis, & quadrantibus* (fig. 13(a) et 13(b)). En plus de cette amélioration, on note des compléments scientifiques comme les lignes horaires de 12 h sur le cadran plein est et plein ouest de la figure 3(b) page 85.

Le bloc prévu pour l'équateur (fig. 3(a) page 85) comprend, en haut, un cadran équatorial avec le style dans l'axe des pôles (horizontal) un cadran vertical plein nord qui est aussi équatorial (il y en a sans doute un présent sur l'autre face de l'équatorial, de l'autre côté du bloc), un cadran vertical plein est et un plein ouest sur les côtés et enfin un cadran dont le tracé est polaire, mais qui est manifestement très mal dessiné. La figure 14 page ci-contre est une proposition de tracé correct. On remarquera que le porte-ombre de ce cadran est qualifié de *stylus* et non de *axis*, comme ceux des cadrans équatoriaux. Cette distinction, très justifiée sur le plan gnomonique, va se retrouver de façon systématique dans la suite.

Le bloc prévu pour la région polaire (fig. 13(a)) comprend un cadran polaire et un équatorial, mais ici, le dessin est correct et ces deux cadrans sont bien perpendiculaires. Manifestement l'erreur précédente résulte plutôt d'un problème de perspective que d'un problème gnomonique.

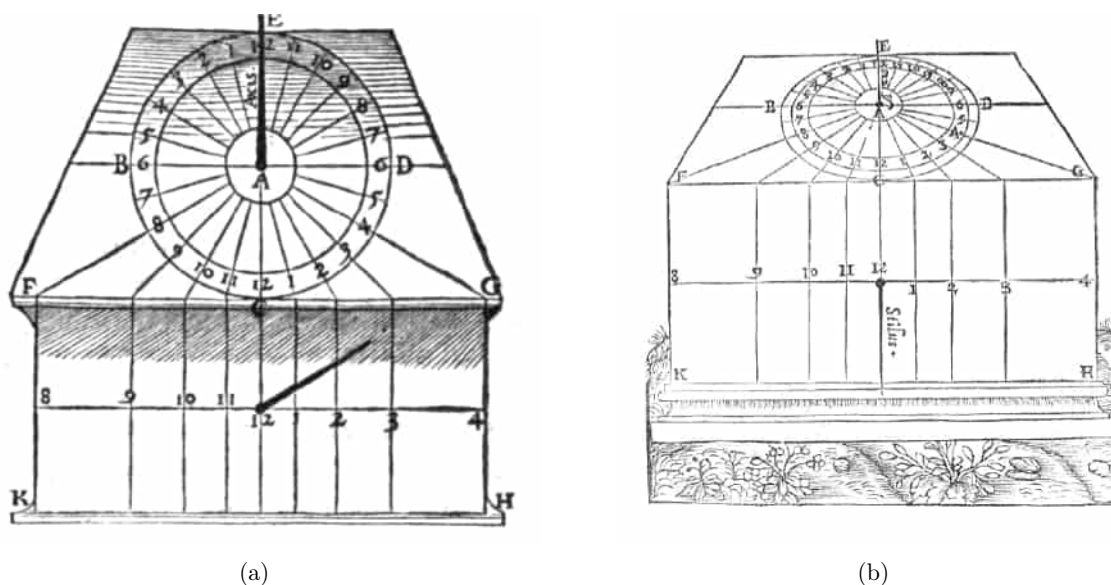


FIGURE 13 – Bloc gnomonique pour le pôle Nord (illustration de 1532 (a) et 1560 (b)).

Puis suivent des explications un peu alambiquées visant à expliquer comment transférer les cadrans précédents sous d'autres latitudes (Drinkwate, (1990, p. 14) dit à ce sujet que cette construction (...) illustre la capacité de l'esprit médiéval à rendre compliqué ce qui est simple !

On remarquera que la longueur du *stylus* est déterminée par la construction. Il aurait donc été possible de tracer des arcs de déclinaison... ce que Fine ne fait jamais, contrairement à Münster (1531) aux pages 91, 107 et 144 pour respectivement les cadrans verticaux, horizontaux et polaires.

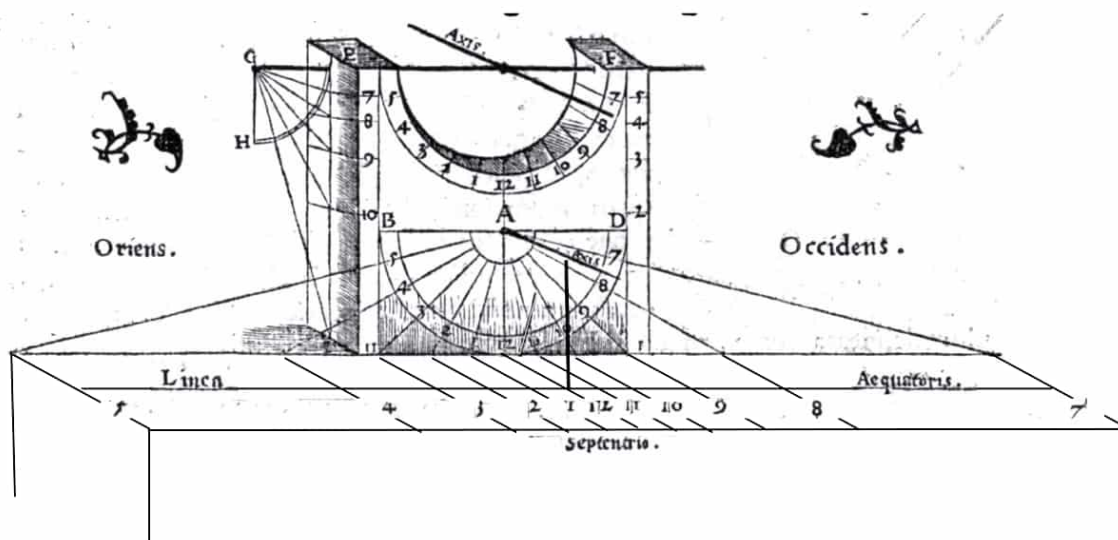


FIGURE 14 – Proposition de correction du bloc gnomonique pour l'équateur (voir fig. 3 page 85) : le cadran polaire doit être horizontal.

Livre I ; Proposition 9

Il s'agit ici de décrire deux cadrans équatoriaux portables. Les dessins (fig. 15 page suivante) souffrent encore d'une perspective défectueuse dans la version de 1532, c'est beaucoup mieux dans celle de 1560. Le premier cadran apparaît comme le prototype de nombreux cadrans que l'on rencontrera pendant tout le XVII^e et XVIII^e siècle. Le second est plus intéressant ; l'échelle de latitude est inversée et c'est le style qui permet de régler l'inclinaison. De plus, on peut provoquer un basculement de 180° de la platine autour de l'axe horizontal de l'étrier. L'échelle horaire de l'hiver se retrouve alors au-dessus, en position été. On obtient ainsi un cadran pour l'hémisphère Sud. Ce cadran est donc vraiment universel (*universum orbe* comme dit Fine en latin). Cette fonction rappelle qu'à l'époque, nous étions en pleine période des *grandes découvertes*, ce genre de préoccupation est révélatrice de l'état d'esprit de l'époque.

Ces deux cadrans portables étaient bien sûr équipés de boussoles. Sur les quatre dessins de la main de Fine dont on dispose (deux pour l'édition de 1532, deux pour celle de 1560), trois ont l'aiguille représentée dans l'axe Nord-Sud. Si on ajoute à cela le fait que Fine ne nous parle jamais de déclinaison magnétique, qui était pourtant d'environ 10° à Paris à l'époque, on doit supposer que Fine ignorait cette particularité. Rappelons que le phénomène était connu, au moins depuis le milieu du siècle précédent et que dès 1451, Georg Peurbach avait réalisé un cadran solaire portatif à boussole qui tenait compte de ce phénomène (voir Mercier, 2015).

Livre I ; Proposition 10

Fine explique ici comment construire un cadran polaire pour une latitude quelconque. Plutôt qu'un dessin en perspective, il nous donne ici un développement du prisme. Curieusement il affirme que le cercle équinoxial utilisé pour la construction des lignes horaires doit avoir le même diamètre que son équivalent dans la proposition 1 ; ce qui est faux et inutile.

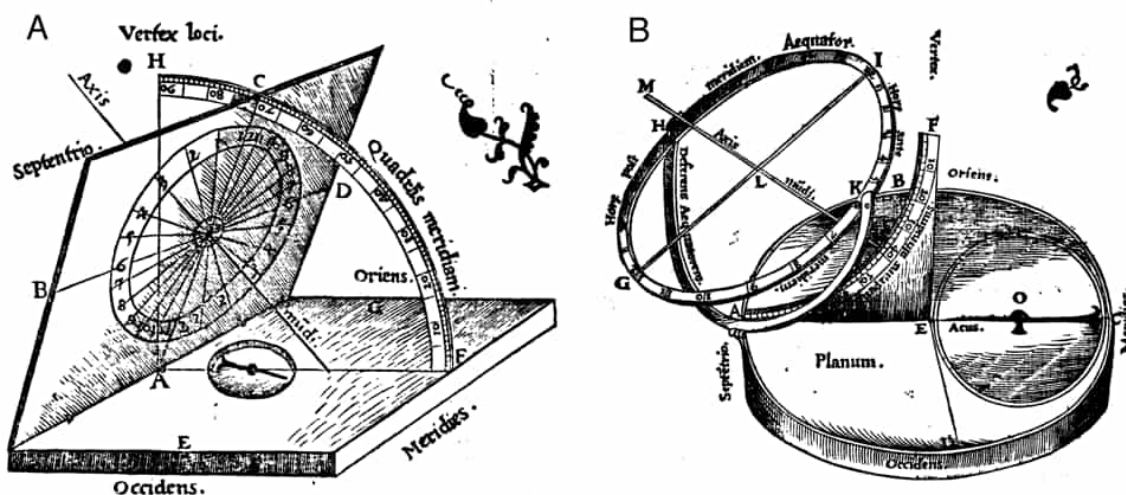


FIGURE 15 – Les deux cadrans équatoriaux portables, il s’agit d’instrument véritablement universels, notamment le second facilement utilisable dans l’hémisphère Sud.

Livre I; Proposition 11

Il s’agit ici d’une nouvelle rédaction de la fin, particulièrement obscure, de sa proposition 8. Les choses sont ici plus claires. Le but est de montrer qu’un cadran incliné plein sud, ou plein nord, est équivalent à un cadran horizontal d’une autre latitude.

Livre I; Proposition 12

On aborde ici le dessin des cadrans verticaux plein est et plein ouest. La méthode est proche de celle que l’on considèrerait maintenant comme classique, mais Fine y ajoute deux complications qu’il faut signaler. Voyons le cadran oriental (fig. 16). Après avoir tracé un cercle et des diamètres correspondants à l’horizon du lieu (à l’horizontal), et à la verticale, on trace la latitude et l’inclinaison de l’écliptique mesurée respectivement à partir l’horizon et de la verticale (en noir). Puis on place un cercle équinoxial du diamètre déterminé à la proposition 1, ce qui permet de tracer une tangente perpendiculaire à la latitude (en rouge). Puis on construit

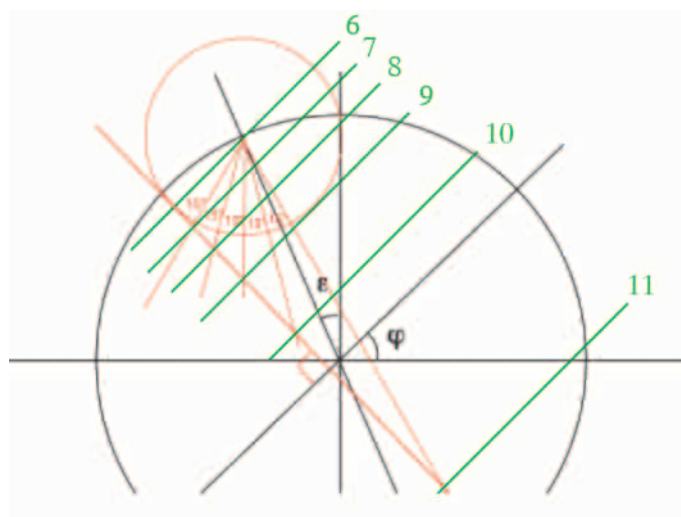


FIGURE 16 – Construction proposée pour réaliser un cadran vertical plein est (voir texte).

les lignes horaires, d’abord de 6 à 11 (12 h serait à l’infini), puis par symétrie les heures d’avant 6 h selon l’heure du lever du Soleil au Solstice d’été (en vert).

Clairement deux anomalies, qui ne remettent pas en cause la justesse du tracé, apparaissent :

- l'utilisation de l'inclinaison de l'écliptique est inutile, le cercle équinoxial peut être placé n'importe où.
- de même, il n'y a aucune raison de fixer le diamètre de ce cercle équinoxial. La seule chose importante c'est que sa tangente soit perpendiculaire à la latitude.

Enfin, et encore une fois, il n'est pas question d'arcs de déclinaison, alors que le fait que la longueur du *stylus* perpendiculaire soit connu (rayon du cercle équinoxial) permettrait leur tracé.

Livre I; Proposition 13

Le titre est :

Comment faire un cadran solaire sur un plan qui se trouve à angle droit de l'horizon, mais qui coupe le méridien à un autre angle qu'un angle droit, à n'importe quelle latitude choisie.

Il s'agit donc de tracer un cadran vertical déclinant. La méthode proposée pour un déclinant oriental est la suivante (fig. 17) (la figure originale est reproduite en fig. 5(a) page 87) ; la solution est symétrique pour le cadran occidental.

Après avoir tracé sur le mur une horizontale et une verticale qui aura valeur de ligne méridienne, on matérialise sur le quadrant, en bas à gauche, la latitude (compté à partir de l'horizontale) et la déclinaison du mur (compté à partir du méridien). Notons que Fine parle d'inclinaison (*inclinacionis angulus*), mais c'est bien de la déclinaison qu'il s'agit. De là, on localise F et G. Puis on trace H tel que $AG = AH$; ce qui permet de localiser K et I. Puis on trace B tel que $BA = GF$. La suite de la procédure est représentée en rouge sur la figure 17. On trace BK, et la grande ligne oblique qui est perpendiculaire à BK, le point O est l'intersection de cette ligne avec le méridien. Puis on localise L tel que $KL = AI$. Le triangle BLK est le triangle gnomonique. On trace KM perpendiculaire à BL et on localise le point N, centre du cercle équinoxial, tel que $KN = KM$. La suite est dessinée en couleur verte. Les axes principaux de ce cercle sont OR, qui passe par N; et QS perpendiculaire, cela permet de définir 4 quartiers qui sont divisés en 6 secteurs de 15° . Les limites de ces secteurs (un seul est dessiner ici pour ne pas encombrer la figure) sont prolongées jusqu'à la grande ligne oblique OKL. Les points d'intersection sont joints au centre B du cadran pour constituer les lignes horaires (seules les lignes 6 et 7 heures sont dessinées ici).

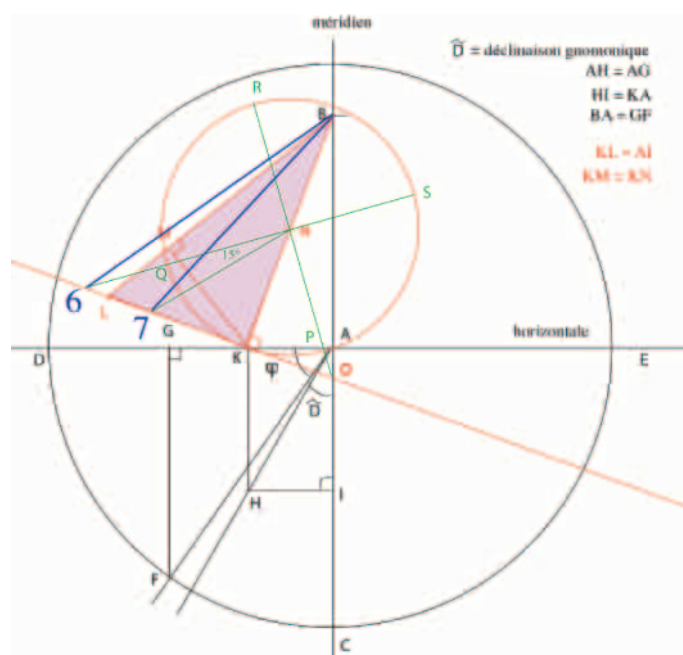


FIGURE 17 – Les étapes de la construction d'un cadran vertical déclinant plein est. Pour la clarté du dessin, seules les lignes horaires 6 et 7 sont dessinées ici (voir texte).

Fine nous dit que le cadran final doit avoir comme rayon la distance LO (Drinkwater, 1990), cela n'a évidemment pas de sens. Ce n'est pas la première fois, cela a déjà été signalé, qu'il

contraint la solution finale sans justification scientifique, sans doute souhaite-t-il accompagner son lecteur jusqu'au bout de la réalisation.

La méthode graphique qui précède n'est pas justifiée, elle semble déjà présente dans Münster (1531, p. 60) mais beaucoup moins détaillée. Le même Münster a repris, en 1533 p. 93, les explications et la figure de Fine (y compris les petites fleurs de décoration et les lettres de la construction géométrique; fig. 5(b) page 87), il faut croire qu'il les a jugés plus satisfaisantes.

Livre I; Proposition 14

Nouvelle preuve des préoccupations pratiques de Fine, il indique ici comment construire un instrument, enfilé sur le style correctement implanté dans un mur selon l'axe du Monde, qui permettra, par projection, de tracer sur le mur les lignes horaires. Cet instrument est évidemment un cadran équatorial. Notons que, pour une fois, le dessin de la version de 1532 est plus réussi que celui de 1560.

Livre I; Proposition 15

Il s'agit ici de réaliser un scaphé, c'est-à-dire un cadran tracé dans une demi-sphère creusée, avec un porte-ombre situé au centre de la sphère. Ce genre de cadran est typique des civilisations gréco-romaines. On est presque surpris de trouver cette référence dans un livre du XVI^e siècle européen.

Le dessin de Fine évoque une projection d'Oughtred (fig. 18). C'est une illusion; ce dessin n'est pas une projection mais une construction en plan de ce qu'il faut faire dans le demi-sphère. Cela ne correspond en aucun cas à une projection de la sphère... mais ce n'est pas ce que cherche à faire Fine. On remarque que, pour la première fois dans ce livre, quelques arcs de déclinaison sont indiqués (Equinoxes et Solstices, nommés équateur et tropiques) et que sont mentionnés à la fois les heures *égales* et les heures *inégales*. Fine nous dit de tracer d'abord, dans la demi sphère, les arcs de déclinaison à l'aide d'un gabarit passant par le centre et correctement incliné (l'équateur selon la latitude du lieu et les deux tropiques à plus et à moins la *maxima solis declinatione* = déclinaison solaire maximale). Puis on divise chacune de ces lignes en segments représentant les heures du jour clair (entre le lever et le coucher du Soleil). Ce chiffre est systématiquement de 6 pour les heures inégales, et dépend des heures de lever et coucher du Soleil pour les heures égales. Puis, il suffit de construire les lignes horaires pour chaque type d'heure.

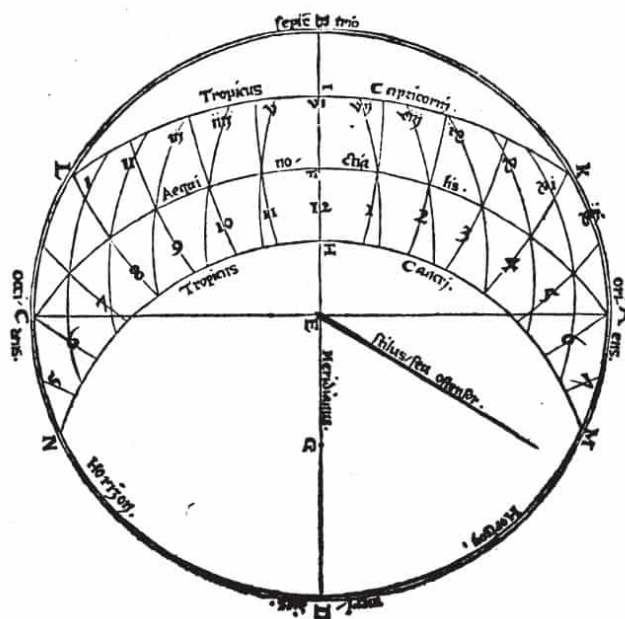


FIGURE 18 – Représentation d'un cadran hémisphérique en heure égales et antiques (inégales). Il s'agit de la transposition directe, à plat, de ce que Fine indique pour réaliser le cadran; ce n'est donc pas une projection rigoureuse.

Ce type de cadran est également décrit par Münster (1531 p. 175). Il semble qu'au début du XVI^e siècle, les cadrans de l'antiquité étaient déjà connus et compris. Jérôme Bonnin¹² m'a, par exemple, indiqué une inscription épigraphique antique relevée par Cyriaque d'Ancône (1392 ?–1452) :

Hodios, fils de Aison, m'a installé ici, moi qui suis divisé par 15 lignes. Il a dessiné ce cadran solaire afin d'honorer Hélios

puis,

L'ombre du gnomon, lorsqu'elle atteint les lignes, indique les heures du jour et les saisons de l'année. La première est celle du solstice d'été, la médiane est celle des équinoxes, la dernière est celle du solstice d'hiver.

On ne peut être plus clair ! Il est donc probable que ce chapitre de Fine soit une allusion directe, mais non explicite, aux cadrans antiques. Dans les siècles suivants ce genre de description restera exceptionnelle dans la littérature gnomonique, ce genre de cadran ne sera plus à la mode.

Livre I ; Proposition 16

Après le cadran semi-sphérique concave, Fine nous propose un cadran convexe construit selon le même principe. Le porte-ombre de longueur quelconque, est cette fois-ci positionné au pôle. Comme le fait remarquer Drinkwater (1990), la pointe cette ombre est incapable de suivre un arc de déclinaison pendant la journée ; seul son azimut est utilisable. En fait, pour être réellement opérationnel, ce genre de cadran demanderait le dessin d'au moins 1 arc de déclinaison par mois (et non par trimestre comme Fine l'indique).

Livre I ; Proposition 17

Comment, à partir de tout ce qu'on vous a enseigné jusqu'à présent, vous pouvez construire un cadran solaire ornemental à multiples facettes pour votre propre latitude.

Il s'agit d'une présentation du bloc gnomonique de la figure 19 page suivante. On note de haut en bas : un cadran hémisphérique convexe, un c. polaire ; un c. vertical plein sud, un c. équatorial, un c. horizontal. Sur la face visible, apparaît un c. vertical plein est (Fine a évidemment prévu le symétrique sur la face cachée, mais apparemment pas de c. vertical plein nord sur la dernière face). On note l'absence de cadran incliné Nord ou Sud (proposition 11), et surtout l'existence d'arcs de déclinaison sur le cadran horizontal dont il ne nous a jamais indiqué la méthode de tracé.

Livre I ; Proposition 18

Fine y décrit la fabrication et l'usage d'un nocturlabe réglé sur l'étoile β UMi. Il illustre la position de cette étoile sur une représentation de la constellation . . . mais le dessin est en miroir par rapport à ce que l'on observe dans le ciel ! Il dit utiliser les données de Regiomontanus pour calculer que cette étoile passe, à minuit, sur la ligne méridienne sous la Polaire, quand le Soleil est au dernier degré de la Balance (soit, à l'époque vers le 13 Octobre Julien) (fig. 20 page suivante). C'est faux, il s'agit en fait du 15^e degré du Scorpion, soit vers le 27 octobre. Évidemment Nunes, s'en est rendu compte et consacre un chapitre à cette erreur. En réalité, il

12. Je remercie ici très sincèrement Jérôme Bonnin, pour sa disponibilité et pour ses précieux renseignements.

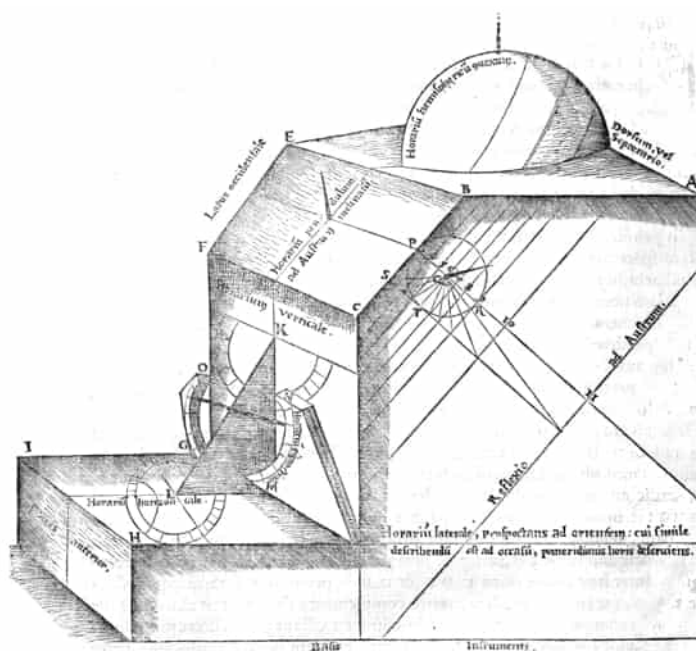


FIGURE 19 – Le bloc synthétique présentant de nombreux cadrans dont le mode de construction a été décrit précédemment par Fine.

signale juste l’erreur en quelques lignes puis consacre un long chapitre (chapitre 18, c’est-à-dire avant le chapitre sur les cadrans horizontaux et verticaux) à une longue démonstration de trigonométrie sphérique pour établir le bon résultat. Une fois encore on a le sentiment qu’il s’agit surtout de démontrer ses propres talents mathématiques.

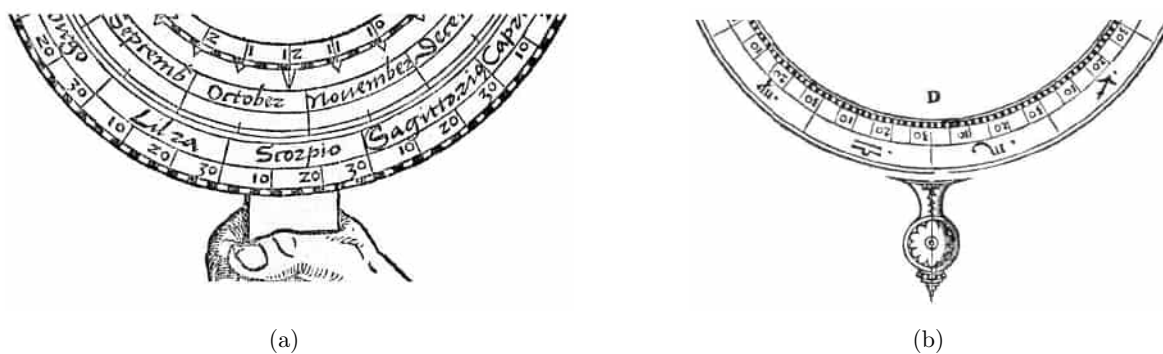


FIGURE 20 – Comparaison de la base du calendrier des nocturlabes de (a) Münster (1531) et (b) Fine (1532) permettant d’illustrer l’erreur de Fine.

Münster (1531) présente également le nocturlabe, mais sans erreur ce qui suggère encore une fois l’indépendance de Fine par rapport à cet auteur. Bullant (1561), que j’ai déjà évoqué, reprend le dessin erroné de Fine, mais avec, dans son texte : la bonne mention du 15^e degré du Scorpion. Quant à Drinkwater (1990), il semble attribuer le décalage entre le nocturlabe de Fine avec un nocturlabe moderne à la seule précession des équinoxes, alors que les 50 minutes de décalage dans le résultat provient surtout de l’erreur de Fine qu’il semble ne pas avoir détecté.

Livre I; Proposition 19

Il s'agit de décrire un cadran à la Lune. Fine reprend le premier des deux cadrans équatoriaux de la figure 15 page 96 et ajoute sur la face supérieure un cercle mobile avec deux graduations concentriques, un divisé en 29,5 jours pour régler l'âge de la Lune, et la seconde, divisée en 24 heures pour lire l'heure *solaire* indiquée par l'ombre du style éclairé par la Lune. Formellement, il faudrait que cet ajout soit également effectué sur l'autre face du cadran équatorial, mais Fine ne semble pas en parler.

Livre I; Proposition 20 (faussement indiquée 19) ¹³

Comment fabriquer des cadrans solaires, horizontaux et verticaux, qui comptent les heures soit à partir du coucher du soleil, soit à partir de l'aube.

Il s'agit de réaliser des cadrans qui utilisent les heures italiennes et les heures babyloniennes, c'est donc d'une bizarrerie du plan, avec un retour sur les cadrans solaires. Fine évoque une série de quatre problèmes plus ou moins équivalents dans leur type de solution. Voyons la construction d'un cadran horizontal italique. Après avoir implanté un gnomon vertical de longueur 12 unités et tracé la ligne méridienne, on calcule la longueur de l'ombre à Midi le jour de l'équinoxe (point L de la figure 21(a)). Cela permet d'implanter la ligne des équinoxes du cadran, perpendiculairement au méridien. Par ailleurs, Fine nous fournit (fig. 21(b)) un tableau (pour la latitude de 48° 40') ¹⁴ donnant la longueur de l'ombre (en unité équivalent au 1/12 du gnomon) au début du Cancer (solstice d'été) et au début du Bélier (Équinoxe de printemps) aux différentes heures de la journée. Comme à ces deux dates la journée dure

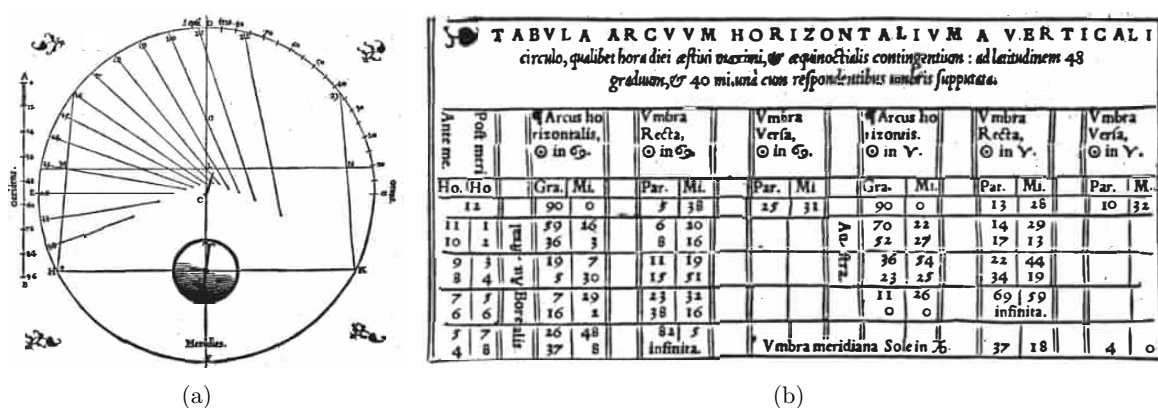


FIGURE 21 – (a) Illustration du tracé du cadran horizontal à heures italiennes; voir texte. (b) Tableau des azimuts (à partir de C) et des longueurs d'ombre (en 1/12 de gnomon) aux différentes heures de la journée à l'Équinoxe et au Solstice d'été (voir texte).

respectivement 16 h et 12 h, (à la latitude choisie!), il est facile de calculer l'heure italique équivalente. Les coordonnées polaires permettent de tracer l'amorce des lignes italiennes qui doivent être prolongées vers l'extérieur. . . mais de combien? Fine donne une indication précieuse

13. Comme d'ailleurs dans la version de 1560 qui suit à la lettre celle de 1532, erreurs typographiques comprises!
 14. Et non 48° comme pour ses premières propositions, ni 48° 30' comme la latitude de Paris dans son Livre de Cosmographie inclus dans le même *Protomathesis* . . . en fait 48° 40' est, d'après sa proposition 7, le milieu du 7^e climat, ce qui lui permet de considérer que la durée du jour le plus long de l'année se compte en un nombre entier d'heures, 16 h 00 min, ce qui simplifie grandement les calculs, dans cette proposition, mais aussi dans de nombreuses autres qui vont suivre dans ce livre et les suivants.

pour déterminer l'ombre maximale du Soleil à Midi (au début du Capricorne), cela pourrait suffire, mais comme d'habitude, il apparait beaucoup plus dirigiste et tient à donner des indications complètes, mais pas forcément nécessaires.

5 Discussion et Conclusion provisoire

Je projette de compléter cette analyse par, à terme, l'étude des 3 derniers livres de la gnomonique du *Protomathesis*. Ces textes ne font pas l'objet de critiques de Nunes. Ce qui ne veut pas dire qu'ils ne contiennent pas d'erreurs, mais il est donc sans doute possible de présenter dès maintenant quelques conclusions provisoires :

- Fine fait preuve de beaucoup pédagogie, il essaye toujours d'accompagner le lecteur dans la réalisation des instruments qu'il présente, notamment les dessins qui représentent l'aboutissement de la construction, conservent souvent les lignes de tracé. Revers de la médaille, le lecteur de base avait sans doute du mal à faire la différence entre les injonctions de Fine relevant d'une vérité scientifique, et celles qui permettent juste de choisir une solution, parmi d'autres, pour avancer dans le tracé.
- conséquence de ce choix, les constructions géométriques ne sont pas ou peu justifiées.
- nous avons vu, tout au long de l'analyse que Fine ne semble jamais avoir plagié les auteurs précédents, son œuvre apparait comme très originale.
- inversement son ouvrage a beaucoup été copié (Münster, Bullant...).
- en dehors du tracé du *Nocturlabe*, les rares erreurs n'apparaissent pas comme des erreurs scientifiques. D'une manière générale le contenu scientifique est excellent... bien loin de l'image qu'en donne certains auteurs.
- la seule faiblesse scientifique notable me semble être le fait qu'il n'évoque pas la construction des arcs de déclinaison, alors qu'à l'époque, Münster (1531) développait cet aspect du tracé (p. 91, 107 et 144 pour respectivement les cadrans verticaux, horizontaux et polaire)¹⁵.

En ce qui concerne les erreurs ou approximations (sans suivre l'ordre de l'ouvrage) :

- l'inclinaison du cadran polaire de la figure 3(a) page 85 est fautive (*cf.* fig. 14 page 95), mais, nous l'avons vu, il s'agit probablement un problème de maîtrise des règles de la perspective et non un problème scientifique.
- la méthode avec construction auxiliaire des propositions 1 à 3 apparaît inutile dans la mesure où Fine propose une méthode plus simple à la proposition 4.
- d'autant que ces 3 premières propositions recèlent une erreur incompréhensible... qui ne peut être ni une erreur typographique, ni une erreur scientifique.
- reste donc l'erreur sur le tracé du *Nocturlabe* qui semble être la seule véritable erreur du Livre I.

Nunes attaque ces deux dernières erreurs, nous avons vu que cela était justifié pour le *Nocturlabe*, mais pour le reste, il utilise les propositions 1 à 3 du Livre I pour condamner l'ensemble des 4 livres

15. Nous verrons, dans un futur article sur le Livre II, que Fine maîtrisait parfaitement les outils théoriques et calculatoires pour tracer des arcs de déclinaison.

(... donc toutes les horloges qui sont faites selon les règles d'Oronce sont fausses. Il n'est pas opportun maintenant d'examiner ce que Oronce expose au sujet des (autres) horloges ...)

Il feint de ne pas se rendre compte que ce n'est pas une erreur scientifique et surtout que dès la proposition suivante on trouve la bonne méthode, celle que lui-même propose dans son livre ! Il est clair que, en ce qui concerne la gnomonique, Nunes n'est pas de bonne foi, Leitão (2009) a expliqué les motivations profondes et l'intérêt qu'avait Nunes de « descendre » Fine ; dans le domaine de la gnomonique il a manifestement été beaucoup trop loin ! Utiliser son analyse pour condamner la gnomonique de Fine, comme le fait Montucla (1799) ou d'autres, est une grave erreur.

À la vue du premier Livre, la gnomonique de Fine apparaît donc comme originale et globalement correcte. Il n'est donc pas surprenant que son œuvre ait ensuite été abondamment plaguée.

Références

- [1] Axworthy A. (2011) : *Le statut des mathématiques en France au XVI^e siècle : le cas d'Oronce Fine*. Thèse Université de Tours.
- [2] Axworthy A. (2020) : *Oronce Fine and Sacrobosco : From the Edition of the Tractatus de sphaera (1516) to the Cosmographia (1532)*. In : Valleriani M. (eds) *De sphaera of Johannes de Sacrobosco in the Early Modern Period*. Springer, Cham.
- [3] Carvalho J. & Leitão H. (2005) : *Pedros Nunes : Obras*; vol. III, *De erratis Orontii Finae...*, Fundação Caloste Gulbenkian. 409 p.
- [4] Delambre J.B. (1819) : *Histoire de l'astronomie du Moyen-âge*, Paris, Courcier, 764 p.
- [5] Drinkwater P.I. (1990) : *A first book of Solar Horology : Oronce Fine*, 32 p.
- [6] Drinkwater P.I. (1993a) : *Oronce Fine's Second book of Solar Horology*, 32 p.
- [7] Drinkwater P.I. (1993b) : *Oronce Fine's Third & Fourth books of Solar Horology*, 11 p.
- [8] Eagleton C. (2009) : « Oronce Fine's Sundials : The Sources and Influences of De Solaribus Horologiis », in Alexander Marr (éd.) *The Worlds of Oronce Fine*. Mathematics, Instruments and Print in Renaissance France, Donington : Shaun Tyas, p. 83–99.
- [9] Escallier E. (1957) : *Aspect d'Oronce Fine*, Ophrys ed., 19 p.
- [10] Goulding R. (2011) : Review : « The worlds of Oronce Fine... » by Alexander Marr. *Renaissance Quarterly*, 64, 222–224.
- [11] Hillard D. & Poulle E. (1971) : « Oronce Finé et l'horloge planétaire de la Bibliothèque Sainte-Geneviève », *Science et astrologie au XVI^e siècle*, Paris.
- [12] Hockey T. (2007) : *Biographical Encyclopedia of Astronomers*, Springer Science+Business Media, 1433 p.
- [13] Lalande J. (1803) : *Bibliographie astronomique ; avec l'histoire de l'astronomie depuis 1781* ; Imprimerie de la République.

- [14] Lamprey J. (2002) : *Hartmann's Practika*, 312 p.
- [15] Leitão H. (2009) : « Pedro Nuñez against Oronce Fine : Content and Context of a Refutation », in Alexander Marr (éd.), *The Worlds of Oronce Fine. Mathematics, Instruments and Print in Renaissance France*, Donington, Shaun Tyas, p. 156–171.
- [16] Marr A. (2009) : Introduction, in *The Worlds of Oronce Fine. Mathematics, Instruments and Print in Renaissance France*, Donington, Shaun Tyas, 2009, p. 1–12.
- [17] Mercier E. (2015) : *Cadrans portatifs et déclinaison magnétique (XVI–XVIII^e siècles)*. Cadran Info n° 32, p. 61–76.
- [18] Montucla J.E. (1799) : Supplément au quatrième livre contenant l'histoire de la gnomonique. . . , in *Histoire des mathématiques*, tome 1, nouvelle édition, 772 p.
- [19] North J. (2004) : *The Ambassador's Secret, Holbein and the world of the Renaissance*; Phoenix edt, 462 p.
- [20] Pattenden Ph. (1979) : *Sundials at an Oxford College*, Roman Books, 100 p.

En dehors des livres de gnomonique signés par Fine, et inventoriés dans le texte, voici les références des livres anciens cités (par ordre chronologique) :

- [21] Fine O. éditeur (1515) : *Theoricarum novarum Textus Georgii Purbachii cum utili ac preclarissima expositione domini Francisci Capuani de Manfredonia. Item in eadem reverendi patris fratris Sylvestri de Prierio per familiaris commentatio. Insuper Jacobi Fabri Stapulen. astronomicum. Omnia nuper summa diligentia emendata cum figuris accommodatissimis longe castigatius insculptis quam prius suis in locis adjectis*. Paris : Regnault Chaudière : Michel Lesclancher : Jean Petit.
- [22] Fine O. éditeur (1516) : *Mundialis sphere opusculum Joannis de sacro busto : nuper vigilantissime emendatum una cum figuris accommodatissimis : cumque marginariis annotatiunculis recenter adjectis*. Paris : Regnault Chaudière, Vincent Quignon.
- [23] Dürer A. (1525) *Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheyt, in Linien, Ebenen unnd gantzen corporen*, Nürnberg.
- [24] Münster S. (1531) *Compositio horologiorum, in plano, muro, truncis, anulo, con concavo, cylindro & variis quadrantibus, cum signorum zodiaci & diversarum horarum inscriptionibus*. Bâle, H. Petri.
- [25] Fine O. (1526) *Planetarum aequatorium, unico instrumento comprehensum omnium antehac excogitatoru[m], & intellectu & usu facillimum [. . .] ab Orontio Fineo, Delphinatate, nuper editum*. [Al colophon : Parisiis, in officina Nicolai Calceolarii, Anno [. . .]]
- [26] Fine O. (1532) : *Orontii Finei Delphinatis, liberalium disciplinarum professoris regii, Protomathesis : Opus varium, ac scitu non minus utile quam jucundum, nunc primum in lucem foeliciter emissum. Cujus index universalis, in versa pagina continetur*. Paris : Gérard Morrhy, Jean Pierre.

- [27] Münster S. (1533) : *Horologiographia, post priorem aeditionem per Sebast. Munsterum recognita, et plurimum aucta atque locupletata, adjectis multis novis descriptionibus et figuris*. In-n° 4 , pièces limin., 336 p., fig., pl., fig. *Basileae : excudebat H. Petrus*.
- [28] Nunes P. (1546) : *De erratis Orontii Finaei regii mathematicarum Lutetiae professoris, qui putavit inter duas datas lineas, binas medias proportionales sub continua proportione inuenisse, circulum quadrasse, cubum duplicasse, multangulum quodcunque rectilineum in circulo describendi, artem tradidisse, & longitudinis locorum differentias aliter quam per eclipses lunares, etiam dato quouis tempore manifestas fecisse, Petri Nonii Salaciensis liber vnus*. — Conimbricæ : ex officina Ioannis Barrerii, & Ioannis Aluari.
- [29] Bullant, J. (1561) : *Recueil d'horlogiographie, contenant la description, fabrication et usage des horloges solaires*. . ., Paris, Jean Bridier & Vincent Sertenas.
- [30] Vinet É. (1564) : *La Manière de fere les solaires, que communément on appelle quadrans (Poitiers)*.
- [31] Borrel J. (1559) : *De quadratura circuli libri duo, ubi multorum quadraturae confutantur et ab omnium impugnatione defenditur Archimedes*. Rovillius (Lugduni).
- [32] Clavius C. (1581) : *Gnomonices libri octo, in quibus non solum horologiorum solarium, sed aliarum quoque rerum, quae ex gnomonis umbra cognosci possunt, descriptiones Geometricè demonstrantur*. Auctore Christophoro Clavio Bambergensi Societatis Iesu. Maiorum permissu. Romae apud Franciscum Zanettum.
- [33] Thevet A. (1584) : *Les vrais pourtraits et vies des hommes illustres grecz, latins et payens : recueilliz de leurs tableaux, livres, médalles antiques et modernes*. La Vesve Kervert et Guillaume Chaudière (A Paris) ; 2 tomes en 1 vol. ([23]-664-[35] p.)
- [34] Kircher A. (1646) : *Ars magna lucis et umbrae in decem libros digesta : Quibus admirandae lucis et umbrae in mundo, atque adeò universa natura, vires effectus [que] uti nova, ita varia novorum reconditorum [que] speciminum exhibitione, ad varios mortalium usus, panduntur*. Rome.



Orientation — Déclinaison gnomonique

guide par Philippe Sauvageot

L'orientation d'un cadran ou la mesure de la direction de son plan a été traité dans note revue, dans des livres spécialisés ou dans des sites web. Cette étape indispensable à la réalisation d'un cadran et à sa lecture semble être un obstacle majeur à la création de « son » cadran solaire ou bien être la source d'erreurs irrémédiables. Les nombreuses méthodes, les astuces de chacun montrent l'intérêt du sujet. Nous avons souhaité faire un récapitulatif devant servir de guide.

Pour ...

... utiliser un cadran solaire horizontal (fig. 1 page suivante), il faut l'orienter dans le plan du méridien du lieu, c'est-à-dire dans la direction sud-nord *géographique*. De même pour tracer un cadran sur un mur vertical, il faut relever au préalable l'orientation de celui-ci (mesurer la *déclinaison gnomonique*) par rapport à ce méridien (fig. 2 page ci-contre).

Définir ces orientations sont les tâches primordiales en gnomonique.

Pourquoi ?

... le principe même du fonctionnement d'un cadran solaire *classique* est que le *style* (indicateur des heures) soit parallèle à l'axe de rotation de la Terre¹. Pour cela, qu'il soit matérialisé (*style linéaire*, arrête d'un *style triangulaire* ...) ou bien fictif (extrémité d'un *style droit*, *œilleton* sur tripode ...), le style doit (fig. 3 page suivante) :

- faire avec « la table » (plan du tracé des heures) un angle égal à celui de la latitude φ du lieu (cadran horizontal) ou $90^\circ -$ angle de la latitude φ du lieu (cadran vertical méridional).

1. Se reporter à l'article *Espace débutants 1*, Cadran Info n° 39, page 132.

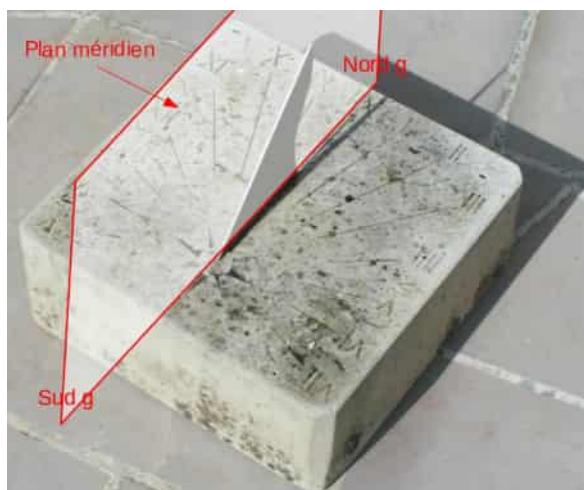


FIGURE 1 – Orientation d'un cadran solaire horizontal : ligne de 12 h dans le plan méridien. (Photo CCS 02722009-02).

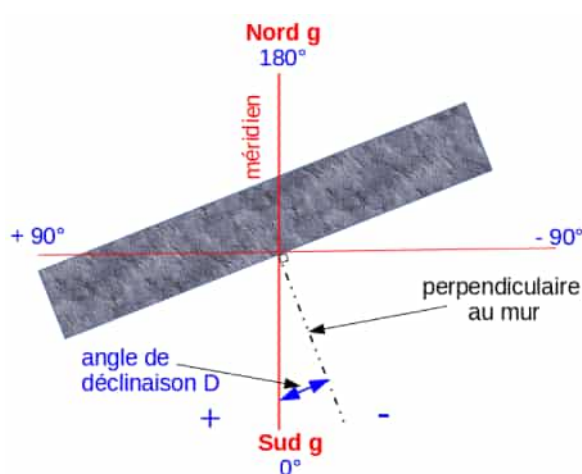


FIGURE 2 – Déclinaison gnomonique d'un mur vertical. (Schéma de S. Malassinet).

— être situé dans le plan du méridien du lieu (cas général).

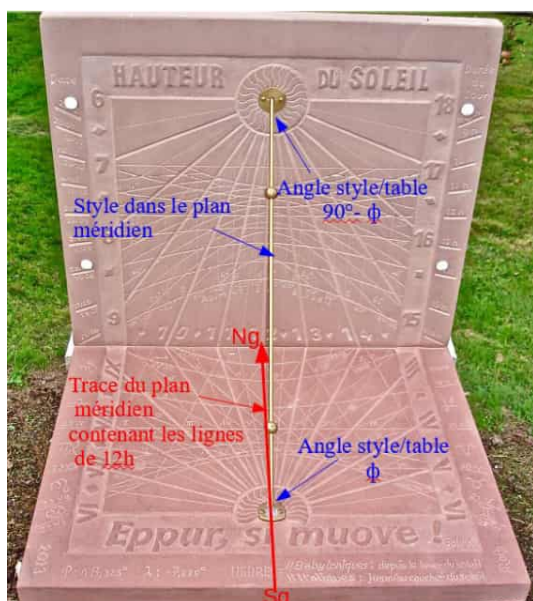


FIGURE 3 – Cadran horizontal/vertical et photo de A. Roth.

Il faut donc ...

- Relever sur une carte ou avec un GPS les coordonnées du lieu, c'est-à-dire la latitude φ (et la longitude λ). Cette opération ne pose pas de problème particulier.
- Déterminer la *déclinaison gnomonique* (fig. 2), c'est-à-dire mesurer l'angle D entre la perpendiculaire au mur et la direction du plan méridien (orientation sud/nord géographique). L'opération est plus complexe.

Faisons tout d'abord la distinction entre nord géographique (N_g) et nord magnétique (N_m).

Le pôle nord géographique est fixe. Il correspond avec le pôle sud géographique à l'axe de rotation de la Terre (fig. 4). À ces deux pôles convergent tous les méridiens.

Le pôle nord magnétique est un point de « convergence » des lignes du champ magnétique terrestre. Sa position est variable dans le temps (fig. 5). Il est donné plus ou moins approximativement par une boussole en fonction du lieu où l'on se trouve.

L'écart entre la direction du pôle nord magnétique et le pôle nord géographique est appelé *déclinaison magnétique*. Cette dernière par définition varie en fonction du temps et du lieu.

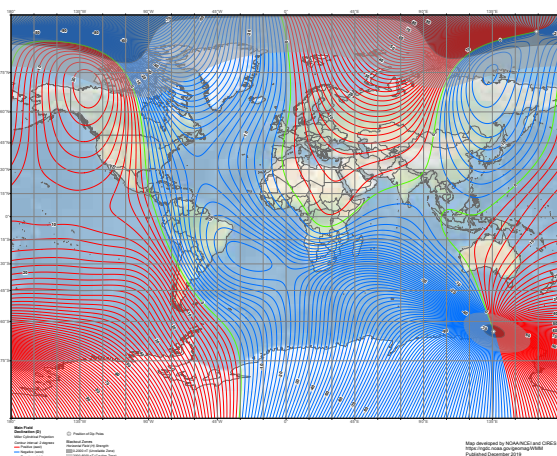
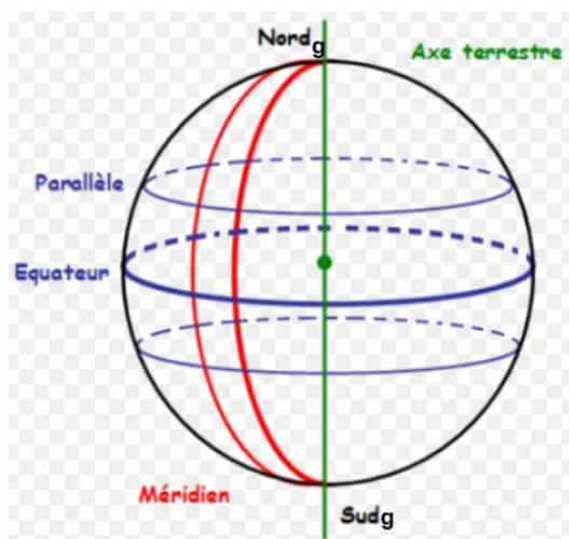


FIGURE 4 – Le pôle nord géographique SVP? Suivez le fil rouge, c'est toujours tout droit. (Schéma site M. Lalos).

FIGURE 5 – Le pôle nord magnétique SVP? Suivez les méandres en fonction du temps et du lieu. Dépêchez-vous il se déplace rapidement ces dernières années!

US/UK World Magnetic Model — Epoch 2020.0
 (www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2020/WMM2020_D_BoZ_MILL.pdf).

Comment...

... après ces rappels voyons les méthodes plus ou moins complexes, plus ou moins fiables, pour orienter un cadran ou mesurer la *déclinaison gnomonique*. Nous présenterons :

1. Différentes méthodes dont les développements sont issus des études de Denis Savoie².
2. Les méthodes et instruments utilisés par des membres de notre commission complétés par quelques témoignages.
3. Les références livresques et sites utiles.

2. Denis Savoie, président honoraire de la CCS, a publié de très nombreux articles de gnomonique et plusieurs ouvrages qui sont considérés comme des références en la matière. Il a également réalisé de nombreux cadrans solaires dans le monde entier.

Important : dans les méthodes présentées dans cet article de nombreux textes sont issus partiellement ou intégralement du livre : *La gnomonique* de Denis Savoie, édition Les Belles Lettres. Merci pour l'autorisation de publication.

1 Méthodes

1.1 Étoile polaire

Dans notre hémisphère, nous avons la chance de voir chaque nuit l'*étoile Polaire*. Facilement repérable dans le ciel, elle se trouve presque exactement au pôle nord céleste vers lequel pointe l'axe de rotation de la Terre. En 2017, la distance angulaire qui les sépare est d'environ 0° 40' et continue de diminuer.

L'orientation d'un cadran horizontal peut se faire en visant la Polaire avec l'arête du style. Par contre la mesure de la déclinaison d'un mur est peu pratique à réaliser.

Étoile polaire	Orientation : Oui	Difficultés relevé ①②③④	Calculs Non	Logiciel Non	Précision résultats ①②③④
	Déclinaison : Non				
L'utilisation de l'étoile Polaire pour tracer le méridien est peu aisée. D'autres solutions plus pratiques, aux résultats plus précis existent.					

1.2 Boussole

Après lecture de la définition du nord magnétique en introduction, on comprend que l'on ne peut utiliser cet instrument sans correction.

Il faut obligatoirement introduire la correction de la *déclinaison magnétique* pour trouver le nord géographique.

Ces variations de la déclinaison magnétique sont difficiles à anticiper avec précision. Elles sont fonction du lieu et du temps. Il est donc nécessaire de vérifier que les valeurs données sont bien d'actualités.

Il faut en outre se méfier des perturbations magnétiques comme un renfort métallique dans un mur ou pour une boussole de téléphone portable : la fermeture magnétique de la protection et son bon "calibrage" (rotation de l'appareil dans les 3 plans avant utilisation).

Où trouver les valeurs des déclinaisons magnétiques :

- Carte IGN : La déclinaison magnétique est mentionnée sur les cartes IGN au 1/25000. Il faut utiliser une carte récente (mise à jour des valeurs tous les 5 ans). Corriger la valeur indiquée en fonction de l'année de prise en compte. Pour en savoir plus et connaître les prestations de l'IGN :

geodesie.ign.fr/index.php?page=calcul_de_declinaison_magnetique

- Sites internet : Vérifiez toujours la période de validité de la déclinaison magnétique avant utilisation.

- Information déclinaison magnétique :

www.ipgp.fr/fr/obsmag/donnees-observation

- Calculateur de déclinaison :

www.geomag.nrcan.gc.ca/calc/mdcal-fr.php

vtopo.free.fr/declimag.htm (*obsolète actuellement*)

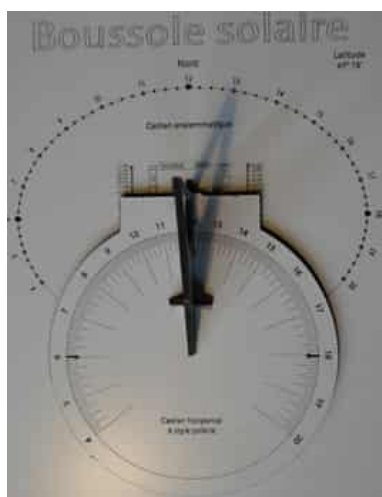
Boussole	Orientation : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
+ Déclinaison	Déclinaison : Oui	❶❷❸❹	Non	Non	❶❷❸❹

La boussole n'est pas l'outil du gnomoniste. Elle ne peut être utilisée qu'avec correction de la « déclinaison magnétique » pour le lieu et l'année. Attention de vérifier la validité de la période pour laquelle les valeurs de déclinaison sont données ou calculées. Elle peut malgré cela être source d'erreurs.

1.3 Boussole solaire

« La construction proposée consiste à coupler deux cadrans solaires : un cadran horizontal et un cadran analemmatique (fig. 6). Lorsque les deux cadrans indiquent la même heure, l'axe de cette *boussole solaire* est orienté vers le nord géographique. Un tel système n'est cependant valable que pour une latitude donnée.

Fonctionnement : on place le style du cadran analemmatique à la position correspondant à la date. Puis on oriente les deux cadrans pour qu'ils indiquent la même heure. On doit donc faire pivoter horizontalement le système jusqu'à ce que les ombres des deux cadrans soient en accord. »



(a)



(b)

FIGURE 6 – Photos de la maquette de Pierre Causeret www.astromaquettes21.com/. Lorsque les deux cadrans indiquent la même heure solaire, l'axe des deux cadrans est orienté vers le Ng.

Boussole solaire	Orientation : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	❶❷❸❹	Non	Non	❶❷❸❹

Facile à réaliser par un gnomoniste. L'ensemble des 2 cadrans n'est utilisable que pour une seule latitude. Le manque de précision est dû principalement à celui du bon positionnement du style droit sur l'échelle des dates d'un cadran analemmatique et à la précision de la lecture des heures sur les cadrans en général.

1.4 Ombres solaires égales

« Sur une surface parfaitement horizontale, on installe un gnomon de 50 cm de hauteur dont on vérifie la verticalité par un fil à plomb. Depuis le gnomon, on trace très précisément 5 cercles de rayons respectifs de 25 cm, 50 cm, 100 cm et 200 cm (fig. 7).

L'extrémité de l'ombre du gnomon coupe chaque cercle deux fois au cours de la journée : une fois le matin et une fois l'après-midi. On doit noter très précisément le point d'intersection de l'ombre sur chaque cercle. À la fin de la journée, on joint d'un trait (*corde*) les points correspondants de chaque cercle. La médiatrice de chaque corde passant par le pied du gnomon matérialise le méridien du lieu. »

Cette méthode est également appelée *cercles hindous* ou encore *méthode des bissectrices*.

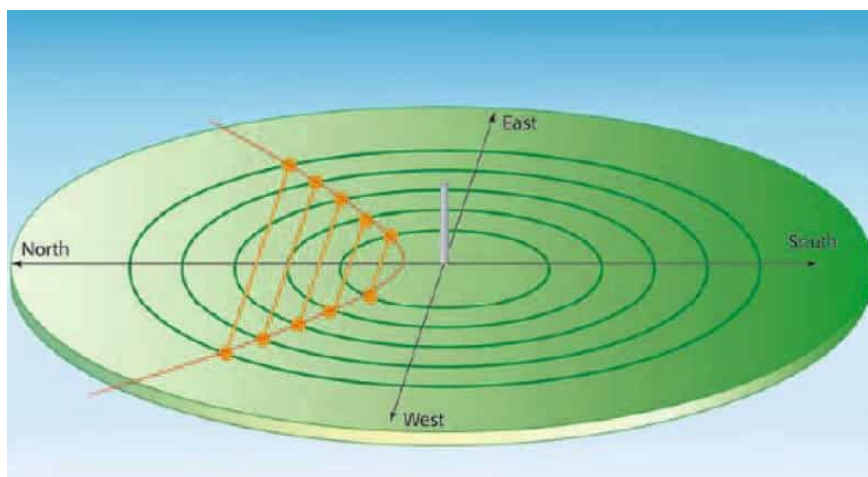


FIGURE 7 – La courbe jaune matérialise l'ombre de l'extrémité du gnomon au cours de la journée. (Schéma D. Savoie). La ligne nord-sud géographique, passant par le centre du gnomon, est la médiatrice commune aux cordes.

Ombres solaires égales	Orientation : Oui Déclinaison : Non	Difficultés relevé ①②③④	Calculs Non	Logiciel Non	Précision résultats ①②③④
Méthode simple et pédagogique, rigoureuse uniquement aux solstices. Elle n'est pas d'une grande précision par le fait de la pénombre de l'extrémité du gnomon.					

1.5 Passage dans un plan

« Cette méthode consiste à noter l'instant précis où le Soleil passe dans le plan du mur, qui peut être soit le matin, soit l'après-midi (fig. 8 page suivante).

Ceci peut se faire à l'aide d'un théodolite ou d'un système réticulé placé contre le mur. Ayant l'instant t de passage (en heure UT), on déduit immédiatement la déclinaison gnomonique par la formule :

$$\tan D = \frac{\cos \varphi \tan \delta - \sin \varphi \cos H}{\sin H}$$

H étant l'angle horaire du Soleil à l'instant de la mesure (voir méthode de la planchette pour son calcul au chapitre 1.8 page 114) et δ la déclinaison du Soleil au même instant. »

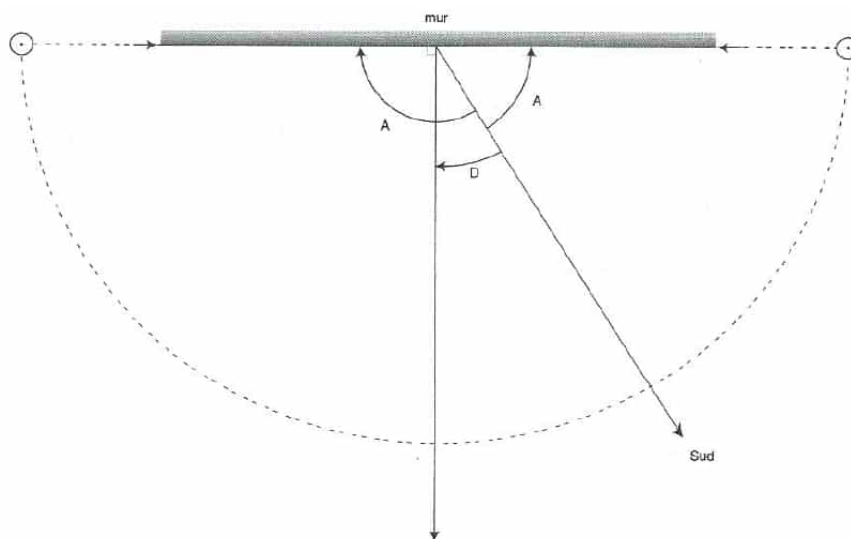


FIGURE 8

(Complément et exemples de calculs : *La Gnomonique* de D. Savoie, p. 69)

Passage dans un plan	Orientation : Non Déclinaison : Oui	Difficultés relevé ①②③④	Calculs Oui	Logiciel Non	Précision résultats ①②③④
Méthode non applicable toute l'année si le mur est peu déclinant. Précision en fonction de la hauteur du soleil lors du passage dans le plan.					

1.6 Passage au méridien

« Lorsque le Soleil passe au méridien d'un lieu en Europe, il se situe exactement au sud géographique. À cet instant, l'ombre d'un gnomon (ou d'un fil à plomb) indique le nord géographique.

Il faut donc connaître l'heure légale (heure de la montre) exacte de passage au méridien pour matérialiser le méridien grâce à l'ombre. L'instant de passage du Soleil au méridien varie chaque jour et dépend de la longitude du lieu. On peut le trouver dans les éphémérides (voir chapitre 3.2 page 130 : Applications/logiciels utiles).

Connaissant la longitude λ du lieu exprimée en heures, minutes, secondes et la valeur E de l'équation du temps, on applique la relation :

$$\text{Temps de passage} = 12 \text{ h} + E + \lambda + (1 \text{ h hiver ou } 2 \text{ h été})$$

Il faut prendre garde aux signes de l'équation du temps et de la longitude (voir chapitre 1.9 page 117 — Recommandations et rappels). La montre doit être parfaitement réglée.

À noter que la nouvelle fonction appelée "Événements" de l'application Solar Info (version mai 2020) indique (entre autre) l'heure de la montre du passage du soleil à l'azimut 180° ou bien traduit directement le midi solaire du lieu en heure de la montre. Plus besoin de calcul (voir chapitre 3.2 page 130 : Applications/logiciels utiles). »

(Complément et exemples de calculs : *Les cadrans solaires tout comprendre pour les construire* de D. Savoie, p. 40)

Passage au méridien	Orientat. : Oui Déclinat. : Oui	Difficultés relevé ①②③④	Calculs Oui	Logiciel Non	Précision résultats ①②③④
Méthode simple, déconseillée en été (variation rapide du Soleil à midi). Une petite erreur sur l'heure de la montre peut influencer considérablement sur la direction sud-nord géographique.					

1.7 Style droit

« On plante perpendiculairement au mur, dont on s'est assuré qu'il était bien vertical, un style droit de longueur PK. À un instant donné, on mesure la distance horizontale de l'extrémité de l'ombre PI du style par rapport à la verticale descendante passant par le style droit (fig. 9).

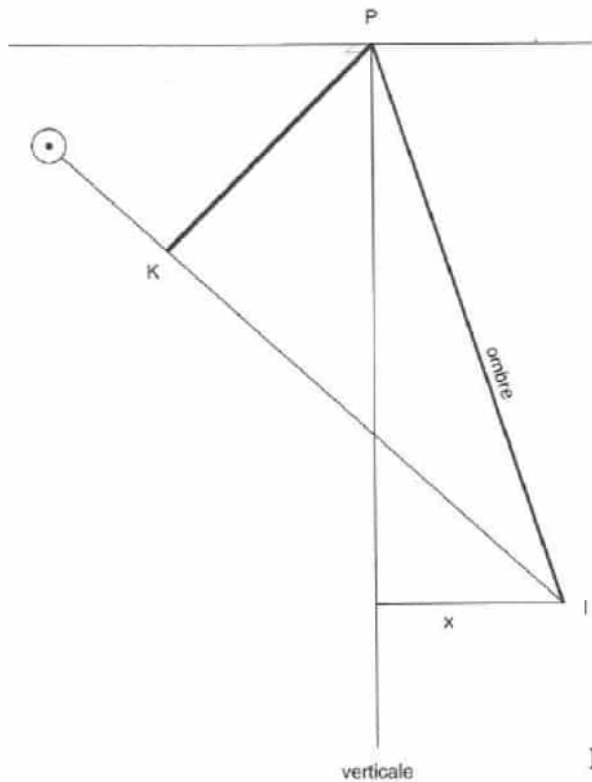


FIGURE 9

Appelons x cette distance, on a :

$$\tan \Psi = \frac{x}{PK}$$

x est pris positif à droite de la verticale, négatif à gauche. Ayant calculé l'azimut A du Soleil, on a directement :

$$D = A - \Psi$$

On pourrait également noter l'instant où l'ombre du style droit coïncide exactement avec la verticale qui en est issue. En calculant l'angle horaire H et la déclinaison du Soleil δ à l'instant

du passage, on a directement :

$$\tan D = \frac{\sin H}{\sin \varphi \cos H - \cos \varphi \tan \delta}$$

(Complément et exemples de calculs : *La Gnomonique* de D. Savoie, p. 70)

Style droit	Orientation : Non	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	①②③④	Oui	Non	①②③④

La difficulté de la méthode est dans la mesure de la quantité x , laquelle est affectée par la pénombre et ce d'autant plus que l'on opère à une grande distance de la verticale.

1.8 La Planchette

1.8.1 Méthodes et calculs

On place contre le mur une table ayant au moins 80 cm de longueur. On la recouvre d'un papier à dessin suffisamment grand. La table doit être parfaitement horizontale, ce qui peut être contrôlé à l'aide d'un niveau à bulle. On place ensuite un fil à plomb assez épais le plus près possible du bord extérieur de la table. Lorsque le Soleil brille, l'ombre du fil à plomb se projette sur le papier (fig. 10). On peut amortir les oscillations du fil à plomb en le plongeant dans un récipient d'eau en vérifiant bien qu'il reste libre.

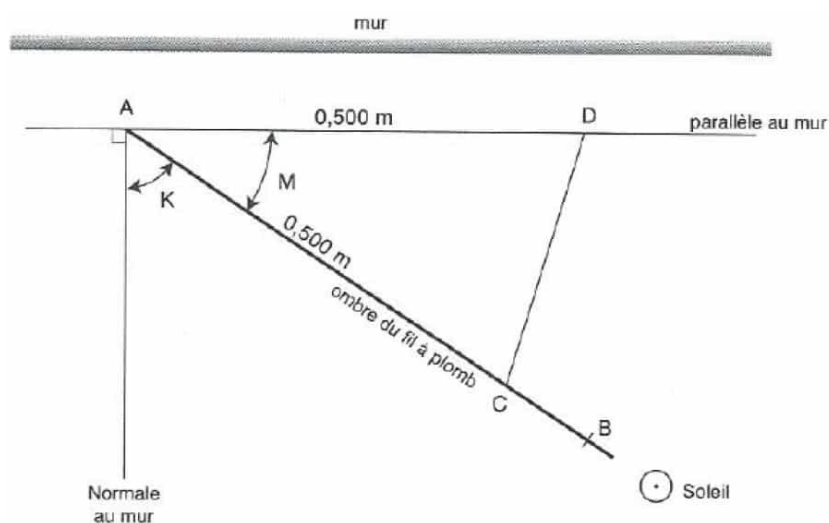


FIGURE 10

Lorsque l'image du fil paraît nette et stable, on marque rapidement le point A où l'ombre coupe la ligne parallèle au mur et un point B pris sur l'ombre à courte distance du plomb. On note immédiatement l'heure à la seconde près, en ayant eu soin de régler la montre sur l'horloge parlante. Si l'on est en période « heure d'été », retrancher 2 h à l'instant de la mesure, et 1 h en période « heure d'hiver ». Il faut, en effet, exprimer l'instant de la mesure en Temps Universel (UT).

On joint ensuite les points A et B en prolongeant si nécessaire la droite ainsi tracée. Cette droite ainsi obtenue, on porte 500 mm exactement, ce qui donne le point C. Puis du même côté de C, sur la ligne parallèle au mur passant par A, on reporte aussi 500 mm, ce qui donne le point D. On mesure ensuite avec précision la corde CD.

Pour augmenter la précision des résultats, il est préférable de faire au moins quatre mesures au cours de la journée, en prenant soin que celles-ci soient suffisamment séparées les unes des autres (par exemple une mesure par demi-heure).

Le traitement numérique d'une mesure s'effectue de la façon suivante. On calcule en premier la déclinaison δ du Soleil à l'instant du pointé à l'aide des éphémérides³. On détermine ensuite l'angle horaire H du Soleil à partir de l'instant du passage au méridien du lieu, de longitude λ . En appelant t l'instant d'une mesure (en UT), on a :

$$H = (t - T_{\text{passage}}) \times 15$$

Si la mesure a lieu après le passage au méridien local, l'angle H est positif, et négatif si la mesure a lieu avant le passage au méridien local.

On peut alors calculer l'azimut A du Soleil à l'instant de la mesure par la formule :

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

On notera que $\sin A$ doit avoir le même signe que $\sin H$; ajouter ou retrancher 180° si nécessaire. Par exemple si $H = 75^\circ$, $\varphi = 48^\circ$, $\delta = 20^\circ$, $\tan A = -18,864$ et $A = 93,03^\circ$ (et non $-86,97^\circ$).

L'angle K dont la normale s'écarte de la ligne d'ombre s'obtient en faisant usage de l'une des deux relations suivantes :

- $\sin^{M/2} = c =$ longueur CD exprimée en mètres,
puis $K = 90^\circ - M$.
- ou $\sin K = 1 - 2c^2$.

Finalement, la déclinaison gnomonique D est donnée par

$$D = A \pm K$$

l'angle K étant additif lorsque le triangle ACD se trouve à droite du point A , soustractif dans le cas contraire.

Remarque : si les dimensions de la table ne permettent pas de reporter les longueurs de 0,500 m, on emploie pour le calcul de l'angle K la valeur $CD/2AC$ à la place de celle de c . Ainsi avec $AC = AD = 0,350$ m et $CD = 0,180$ m, on a :

$$\sin K = 1 - 2 \left(\frac{0,180}{0,700} \right)^2 = 0,8678 \quad \text{et} \quad K = 60,20^\circ$$

1.8.2 Automatisation des calculs

Spécialement pour cet article, Dominique Collin a réalisé un tableur Excel permettant d'éviter les calculs ci-dessus.

En annexe de la version numérique :

Le fichier `Déclinaison_SAF-CCS.xls`. Celui-ci se compose de 3 feuilles :

3. Les éphémérides de la SAF donnent en général l'instant de passage T_{Paris} du Soleil au méridien à Paris (longitude -9 m 21 s). Pour un autre lieu, il faut calculer l'instant de passage en tenant compte de la différence de longitude du lieu avec Paris, mais en prenant garde au fait que la longitude est comptée depuis le méridien international. Par exemple à Brest (longitude $+17$ m 58 s), on aura $T_{\text{Brest}} = T_{\text{Paris}} + 9$ m 21 s + 17 m 58 s. Pour Strasbourg (longitude -31 m 01 s), on aura $T_{\text{Strasbourg}} = T_{\text{Paris}} - 31$ m 01 s + 9 m 21 s. Il est recommandé de faire un petit schéma pour chaque situation.

Il existe des applications donnant directement l'instant de passage du Soleil du lieu considéré. (voir Chapitre 3.2 page 130 : Applications/logiciels utiles).

- Feuille 1 : cartouche de renseignement
- Feuille 2 : par Calcul.
- Feuille 3 : par éphémérides.

Dans la feuille "par calcul" sont repris les exemples de la page 68 du livre *La gnomonique* de Denis Savoie. Cela informe le lecteur des cellules à modifier.

Dans la feuille "par Éphémérides" est pris l'exemple de la mesure de la déclinaison du cadran solaire de la Villa du 22 rue de Lamoro à Èze (voir chapitre 1.8.3 page ci-contre). Cela informe le lecteur des cellules à modifier.

Cinq exemples de mesures ont été prise à chaque fois. Le lecteur peut alors suivre leur exemple et remplir de la même façon et ainsi avoir un maximum de 20 relevés (ce qui est déjà laborieux !) dans une campagne de mesure, et qui couvre très largement les besoins.

Dans la colonne déclinaison, ce trouve à gauche un numéro : soit 0, soit 1, soit 2. Prendre "zéro" si on travaille à *gauche* de la normale au mur, prendre "1" si on travaille à *droite* de la normale au mur et enfin utiliser "2" soit si l'on n'a pas de mesure, ou encore si on veut éliminer une mesure jugée aberrante.

(Complément et exemples de calculs : *La Gnomonique* de D. Savoie, p. 65)

La planchette	Orientation : Oui	difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	①②③④	Oui	Non	①②③④
Méthode préconisée par la CCS. Elle est applicable toute l'année. Faire plusieurs relevés au cours de la journée.					



(a)



(b)

FIGURE 11 – photo de M. Robert Sagot (†) ancien président de la CCS. Il est l'auteur de la « Mesure de la déclinaison d'un cadran », *L'Astronomie*, n° 102, février 1988 avec description de la méthode dite de la planchette. Le document a été diffusé en annexe de l'article "débutants n° 1" de Cadran Info n° 39.

1.8.3 Retour d'expérience sur la méthode par D. Collin

1.8.3.1 Mesure de la déclinaison gnomonique de deux cadrans.

Notre collègue Dominique Collin présente son expérience sur l'utilisation de la méthode de la planchette dans un article du premier numéro de Cadran Info (*réf.* chapitre 2.1.1 page 119).

En annexe de la version numérique :

- Le fichier Planchette D.Collin d'après article CI 1.pdf reproduit les chapitres sur l'application concrète de la méthode (mode opératoire, calculs, mesure des incertitudes et modélisation des erreurs de mesure).
- Les fichiers :
 - Mesure_declinaison_CLG_Republique.xls
 - Declinaison_22_rue_Lamoro_EZE.xls

qui lui ont servi de feuille de calculs pour deux cadrans réalisés à Calais et à Èze.

1.8.3.2 Variante de la méthode de la planchette.

D. Collin indique :

« Face à la délicatesse expérimentale exigée d'une part et face à une certaine durée contraignante d'exploitation des relevés d'ombre d'autre part, une variante de la méthode de la planchette a été mise au point. Elle permet de multiplier les mesures des relevés d'ombre sans subir la lourdeur de leur traitement tout en conservant la même performance dans l'estimation de la déclinaison gnomonique ».

Son étude est présentée à la suite de cet article à la page 133 sous le titre : *Sur une variante de la méthode de la planchette.*

1.8.4 Logiciel

Le logiciel **Shadows**⁴ dans sa version gratuite permet, entre autre, de calculer automatiquement une « méthode de la planchette ».

Pour cela : aller dans le menu « outils », cliquer sur « calculer la déclinaison gnomonique d'un mur », choisir « Méthode de la planchette » (fig. 12 page suivante).

Les explications nécessaires aux relevés figurent dans le manuel associé au logiciel : chapitre *Déterminer la déclinaison gnomonique d'un mur.*

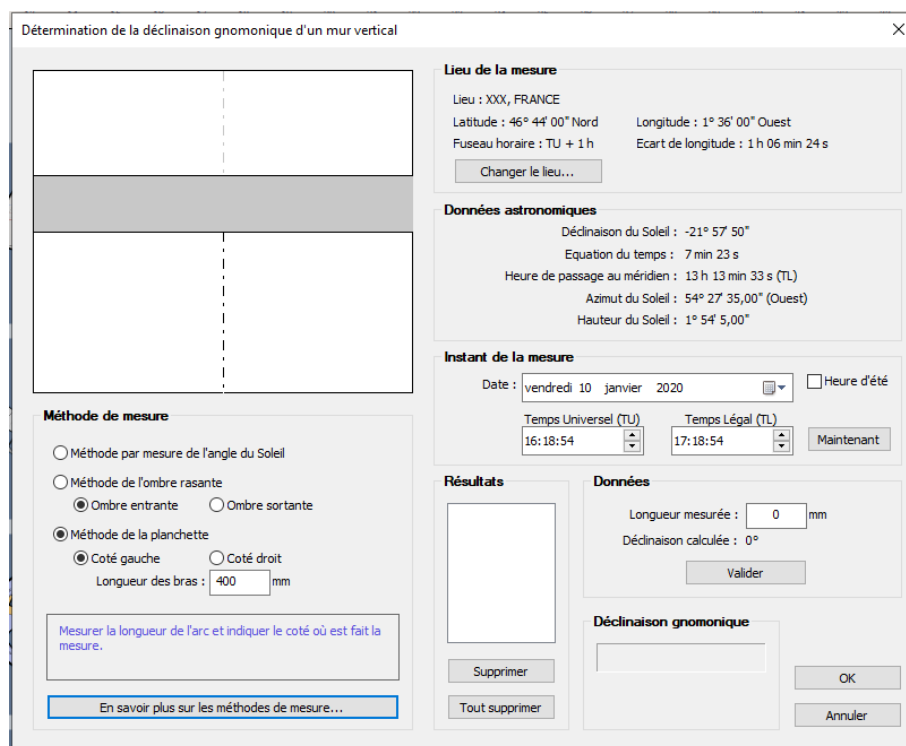
1.9 Recommandations⁵ et rappels

- Tout d'abord ayons à l'esprit que sous nos latitudes φ et longitudes λ :
 - Un degré d'erreur dans l'orientation entraîne une erreur de lecture de 4 minutes environ.
 - Si la déclinaison gnomonique δ est connue à $0,1^\circ$ près, l'heure du cadran sera exacte à $+0,4$ ou $-0,4$ ou $+0,5$ ou $-0,5$ minute près. En général les gnomonistes se satisfont d'une précision de cet ordre.
 - Une minute de longitude correspond en mètres sur le terrain à : $1852 \cos \varphi$.
- Symboles astronomiques et gnomoniques utilisés :

4. Shadows de notre collègue François Blateyron : www.shadowspro.com/fr/telecharger-shadows.html

5. Se reporter aux ouvrages de D. Savoie mentionnés au chapitre 3 page 130.

FIGURE 12 – Copie d'écran de la fenêtre de calcul de la déclinaison gnomonique de Shadows.



- φ = latitude du lieu (+ dans l'hémisphère nord, – dans l'hémisphère sud).
 - λ = longitude du lieu (+ à l'ouest de Greenwich, – à l'est de Greenwich). Elle est en $^{\circ}$, $'$, $''$ ou bien en minutes et secondes de temps (sachant que $1^{\circ} = 4$ minutes de temps).
 - A = Azimut d'un astre (+ à l'ouest du méridien, – à l'est du méridien).
 - h = hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon (de 0° à 90°).
 - δ = déclinaison du Soleil.
 - H = angle horaire du Soleil (0° à $+180^{\circ}$ à l'ouest du méridien ; 0° à -180° à l'est du méridien). En gnomonique on compte 12 h = 0° ; 13 h = $+15^{\circ}$; 14 h = $+30^{\circ}$... et pour le matin, 11 h = -15° , 10 h = -30° ...
 - D = déclinaison gnomonique de la table d'un cadran. C'est l'azimut de la perpendiculaire au mur, comptée depuis le sud de 0° à $+180^{\circ}$ vers l'ouest et de 0° à -180° vers l'est. Un cadran méridional à une déclinaison de 0° .
 - UT (UT) = l'Universal Time (Temps Universel) est l'heure de la montre (Temps Légal) –1 heure en hiver, ou –2 heures en été.
- Incidence *solaire* :
 - « On ne perdra jamais de vue que sous nos latitudes, l'azimut du Soleil varie le plus vite lors du passage au méridien, tout particulièrement en été. En France, la variation moyenne est de $0^{\circ} 36'$ en une minute au solstice d'été. Autrement dit, les ombres tournent plus rapidement lorsqu'il est midi au Soleil ».
 - Tôt le matin ou tard le soir apparaît le phénomène de réfraction. « Celle-ci interfère sur l'heure solaire de l'ordre d'une minute de temps, lorsque le Soleil est proche de l'horizon ».

- Le diamètre apparent du Soleil (32') s'ajoute à l'erreur de la réfraction. L'erreur de mesure du temps solaire atteint presque 2,5 minutes. On pourra lire les articles de D. Savoie sur le sujet de la culmination du Soleil au passage au méridien ainsi que le déplacement de son ombre à cet instant dans :
 - *Culmination et méridien*, Cadran Info n° 7 ;
 - *Passage au méridien et méridienne*, Cadran Info n° 6.
- Les formules données par D. Savoie sont directement utilisables avec une « présentation à la française » de l'équation du temps. S'il s'agit d'une présentation anglo-américaine, attention les signes sont inversés. Pour savoir si une valeur de l'équation du temps est donnée selon la définition française : vérifier la valeur pour le 1^{er} janvier : si elle est positive, c'est la définition française ; sinon, pour utilisation (remplacer – par + et réciproquement).
- Effectuer plusieurs mesures et écarter la (les) valeur(s) aberrantes (valable pour tous les types de relevé).



FIGURE 13 – Le fil à plomb au plus prêt d'une planchette permet d'obtenir une ombre portée de qualité sur environ 20 cm (Photo Ph Sauvageot).

- Fil à plomb :
 - Amortir les oscillations du fils à plomb en plongeant ce dernier dans un récipient contenant de l'eau.
 - Plutôt que de placer le fil à plomb avec son récipient sur la surface du relevé (planchette), placer ceux-ci sur le côté de celle-ci (surélevé et parfaitement horizontale) pour profiter au mieux de la netteté de l'ombre du fil (fig. 13).

2 Les méthodes et instruments des membres de la CCS

2.1 Rappel des articles publiés dans cadran info

Ils sont présentés dans l'ordre chronologique de publication et sont limités aux murs verticaux.

2.1.1 Méthode de détermination de la déclinaison gnomonique par Dominique Collin (Cadran Info n° 1)

Cet article concerne aussi bien les plans inclinés et verticaux. Il définit ce qu'est la déclinaison gnomonique et énumère 5 méthodes de mesure. Il présente principalement la méthode de la planchette avec détails pratiques :

- du matériel nécessaire ;
- l'épaisseur du fil à plomb, le montage, le mode opératoire et les calculs ;
- la mesure des incertitudes et la modélisation des erreurs de mesure ;
- la conclusion sur la précision fournie par cette méthode.

2.1.2 Mesure de la déclinaison par un cadran horizontal par Gérard Labrosse (Cadran Info n° 6)

Cet article présente un outil réalisé par l'auteur associant un cadran solaire et un rapporteur d'angle (fig. 14). Lorsque l'heure lue sur le cadran (heure solaire TS) correspond à celle de la montre (heure légale TL⁶) au jour de la mesure, on plaque le grand rapporteur d'angle sur le mur puis, on fait pivoter la table seule du cadran. La mesure de la déclinaison du mur est lue sur le rapporteur d'angle.

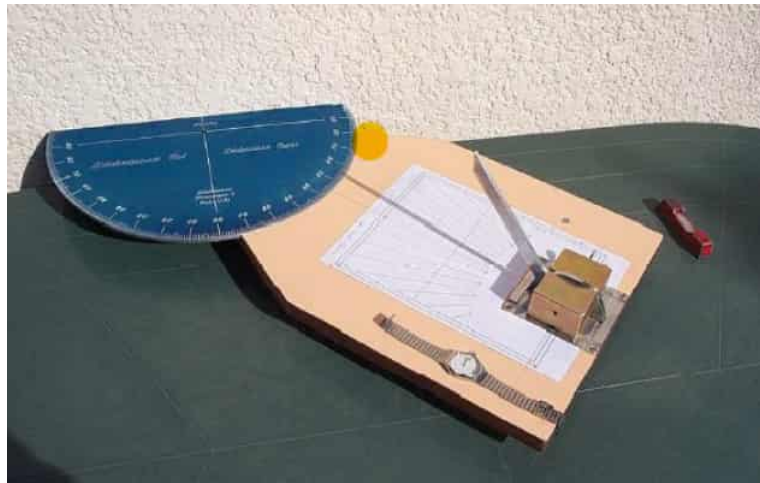


FIGURE 14 – Appareil et photo de G. Labrosse.

2.1.3 Relevé de la déclinaison par Tony Mazziotti (Cadran Info n° 6)

T. Mazziotti utilise la technique du *faux style* (fig. 15 page suivante). Il présente :

- les outils nécessaires : une feuille A4 lignée en degrés et un faux style, équerre de 135 × 135 mm.
- la méthode qui consiste à pointer sur la feuille, la position du point lumineux projeté par l'ocillon, à l'instant de la montre correspondant au midi solaire du lieu.

2.1.4 Comparaison des méthodes de mesure de la déclinaison gnomonique et outils associés par Pierre-Joseph Dallet (Cadran Info n° 9)

L'article décrit en première partie différentes méthodes, leur facilité d'emploi et la précision qu'il estime :

- la Planchette. Précise (1/10^e de degré).
- l'azimut particulier parallèle à un mur⁷. Précise mais difficile d'application.

6. $TL = TS + E + \lambda + 1$ heure (hiver) ou $+2$ heures (été) avec E (valeur de l'équation du temps) et λ (longitude en minutes et secondes de temps) ont des valeurs positives ou négatives (chapitre 1.9 page 117).

7. Méthode dite du passage dans un plan.

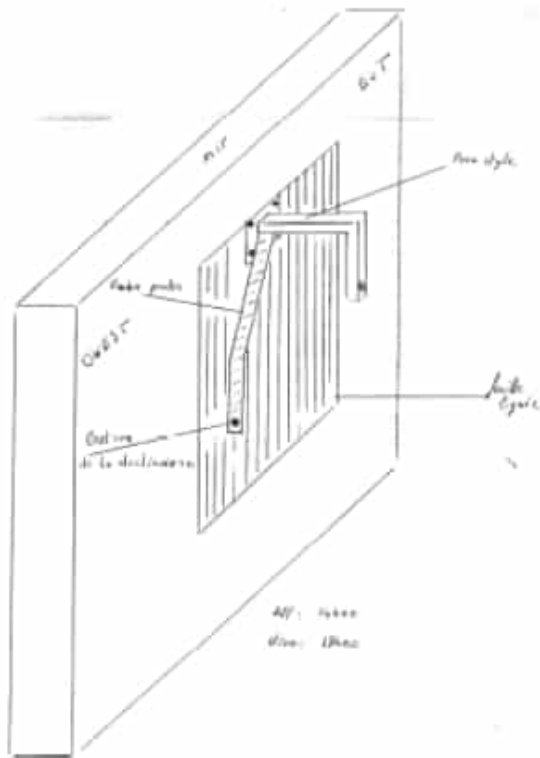


FIGURE 15 – Schéma de T. Mazziotti.



FIGURE 16 – Montage et photo de P.-J. Dallet.

- méthode de Bedos de Celle⁸. Précision de 1/2 degré.
- méthode de l'azimut et l'inclinaison simultanés. Précision de 1/2 degré.
- méthode de la boussole pour une estimation.
- méthode de l'étoile polaire.

Dans la deuxième partie, il présente « sa planchette » et la méthode associée permettant une précision de 1/10^e de degré (fig. 16). Son logiciel Solarium/Algo Solar⁹ permettait d'effectuer les calculs automatiquement.

2.1.5 Mesure de la déclinaison — Différence d'Azimut par Gérard Labrosse (Cadran Info n° 10 et cadran Info n° 31)

Dans la première partie de son article G. Labrosse présente son outil permettant de faire coïncider l'ombre supérieure du fil à plomb avec la ligne verticale gravée sur le panneau arrière (fig. 17(a) page suivante). À ce moment là, il faut noter simultanément l'heure exacte de la montre et la mesure de l'angle.

8. Méthode du faux style.

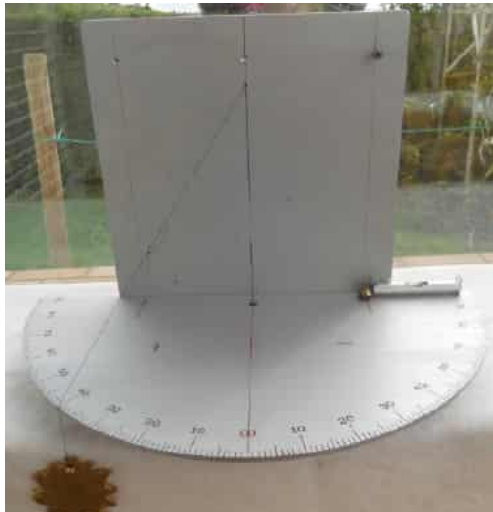
9. Le logiciel n'est plus mis à jour. Il est encore disponible à l'adresse : villagedeste.ens-lyon.fr/village_este/cycles/cycle-3/cadran_solaires/solarium/ ou sur CD *Études gnomoniques de P.-J. Dallet* (Présentation, définition, réalisation de presque tous les types de cadrans solaires et de tracés + Logiciel AlgoSolar).

Le logiciel n'est pas garanti de fonctionner avec les dernières versions de Windows. Nous profitons de cet article pour remercier Pierre-Joseph pour toutes ses études gnomoniques offertes à notre commission.

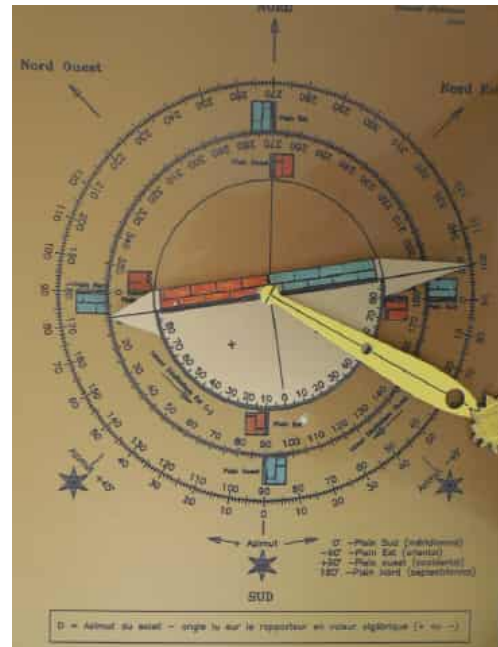
Les formules nécessaires et des exemples sont donnés.

En deuxième partie, la recherche de la déclinaison d'un mur est donnée par la méthode des différences d'azimuts. Les relevés sont présentés. Un montage permet de vérifier la cohérence.

En annexe de l'article est fourni la feuille Excel pour les calculs.



(a) Outil de relevé



(b) Maquette « cohérence »

FIGURE 17 – Photos G. Labrosse.

2.1.6 Appareil de mesure de déclinaison d'un mur pour les non gnomonistes par Michel Vercasson (Cadran Info n° 10)

M. Vercasson (+) présente un outil constitué par une planchette rectangulaire (fig. 18 page ci-contre) qui comporte sur sa face supérieure : un rapporteur, deux niveaux à bulle perpendiculaires, une boussole, une aiguille implantée au centre du rapporteur, perpendiculaire à la planchette.

L'utilisateur doit placer la planchette contre le mur, parfaitement horizontalement, lire la division du rapporteur indiquée par l'ombre de l'aiguille, noter la date et l'heure de la mesure.

L'auteur proposait de réaliser lui-même le calcul de l'azimut du soleil.

2.1.7 Mesure de la déclinaison d'un mur par Philippe Langlet (Cadran Info n° 32)

Cadranier professionnel, Ph. Langlet présente son appareil mobile, permettant les relevés nécessaires au calcul de la déclinaison d'un mur (fig. 19 page suivante).

Il donne :

- les plans cotés pour réaliser l'outil ;
- le mode d'emploi ;
- les calculs à réaliser.

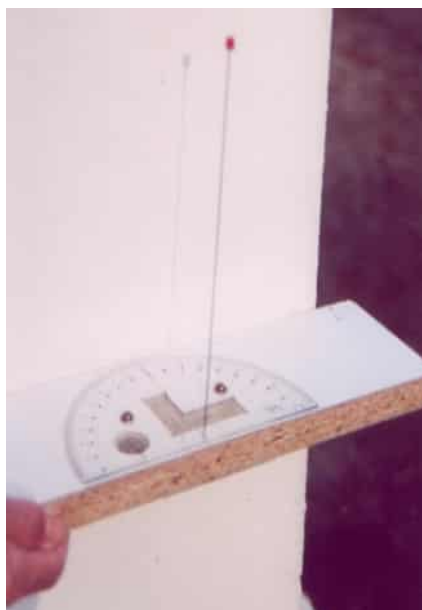


FIGURE 18 – Appareil et photo de M. Vercasson. **FIGURE 19** – Appareil de Ph. Langlet sur support (photo Ph. Sauvageot).

2.1.8 Cercles hindous pour mur verticaux par Michel Ugon (Cadran Info n° 27)

La méthode des cercles hindous¹⁰ est une construction astucieuse et relativement précise pour déterminer la méridienne du lieu. Elle peut également servir à tracer les bases d'un cadran solaire, quelle que soit son inclinaison, en particulier sur les murs verticaux.

Dans ces cas, les cercles hindous donnent directement une méridienne du plan, qui devient alors la sous-styloire des cadrans à style polaire (fig. 20 page suivante).

Sont donnés :

- la précision de la méthodes ;
- le principe ;
- l'application.

2.2 Témoignages

Il s'agit des retours à l'appel par courriel (Info-mail) sur les méthodes, outils, astuces utilisés par les membres de la CCS et de méthodes relevées sur des sites de membres de la CCS.

2.2.1 Déclinomètre à fil de Henri Gagnaire

Pour la mesure de la déclinaison d'un mur bien vertical, H. Gagnaire utilise « un appareillage dont le coût est très modeste » et qu'il a nommé : *déclinomètre à fil* (fig. 21 page suivante).

« La méthode consiste à l'heure H (heure du soleil) de placer le fil afin que son ombre recouvre la verticale du dispositif et de relever l'angle marqué par l'ombre sur la partie horizontale.

Pour déterminer la déclinaison D du mur, il faut ensuite calculer, pour cette heure H, l'azimut A du Soleil, le vrai, celui par rapport au sud géographique. Pour cela il faut connaître

10. Technique également appelée *Ombres solaires égales*.

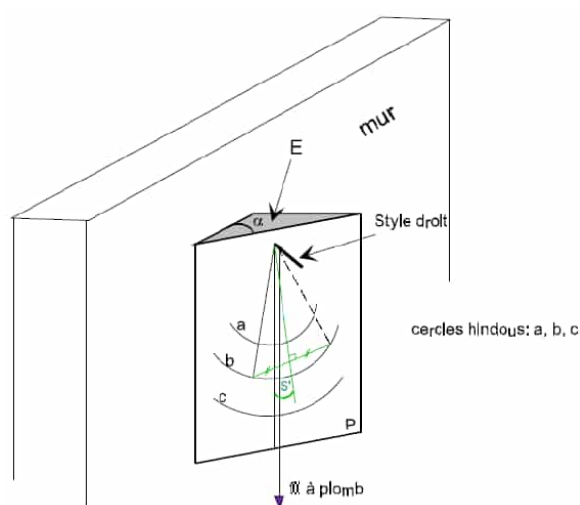


FIGURE 20 – Schéma de M. Ugon.

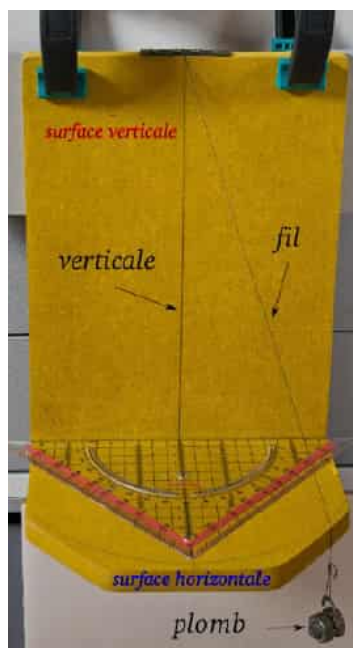


FIGURE 21 – Déclinomètre et photo de H. Gagnaire.

la latitude (φ) du lieu, la déclinaison (δ) du Soleil ¹¹ (éphémérides) et utiliser la bonne formule donnée en annexe ».

Remarques complémentaires :

« L'appareillage que j'utilise et que je nomme *déclinomètre à fil* a déjà été décrit par Gérard Labrosse dans un article de Cadran Info de 2004. C'est à lui que revient la "paternité" de la méthode et de l'instrument. Merci de mentionner ce travail de Gérard Labrosse. »

« D'autre part, je me permets une suggestion. Dans les mesures de la déclinaison d'un mur, il est important de connaître l'heure solaire avec la meilleure précision. L'application pour smartphone Android, Gnomonic-Photo de César Busto qui donne l'heure solaire vraie (si l'horloge du smartphone est bien réglée), la déclinaison du Soleil, sa hauteur et son azimut au lieu de la mesure est un auxiliaire précieux qui évite des calculs fastidieux toujours source d'erreurs ».

En annexe de la version numérique :

- le fichier *méthode déclinomètre.pdf* donne tous les détails :
 - de l'appareil ;
 - des techniques de relevés avec les avantages et inconvénients du processus ;
 - des formules ;
 - de la précision obtenue.

11. Les symboles astronomiques utilisés par les auteurs peuvent être différents d'un témoignage à l'autre. Pour rappel : ils sont normalisés et à retrouver dans *Gnomonique moderne* de D. Savoie, édition SAF, page 11 : « symboles et définitions ». Ils sont donnés partiellement au chapitre 1.9 page 117.

2.2.2 Style droit par Paul Gagnaire

P. Gagnaire présente son expérience de Rochefort-en-Savoie, où il fallait tracer deux cadrans complémentaires. « Il eût été impensable que les deux cadrans, pendant les plages horaires où ils marchaient tous les deux, ne donnent pas la même heure, aussi j'ai mesuré les déclinaisons des murs avec des raffinements de maniaque, bien qu'en utilisant une méthode très simple ».

« On ne s'occupe que de la table du cadran, plane et verticale. On enfonce dans la table un long style droit, bien horizontal et bien perpendiculaire à celle-ci (fig. 22).

Du point d'émergence du style, on trace, au fil à plomb, une verticale descendante. On note l'instant horaire où l'ombre du style recouvre cette verticale. Il suffit alors de calculer l'azimut du Soleil en un instant donné, en un lieu donné, connaissant la latitude du lieu, la déclinaison du Soleil, l'angle horaire. »

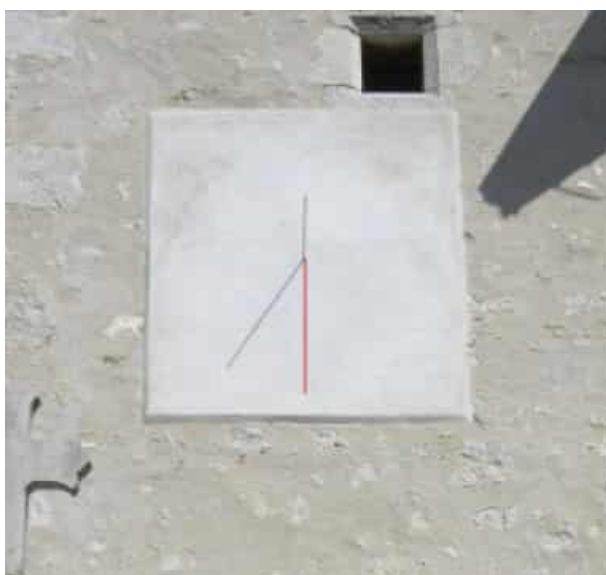


FIGURE 22 – Photo de P. Gagnaire.

En annexe de la version numérique :

- le fichier Déclinaison d'un mur.pdf qui précise la méthode et son application concrète ;
- la formule et la feuille Excel pour effectuer automatiquement les calculs (Calculateur Astro-Gno 2015-09-26_OK.xls : problème n° 12).

2.2.3 Méthodes de relevés de la déclinaison d'un mur par Michel Lalos

Sur son site, à la page : michel.lalos.free.fr/cadran_solaires/doc_cadran/theorie_cs/declinaison_gnomonique.html est présenté différentes méthodes de relevés de la déclinaison d'un mur :

- Relevé à l'aide d'une boussole ;
- À partir de Google Earth ;
- À l'aide d'un plan cadastral ;
- Les méthodes présentées dans le logiciel Shadows de F. Blateyron : planchette, rapporteur et fils à plomb, "réseau de tangentes" ;
- Le logiciel Calcad de Y. Massé ;
- La méthode de la planchette avec calculateur.

8 - méthode de la planchette


Calculs

- Outil de calculs de l'inclinaison et de la déclinaison gnomonique d'un support plan!

Copie écran page :

michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/theorie_cs/declinaison_gnomonique.html.

2.2.4 Les bissectrices par Serge Malassiné

Outre sa méthode, S. Malassiné nous donne son avis.

« Tout d'abord, ayons constamment à l'esprit que c'est la précision dans le relevé de la déclinaison qui donnera la précision à notre cadran. Quant à l'utilisation d'une boussole pour cet usage, j'y suis totalement opposé :

- on relève l'orientation du nord magnétique, et non pas celle de l'axe de rotation de la Terre, et la déclinaison magnétique varie selon le temps et la localisation.
- Insuffisance de précision.
- Grosses incertitudes dues à l'influence des masses magnétiques, cachées à proximité.

Personnellement, j'utilise la *méthode des bissectrices* décrite dans *Shadows*. On l'appelle aussi *méthode de l'hyperbole* et je crois, certains, la nomment *méthode des cercles hindous*. Tout cela me paraît être la même chose, mais chacun l'adapte à sa manière. C'est une méthode simple, facilement accessible à tous, précise et très fiable, nécessitant peu de moyens et de connaissances, et qui ne coûte rien. »

2.2.5 Longueur de l'ombre et relevé sur carte par Éric Mercier

« Les quelques fois où j'ai eu besoin de définir une orientation, j'ai utilisé la méthode proposée par Yvon Massé. Elle est basée sur le relevé de la longueur de l'ombre d'un gnomon, tige perpendiculaire au plan à mesurer dont l'inclinaison est connue (fig. 23(a)). Les valeurs recherchées sont traitées par les relations des triangles sphériques (fig. 23(b)).

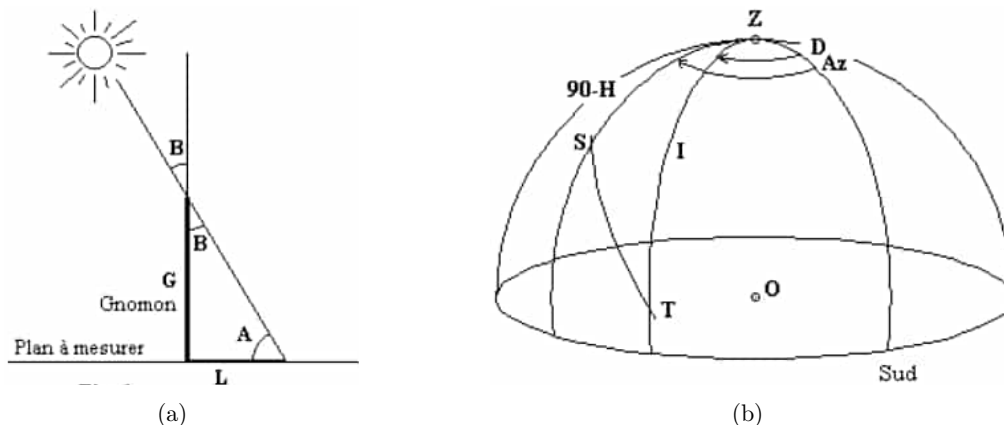


FIGURE 23 – Longueur de l'ombre et relevé sur carte.

On peut retrouver sa description, calculs et programme à l'adresse : gnomonique.fr/gnomon/longomb.htm.

Sinon, par expérience, la mesure sur Google Maps, quand le mur est suffisamment grand pour bien caractériser la direction, donne des résultats utilisables (fig. 24)... Voilà donc la « procédure » que j'utilise :

- passer Google-Map ou Geoportail en mode photo aérienne ;
- grossir le bâtiment ;
- faire une copie d'écran (ou une capture de la partie intéressante de la photo) ;
- transférer sur un logiciel de dessin ;
- utiliser l'outil « mesure d'angle » pour caractériser l'azimut (moi j'utilise Graphic Converter sur Mac) ;
- éventuellement ajouter ou retrancher 90° pour avoir la déclinaison du mur.

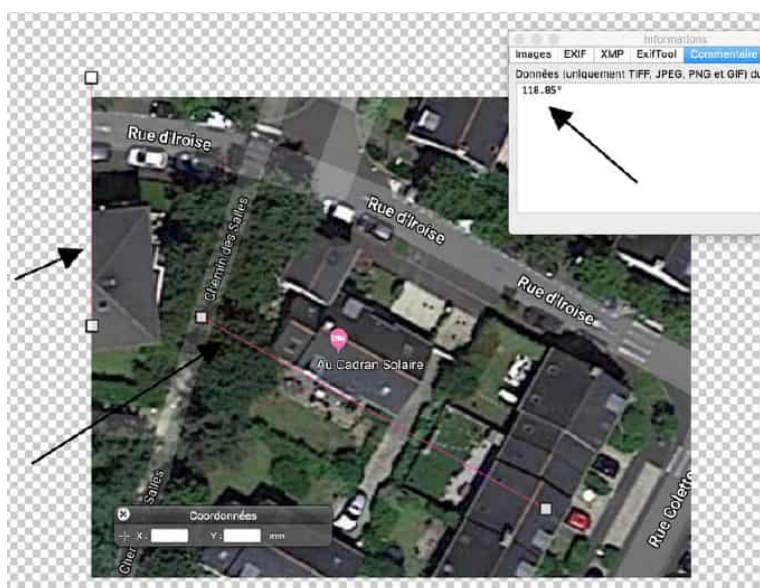


FIGURE 24 – Mesure sur Google Maps

Si l'on compare le résultat avec la même manip refaite une nouvelle fois, ou faite sur une image de Geoportail, on a une bonne répétitivité, je dirai $\pm 1^\circ$.

C'est sans doute suffisant pour une première approche... et à mon avis de l'ordre de l'erreur que l'on fait avec une mesure directement sur le mur (qui n'est jamais parfaitement plan).

Mais la vraie question est plutôt de savoir, comme d'habitude avec une photo, si on n'est pas victime d'aberration ou de distorsion sur les bords. En d'autres termes si la photo est bien corrigée (on parle d'orthophotographie). Je n'ai pas vraiment trouvé l'info, ni sur Google, ni sur Geoportail, mais sur : www.futura-sciences.com/tech/dossiers/informatique-google-earth-geoportail-3d-653/page/11/

Il est dit :

« Les orthophotographies aériennes ou satellites proposées par les deux services (Google et Geoportail) sont obtenues par numérisation de clichés aériens. L'inclinaison de la prise de vue et celle des objets due aux pentes sont ensuite corrigées, afin d'obtenir une carte plane, dont tous les points semblent avoir été pris à la parfaite verticale, sur un terrain plat. Les images sont alors assemblées en mosaïques et les superpositions gommées. »

Donc à priori, pas de problème ».

2.2.6 Méthode de la planchette par Joël Robic

La mesure de la déclinaison d'un plan vertical est décrite par J. Robic sur son site : www.cadrans-solaires.fr/construction.html.

« J'ai fait ma planchette avec une demi-circonférence qui fait exactement 90 cm, chaque cm fait alors 2° (cf. fig. 25). Cela permet de mesurer les angles avec une précision de l'ordre du demi-degré. Un fil à plomb ainsi qu'un niveau plan permettent de vérifier l'horizontalité de la planchette. On obtient l'orientation du soleil par rapport au mur et en comparant par rapport à l'azimut (en utilisant la calculette *solarium*), on en déduit la déclinaison du mur.

Remarque : à midi solaire, l'ombre permet de mesurer directement la déclinaison du mur. »



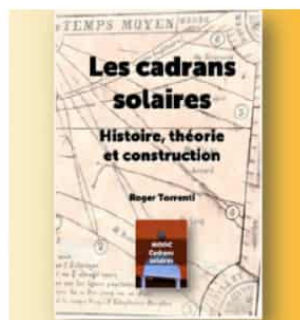
FIGURE 25

2.2.7 Tracé "à la montre" par Roger Torrenti

« Pour ma part, dans les deux cas, orientation d'un cadran et relevé de l'orientation d'un mur vertical, je recommande (notamment dans le MOOC) un tracé à la montre :

- Pour déterminer la direction nord-sud (formule que je préfère à « trouver le sud » car elle s'applique aux deux hémisphères) utiliser un mât vertical avec un œilleton à son sommet (sinon un fil à plomb assez long) et noter sur sa montre (ou son téléphone. . .) lorsqu'il sera midi solaire, après avoir auparavant avec la fameuse formule du gnomoniste trouvé à quelle heure de la montre correspond le midi solaire (ce qui nécessite la connaissance de la longitude — facile à récupérer sur son téléphone ou sur Google — et de la valeur de l'équation du temps — sur le site de la Commission ou sur le MOOC!). Dans le cas où l'on a déjà installé un style sur un cadran horizontal, ce sera encore plus simple car on alignera le cadran pour qu'à midi solaire à la montre l'ombre du style indique 12 h. . .
- Pour déterminer l'orientation d'un mur vertical, la ligne horaire de midi restant verticale, je préconise de tracer la ligne de 15 h ou de 9 h (toujours un « tracé à la montre ») puis de calculer l'angle entre les 2 droites (en tirant une droite perpendiculaire à la ligne de midi depuis la ligne de 9 h ou 15 h puis en appliquant les propriétés d'un triangle rectangle). Comme l'on connaît la formule (un peu compliquée pour un non matheux) donnant cet angle pour un mur d'orientation donnée on peut déduire l'orientation exacte du mur. Ceci étant, je préconise de ne pas chercher à connaître la déclinaison d'un mur. . . mais de simplement tracer à la montre l'ensemble des lignes horaires (cela prend un peu de temps dans une journée mais peut être fait par un débutant non matheux!)

Adresse directe du MOOC Cadrans solaires : www.cadrans-solaires.info/acces-aumooc/ ou depuis le site de la CCS.



2.2.8 Passage dans un plan et suivi d'un arc diurne par Gilbert Vincent

« J'utilise préférentiellement 2 méthodes :

1. Passage du Soleil dans l'alignement du plan du mur¹² :
 - outils : filtre solaire^(*) + montre + logiciel éphémérides précis^(*),
 - avantages : très simple à mettre en œuvre,
 - inconvénient : méthode peu précise si le Soleil est haut dans le ciel (donc être patient et attendre éventuellement la saison adéquate!),
 - précision : 0,1 à 0,2 degré. Elle est meilleure si on peut observer 2 passages « est et ouest ». Et de plus formule simple à utiliser. Elle est aussi meilleure (0,05 degré env.) si le Soleil passe entre 2 murs parallèles (cas d'un lotissement par exemple) : il suffit alors d'observer la symétrie de l'ensoleillement des 2 murs (filtre inutile), dont on aura préalablement vérifié le parallélisme.

Remarque : méthode utilisée pour le cadran qui illustre l'article *Écarts des cadrans solaires* par G. Vincent, Cadran Info n° 39).

(*) Précisions :

Filtre = Le filtre solaire est un filtre de sextant de marine. Je le tiens à la main pour les observations.

Logiciel = Le logiciel utilisé est une implémentation quasi totale dans un tableur Excel de l'ouvrage *Astronomical Algorithms* de notre collègue Jean Meeus (avec les termes les plus précis proposés!). Sa précision est donc bien supérieure à celle qui est nécessaire pour les calculs concernant les cadrans solaires.

2. Suivi d'un arc diurne sur un cadran fictif muni d'un style (presque) quelconque (fig. 26 page suivante).
 - Outils :
 - planche à dessin munie d'une feuille + crayon + fil à plomb et/ou niveau à bulle ou électronique ;
 - style quelconque, mais muni d'un trou (à environ 10 cm de la feuille), dont on repère la projection orthogonale précise sur la feuille ;
 - des éphémérides précises et une montre.
 - Méthode :
 - fixer la planche sur le mur (c'est mieux s'il est déjà préparé... et s'il est plan) ;
 - figurer les axes horizontaux et verticaux passant par la projection du trou du style ;
 - marquer sur la feuille un maximum de centres de la tache lumineuse ;
 - repérer les couples X, Y de ces centres ;
 - chercher informatiquement par régression la meilleure orientation. Sauf aux solstices, il faut tenir compte de la variation de la déclinaison du soleil durant le laps de temps des mesures. Si le mur n'est pas vertical, en tenir compte aussi dans le calcul des X, Y théoriques.

12. Le passage du Soleil dans le plan du mur peut-être généralisé à tous les astres. Je l'ai pratiqué avec La lune, mais aussi les planètes et étoiles. Pour le Soleil (ou la pleine Lune), prendre la moyenne des 2 contacts (début, fin), ou alors il faut calculer, mais attention, les diamètres des astres ne se répercutent pas directement sur les azimuts.

- Inconvénient : il faut 1/2 journée d'observation, et savoir traiter les données. Un logiciel personnel d'éphémérides est idéal pour « bidouiller ».
- Précision : quelques centièmes de degrés (0,05?).

Remarque : méthode utilisée pour les cadrans est et ouest de la Chartreuse du Reposoir (Haute Savoie, 2017). Là, le mur n'était pas vraiment plan !

FIGURE 26 – Photo de la planche qui, fixée directement sur un mur (ici vertical), permet de déterminer sa déclinaison par l'analyse des courbes diurnes. On y observe deux réseaux croisés, car je l'ai utilisée sur deux murs perpendiculaires : deux « droites » d'équinoxes et deux « hyperboles ». C'est une (mauvaise) photo de principe, la plaque trouée est normalement sensiblement verticale, mais je n'ai pas sous la main de photo où elle soit correctement positionnée.



Autres méthodes :

- méthode de la planche, toujours avec de nombreuses mesures + régression informatique ;
- vue satellite pour dégrossir l'orientation.

3 Références sources et sites utiles

3.1 Références sources

Les ouvrages utilisés sont ceux de Denis Savoie :

- *Les cadrans solaires tout comprendre pour les construire*, éd. Belin ;
- *Gnomonique moderne*, éd. SAF ;
- *La gnomonique*, éd. Les belles lettres.

3.2 Applications/logiciels utiles

Voici une liste non exhaustive d'applications et ou de logiciels. Ceux réalisés par des membres de notre commission sont indiqués (CCS). .

Merci d'excuser les oublis. Si vous souhaitez compléter ou apporter des remarques, les adresser à Philippe Sauvageot qui les publiera dans un prochain numéro de *Cadran info*.

Thème	Titre
Boussole	Valeur de la déclinaison : <ul style="list-style-type: none"> • Calculateur en fonction du lieu et de la date : www.geomag.nrcan.gc.ca/calc/mdcal-fr.php

Suite à la page suivante . . .

... suite de la page précédente

Thème	Titre
	<ul style="list-style-type: none"> Boussole avec N_m et N_g : play.google.com/store/apps/details?id=com.gamma.compass&hl=fr www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/mobileDeclination.shtml
Niveau	<ul style="list-style-type: none"> Niveau à bulle (également clinomètre) : play.google.com/store/apps/details?id=com.plaincode.clinometer&hl=fr
Éphémérides	<ul style="list-style-type: none"> Éphémérides en ligne de l'IMCCE : www.imcce.fr/services/ephemerides/ Application LunaSolCal (CCS) : play.google.com/store/apps/details?id=com.vvse.lunasolcal&hl=fr
Éphémérides TV/TL A, h, E ... à l'instant et pour une date/heure spécifique	<ul style="list-style-type: none"> Application Solar Info de César Busto (CCS) : play.google.com/store/apps/details?id=com.tempusumbra.solarwidget&hl=fr Application Sol Et Umbra : play.google.com/store/apps/details?id=gian.gnomonica.SolEtUmbra&hl=fr
Heure de passage au méridien h, TSV – TL	<ul style="list-style-type: none"> Application Solar Info de César Busto (CCS) version mai fonction "Événements" : play.google.com/store/apps/details?id=com.tempusumbra.solarwidget&hl=fr
TV/TL A, h, E à l'instant	<ul style="list-style-type: none"> Appli Gnomonic-Photo (CCS) : indications sur photo play.google.com/store/apps/details?id=com.tempusumbra.gnomonicphoto&hl=fr_CH
A, h du soleil à l'instant et pour une date/heure spécifique	<ul style="list-style-type: none"> Logiciel Stellarium : www.clubic.com/telecharger-fiche18474-stellarium.html Application TpSol de Yvon Massé (CCS) : gnomonique.fr/applis/
Déclinaison gnomonique	<ul style="list-style-type: none"> Site les cadrans solaires d'Eure et Loire : méthode et calculs cadransolaire28.free.fr/index2.htm Site de J. Pakhomoff (CCS) : méthode www.pakhomoff.net/mesdec.html Site de La Sousta : méthode et calculs lasousta.pagesperso-orange.fr/Cadrans/soleilmeridien.htm Site de M. Lalos (CCS) : méthodes et calculs michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/theorie_cs/declinaison_gnomonique.html Site de J. Robic (CCS) : méthode www.cadrans-solaires.fr/construction.html Shadows de François Blateyron (CCS) : logiciel et manuel, méthodes et calculs www.shadowspro.com/fr/telecharger-shadows.html www.shadowspro.com/fr/manuel-utilisateur.html

Suite à la page suivante ...

... suite de la page précédente

Thème	Titre
Déclinaison gnomonique	<ul style="list-style-type: none"> • Calcad de Yvon Massé (CCS) : cadran solaire sur un plan quelconque. gnomonique.fr/calcad/

Vous pouvez également vous reporter à la liste des 50 logiciels/applications de gnomonique « LogicielGnomo mai 2020-Excel » à votre disposition sur notre site : www.commissioncadrans-solaires.fr/, sous l'onglet "OffreCCS-Outils".

Remerciements

Merci aux contributeurs qui ont permis de formaliser cet article.

Merci aux réalisateurs de sites qui par les informations mis à disposition sur le web, ont étayé l'article.



La porte du temps

Dans la région de Grenoble, un membre de la Commission des Cadran Solaires a fait réaliser par un artisan compagnon une porte personnalisée pour sa maison.

Côté rue, la porte est classique, mais côté intérieur, le décor est à l'image de la passion du propriétaire des lieux (voir photo ci-contre) qui décrit :

« Le tracé est en rond de laiton, serti, collé et pointé, avec des perles de Murano de couleurs différentes pour marquer solstices et équinoxes et d'autres de couleur neutre pour les dizaines de jours. La ligne de midi est gravée dans le bois. Il a été calculé pour des chiffres ronds de latitude et déclinaison du mur fictif (angles aisément accessibles au compas ... que je laisse deviner). Le tracé à été réalisé à quelques mm près. Il pourrait tout à fait convenir pour une méridienne! »



Sur une variante de la méthode de la planchette

par Dominique Collin

Présentation d'une variante de la méthode dite de la planchette obviant la délicate opération du tracé des ombres tout en augmentant la précision par des relevés plus simple donc pouvant être plus nombreux.

De nombreuses méthodes de mesure de la déclinaison gnomonique ont été développées, certaines anciennes, d'autres plus modernes, faisant appel à la dextérité de l'expérimentateur avec de plus en plus l'aide incontournable de l'outil informatique. Toutes ont deux objectifs pas toujours atteints en même temps : fournir une technique simple pour l'opérateur amateur ou professionnel et assurer une exactitude suffisamment respectable à la valeur fondamentale D.

On trouvera regroupé dans ce *Cadran Info* un ensemble assez complet de méthodes dans l'article de M. Sauvageot avec un aperçu de leur difficulté de mise en œuvre. Sur la méthode préconisée par la Commission des Cadres Solaires depuis de nombreuses années, la méthode de la planchette¹, il existe une variante laquelle n'a, à ma connaissance, jamais été diffusée. Elle est due à M. Pierre Drumel, membre de l'Astro Club du Calaisis (ACC), qui m'avait communiqué² la méthode employée après avoir pris connaissance de la méthode de la planchette que j'avais recommandé à l'époque.

1 Principe de la méthode

Si la *méthode de la planchette* utilise la longueur de la corde de l'arc qui se trouve entre la direction de l'ombre d'un fil à plomb et la direction parallèle au mur pour trouver ensuite

1. La méthode de la planchette est une méthode de mesure de la déclinaison gnomonique d'un cadran plan vertical imaginée par Robert Sagot (*cf. L'Astronomie*, vol. 102, février 1988). C'est une méthode recommandée par la CSS. Sur un essai d'analyse de l'exactitude attendue, voir D. Collin, *Sur une méthode de détermination de la déclinaison gnomonique*, *Cadran Info* n° 1, février 2000

2. Correspondance privée, mai à juin 2001. Cela se situe sur la période qui suit l'achèvement de la construction du grand cadran solaire vertical déclinant du Collège République à Calais pour la commémoration de son centenaire (INV. 6219301-1).

l'angle entre la perpendiculaire au mur et l'ombre (l'angle "K", cf. fig. 10 page 114), la variante proposée ici utilise une autre technique pour mesurer cet angle.

On dispose toujours, (1) d'un plan horizontal et perpendiculaire au mur, (2) d'un fil à plomb et (3) d'un système de chronométrage. On installe alors deux axes gradués millimétrés perpendiculaires au mur et espacés entre eux d'une quantité connue L. L'origine des graduations sur ces axes peut être à la même distance du mur, mais peut être aussi tout à fait quelconque. On relève toujours la direction de l'ombre permettant d'accéder à l'angle entre la normale au mur et l'ombre du fil à plomb.

Dans tout ce qui suit on choisit la variante "A" dans laquelle les origines sont à la même distance du mur. Les axes parallèles sont orientés de l'observateur vers le mur comme on peut le voir sur la figure générale descriptive 1.

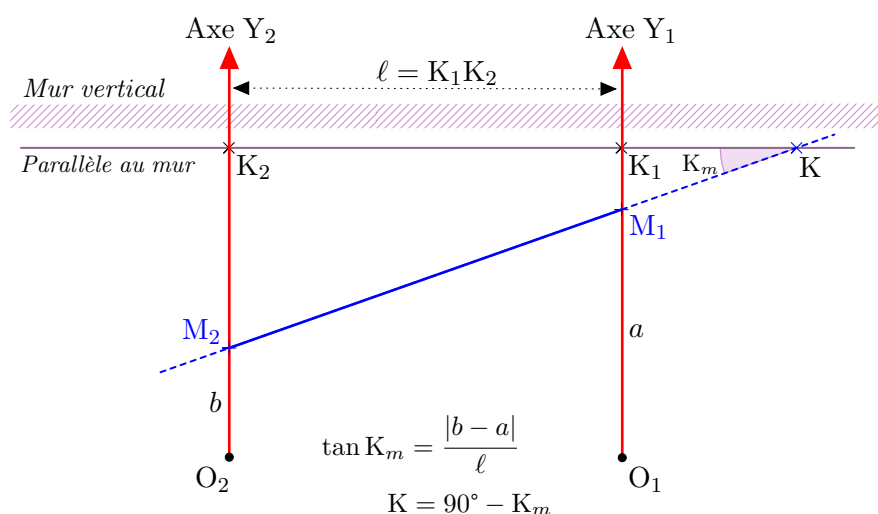


FIGURE 1 – Méthode de la planchette : variante A.

Si l'on choisit l'option où les origines sont prises arbitrairement sur les axes alors on obtient la variante "B" (cf. figure 2).

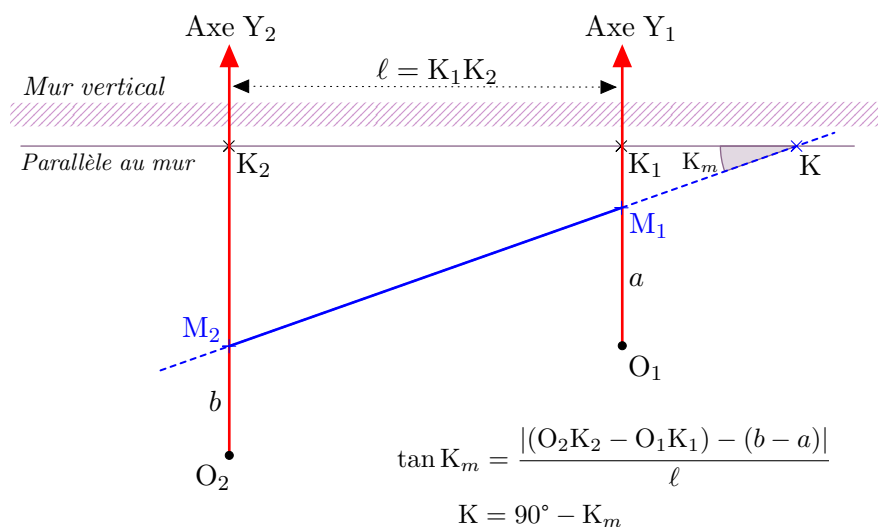


FIGURE 2 – Méthode de la planchette : variante B. Ici les règles perpendiculaires au mur n'ont pas la même origine ($O_1K_1 \neq O_2K_2$).

2 Matériel

Le matériel utilisé (pour la variante "A" ou "B") est le suivant :

- a. Table horizontale (500 × 800 mm).
- b. Deux équerres graduées de longueur 400 mm par exemple (fabriquant Dexter ou autre fournisseur chez tout outilleur professionnel).
- c. Un appareil photo numérique type Smartphone avec horodatage et position GPS activés.
- d. Niveau à bulle + cales de réglage pour la mise à niveau.
- e. Un fil à plomb sur trépied.
- f. Un récipient rempli d'eau pour limiter le mouvement d'oscillation du plomb.
- g. Logiciel GeoGebra.
- h. Logiciel d'éphémérides (comme eCdT de l'IMCCE).
- i. Le tableur Excel préconisé dans la méthode de la planchette (*cf.* annexes à la version numérique de Cadran Info).

La figure 3 montre le dispositif complet mis en place.



FIGURE 3 – Dispositif de la variante "A" de la méthode de la planchette.

3 Mode opératoire

La mise en œuvre des relevés des ombres est telle que l'opérateur n'agit que sur le fil à plomb et ne touche en rien l'ensemble table et équerres graduées. Il n'est plus aucunement besoin d'une feuille pour relever au crayon la direction de l'ombre du fil à plomb. Une prise de vue photographique se chargera de cette délicate opération manuelle.

- Contrôler l'horizontalité de la table à l'aide du niveau à bulle et des cales de réglage. Cette opération est primordiale et met en péril tout relevé si celle-ci est négligée.
- Contrôler la perpendicularité des équerres accolées au mur et mesurer la distance entre les deux équerres graduées. Cette distance doit être connue et doit rester constante durant la série de mesures. On prendra de préférence un écartement bord à bord³ compris entre

3. L'écartement L des règles est pris entre les bords extérieurs de celles-ci.

300 et 400 mm. Bien entendu, ne pas oublier de noter cette valeur (on peut s'en dispenser si on joint en permanence au dispositif une règle graduée montrant la distance qui sépare les axes parallèles.)

- Positionner le fil à plomb (avec son récipient amortisseur) de telle sorte que l'ombre du fil à plomb coupe les règles graduées des deux équerres.
- Prendre une photo de dessus avec le Smartphone⁴, cadrée sur le dispositif et sur l'ombre coupant les deux équerres graduées. L'horodatage de la photo sera utilisée par la suite (de même que les données GPS, incluses dans les données Exif, et qui seront utiles lors de l'exploitation des relevés⁵).



FIGURE 4 – Exemple d'une prise photographique pour un relevé d'ombre (20200414_110711242_iOS.jpg).

- Pour une nouvelle prise de vue, il suffit d'attendre que l'ombre se soit suffisamment déplacée. La seule contrainte est que l'ombre coupe toujours les deux règles graduées. On laissera un intervalle de temps suffisant entre chaque prise photographique.
- Prendre autant de photos que l'on souhaite en fonction du nombre de relevés souhaités à l'avance et bien sûr selon le temps d'exposition au Soleil du plan déclinant. Si un déclenchement n'a pas été fait correctement, ou si une petite rafale de vent est apparue brutalement faisant bouger l'ombre au moment de la prise de vue, rien de plus élémentaire que de supprimer la photo et de recommencer l'opération...

4. L'avantage du Smartphone est de pouvoir stocker simultanément : relevés d'ombre, temps à la seconde près, et position GPS, ... et de pouvoir effacer un cliché défectueux et reprendre à tout moment un autre cliché photographique ! Il n'y a plus d'intervention de l'opérateur comme dans la méthode classique.

5. Concernant ce que l'on appelle abusivement "GPS" du smartphone, celui-ci utilise un mélange de deux mécanismes de localisation : l'un basé sur la géolocalisation fournie par le réseau cellulaire, et l'autre basé sur le chipset A-GPS intégré (pour un iPhone). La précision obtenue est médiocre et de l'ordre de 5 à 10 m, le Smartphone utilisé ne possédant pas la puce BCM47755. Cela est cependant parfaitement satisfaisant pour la gnomonique !

4 Traitement des données

4.1 Traitement photographique et mesure de K

Pour chacune des images on opérera de la façon suivante :

- Récupérer un fichier image. Sous Apple le nom automatique du fichier image contient l'année, le mois, le jour et les heures, les minutes, les secondes et millièmes de seconde (il s'agit d'un temps UT)⁶.

Exemple de nom de fichier : "20200207_102223629_iOS.jpg" correspond au 7 février 2020 à 10 h 22 m 23,629 s UT. Les récupérer pour l'utilisation dans les éphémérides (on arrondira bien entendu les secondes de temps).

- Insérer dans une feuille vierge de GeoGebra le fichier image choisi⁷. L'image apparaît avec un point A sur le bord inférieur gauche et un point B sur le bord inférieur droit de l'image. Pour le point inférieur gauche de l'image : donner les coordonnées $A = (0 ; 0)$. Pour le point inférieur droit, donner les coordonnées suivantes : $B = (\text{pixels} ; 0)$ où "pixels" est le nombre de *pixels horizontaux* de l'image. L'image est alors dimensionnée dans le système de coordonnées de GeoGebra⁸. On s'arrangera de telle sorte que sur l'image le côté du mur soit en haut et les règles graduées verticales.

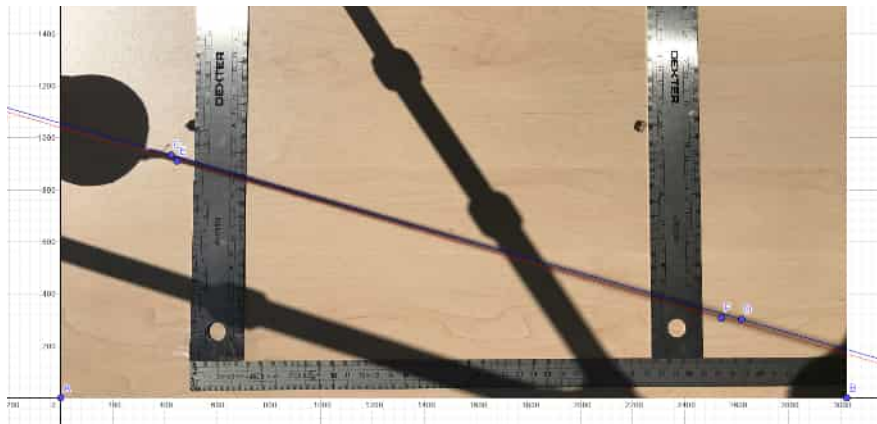


FIGURE 5 – Exemple de traitement d'une image sous GeoGebra (le trait bleu pour le côté "supérieur" de l'ombre, et le rouge pour le côté "inférieur"). Le positionnement des droites se fait au plus près de la zone la plus sombre de l'ombre.
(photo prise le 14/04/2020 à 12 h 31 m 12 s UT).

6. Une remarque pratique : les fichiers images peuvent être importés automatiquement sur un serveur cloud comme par exemple OneDrive qui assure un transfert automatique des fichiers images contenu dans "Pellicule". C'est ainsi que les images sont récupérées sans aucune autre manipulation. Si vous réalisez l'importation de façon manuelle, le nom du fichier prend alors par défaut le nom "IMG_xxxx.jpg" (sous Apple), ou xxxx représente le numéro de la prise de vue depuis l'origine des prises de vues du Smartphone (et en dehors de toute personnalisation) ; on perd ainsi tout aspect pratique parce que par la suite il va falloir ouvrir chaque image et fouiller dans les données Exif pour récupérer l'horodatage (et au moins une fois les données GPS).

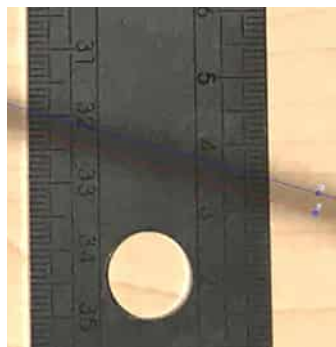
7. Le logiciel Geogebra a été choisi par défaut et par habitude de travail. Tout autre logiciel de dessin ou de traitement d'image capable de tracer des droites (et de les ajuster et d'en régler l'épaisseur) convient parfaitement. On peut citer par exemple sous l'environnement Windows : Paint. En logiciel libre et multiplateforme on peut citer Gimp.

8. Pour un exemple d'utilisation de GeoGebra voyez : *Cadran Solaire à réflexion : Modélisation de la tache lumineuse*, D. Collin, *Cadran Info* n° 40, p. 20–35, octobre 2019. L'information sur les pixels de l'image est récupérable dans les propriétés du fichier image (clic droit sur le fichier puis propriétés, puis l'onglet "détails" : il y a dans la liste les dimensions de l'image) ou encore directement sur le Smartphone qui a pris la photo.

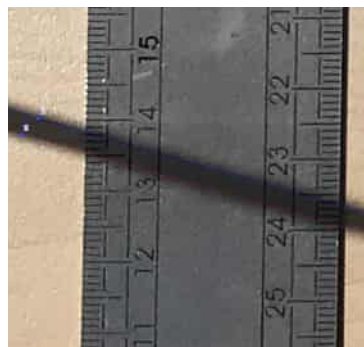
- Par superposition sur l'image on peut tracer les deux directions correspondant aux bords de l'ombre du fil à plomb (*cf.* fig. 5 page précédente). On placera finement le point permettant de tracer une droite se chevauchant le mieux possible au bord de l'ombre (on commencera par le bord côté du mur, c'est-à-dire le *bord supérieur*). C'est donc à l'œil et avec le zoom sur l'image sous GeoGebra que l'on appréciera au plus juste le passage de la droite sur le bord de l'ombre.

On jouera sur l'épaisseur du trait, ce qui permettra d'interpoler plus facilement la lecture des graduations. On s'apercevra rapidement que dans la plupart des cas les deux directions sont convergentes.

- Le *bord supérieur* de l'ombre du fil à plomb coupe le côté extérieur gauche de la règle en M_2 et en M_1 pour le bord extérieur droit de l'autre règle. Et de la même façon le deuxième bord de l'ombre coupe les bords extérieurs des règles respectivement en M_2^{inf} et M_1^{inf} .
- Lire alors sur chacune des équerres et pour la partie supérieure de l'ombre, les côtes $a = O_1M_1$ et $b = O_2M_2$ en mm respectivement. *Idem est* pour la droite inférieure correspondant au bord inférieur de l'ombre du fil à plomb (exemple en fig. 6).



(a) Côté extérieur gauche de la 1^{re} règle graduée



(b) Côté extérieur droit de la 2^e règle graduée

FIGURE 6 – Exemple de lecture des côtes a et b .

- L'angle entre la parallèle au mur et la direction de l'ombre (angle K_m ; voir figure 1 page 134) se calcule de la façon suivante :

$$\tan K_m = \frac{|b - a|}{\ell}$$

Son complémentaire $K = 90 - K_m$ donne l'angle (géométrique) entre la normale au mur et la direction de l'ombre du fil à plomb : c'est cette valeur qui nous intéresse, elle donne accès à la déclinaison gnomonique.

4.2 Formules de calcul de la déclinaison

La suite du traitement numérique, c'est-à-dire la partie *éphéméride*, se déroule exactement de la même façon que dans la méthode de la planchette.

En un instant UT de l'évènement choisi, on récupère la déclinaison du Soleil (δ) dans les éphémérides, on calcule l'angle horaire du Soleil (H) (à partir de l'instant UT de passage du Soleil au méridien du lieu), puis on calcule son azimut (A).

Ensuite le calcul de la déclinaison gnomonique (D) s'effectue à partir de l'une des règles suivantes⁹ :

- A) Dans le cas où l'ombre du fil à plomb tombe du côté **gauche** de la normale au mur, on a :
 $D = A - K$.
- B) Dans le cas où l'ombre du fil à plomb tombe à **droite** de la normale au mur, on a :
 $D = A + K$.
- C) Dans le cas particulier où le Soleil passe dans le **plan vertical**, on $a = b$: l'ombre est parallèle au mur. Les règles A) et B) continuent de fonctionner. On a :
 Si le Soleil est à droite de la normale au mur, alors $D = A + 90^\circ$; sinon il est à gauche de la normale et $D = A - 90^\circ$.
- D) Dans le cas où le Soleil est passé **derrière le mur**, la direction de l'ombre change et une partie de l'ombre est encore exploitable. La règle suivante s'impose :
 Si le Soleil est à gauche de la normale au mur, alors $D = A + K - 180^\circ$.
 Dans le cas contraire (Soleil à droite, ombre à gauche) : $D = 180^\circ + A - K$.

5 Exemples numériques

On proposera des exemples dans le cas de la variante "A". Le tableau 1 donne les résultats après traitement des images obtenues lors d'une campagne de mesure de la déclinaison gnomonique d'un mur d'essais. Les mesures¹⁰ ont été prises le 14 avril 2020 à Nice, entre 13 h et 14 h 45 m. L'instant UT, arrondi à la seconde entière la plus proche, est calé sur l'heure des données GPS recueilli par le Smartphone.

TABLE 1
Extrait d'une feuille de résultats pour le 14/04/2020 (bord sup. de l'ombre)

N°	Instant UT <i>hh:mm:ss</i>	L (mm)	<i>a</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	K (deg.)	H (deg.)	δ (deg.)	A (deg.)	D (deg.)
1	11:07:11	360	247,5	117,0	70,074	-170,967	9,663	-10,439	-80,51
2	11:08:48	360	196,0	71,5	70,923	-170,560	9,663	-9,740	-80,66
3	11:15:26	360	168,0	61,5	73,520	-168,904	9,665	-6,856	-80,38
4	11:21:12	360	197,0	109,5	76,339	-167,463	9,666	-4,331	-80,67
5	11:26:46	360	162,0	89,0	78,537	-166,071	9,668	-1,885	-80,42
6	11:32:02	360	186,0	129,0	81,003	-164,754	9,669	0,433	-80,57
7	11:37:11	360	213,5	170,0	83,110	-163,467	9,670	2,699	-80,41
8	11:52:33	360	155,0	153,0	89,682	-159,625	9,674	9,418	-80,26
9	11:53:32	360	151,5	154,0	89,602	-159,379	9,674	9,844	-80,55
10	12:16:06	360	90,5	153,5	80,074	-168,738	9,674	19,403	-80,52
11	12:31:12	360	35,0	138,5	73,960	-164,963	9,678	25,494	-80,55
12	12:44:04	360	8,5	146,5	69,027	-161,746	9,684	30,447	-80,53

9. On considère que l'observateur regarde le plan vertical placé devant lui (tout comme les axes ont été orientés), ce qui lève les ambiguïtés de "droite" ou de "gauche".

10. Le diamètre du fil à plomb est compris entre 4 et 5 mm.

Le tableau 2 permet de constater l'effet du diamètre apparent du Soleil sur les mesures de la déclinaison en considérant le bord *supérieur* et le bord *inférieur* de chacune des ombres sélectionnées. On donne également la moyenne pour chaque bord de l'ombre.

TABLE 2
Déclinaison gnomonique pour les bords supérieur et inférieur de l'ombre (feuille de résultats du 14/04/2020)

D												
SUP	-80,51	-80,66	-80,38	-80,67	-80,42	-80,57	-80,41	-80,26	-80,55	-80,52	-80,55	-80,53
INF	-80,51	-80,88	-80,82	-80,67	-80,65	-80,73	-80,41	-80,58	-80,63	-80,52	-80,62	-80,67
Moyenne	SUP	-80,50										
Moyenne	INF	-80,64										

La valeur de la déclinaison pourra être obtenue en prenant le milieu de l'intervalle formé par les valeurs moyennes des bords inférieur et supérieur¹¹. Dans cet exemple, et sans avoir enlevé de mesures suspectes, on retiendra : $D \pm \Delta D = -80^\circ 34' \pm 8'$.

À titre de comparaison, on donne en table 3 les résultats obtenus avec la méthode de la planchette en n'utilisant que le bord supérieur de l'ombre.

TABLE 3
Méthode de la planchette — Extrait d'une feuille de résultats pour le 14/12/2019 (bord sup. de l'ombre)

N°	Instant UT <i>hh:mm:ss</i>	C (mm)	K (deg.)	H (deg.)	δ (deg.)	A (deg.)	D (deg.)
1	09 :44 :05	0,2910	56,164	-25,317	-23,200	-24,589	-80,75
2	09 :46 :00	0,2890	56,404	-24,838	-23,200	-24,148	-80,55
3	09 :50 :20	0,2820	57,241	-23,754	-23,200	-23,146	-80,39
4	09 :52 :00	0,2775	57,778	-23,338	-23,200	-22,759	-80,54
5	09 :56 :00	0,2695	58,731	-22,338	-23,200	-21,826	-80,56
6	09 :28 :00	0,2670	59,028	-21,838	-23,200	-21,358	-80,39
7	10 :02 :00	0,2585	60,038	-20,838	-23,201	-20,417	-80,45
8	10 :05 :00	0,2540	60,571	-20,088	-23,201	-19,708	-80,28
9	10 :10 :15	0,2430	61,873	-18,775	-23,201	-18,461	-80,33
10	10 :12 :00	0,2390	62,345	-18,338	-23,201	-18,044	-80,39
11	10 :14 :00	0,2335	62,994	-17,838	-23,201	-17,566	-80,56
12	10 :16 :00	0,2305	63,347	-17,338	-23,201	-17,087	-80,43
13	10 :18 :00	0,2260	63,877	-16,838	-23,201	-16,607	-80,48
14	10 :22 :00	0,2160	65,052	-15,838	-23,201	-15,643	-80,69
15	10 :24 :00	0,2135	65,345	-15,338	-23,201	-15,160	-80,50

La méthode de la planchette donne : $D \pm \Delta D = -80^\circ 27' \pm 6'$. On se trouve dans le même ordre de grandeur pour l'intervalle de confiance.

11. On évaluera l'incertitude sans biais ΔD portant sur D à l'aide la relation empirique : $\Delta D \approx 4 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ où σ est l'écart-type expérimental et n le nombre de mesures.

Dans les deux méthodes l'étendue des mesures a été inférieure à $0,5^\circ$; on peut estimer que pour des fluctuations plus importantes et pour garantir une exactitude inférieure ou égale $6'$ d'angle ($0,1^\circ$), la campagne des mesures est à recommencer.

6 Critiques

Cette variante ("A" ou "B") ne permet pas des mesures au voisinage de la normale au mur, contrairement à la méthode classique. Elle permet par contre d'effectuer des mesures alors même que le Soleil transite dans le plan du mur et passe "derrière" le mur. La méthode des cordes n'étant alors plus applicable en raison de la dimension qu'il faudrait donner à la feuille de relevé. Pour des valeurs faibles de l'angle K_m , la méthode des deux équerres de même longueur s'avère très efficace mais elle ne l'est plus pour des angles supérieurs à 50° (c'est-à-dire lorsque l'ombre se rapproche de la normale au mur) ¹².

Des essais portant sur la direction d'ombre seront donc nécessaires pour choisir l'une ou l'autre des techniques afin de se placer dans le domaine de leur fonctionnement optimal.

Si l'on veut comparer les deux techniques de mesure des angles on peut évaluer le nombre total d'opérations manuelles effectuées. Par la méthode des cordes et pour un exemple de 10 relevés d'ombre du fil à plomb en supposant que l'on prend simultanément (ou presque) les bords inférieur et supérieur, on aura à marquer au crayon $3 \times 2 \times 10$ points d'ombre, 10 instants, $2 \times 10 + 1$ droites, $2 \times 2 \times 10$ points de repère de distance et 2×10 longueurs à mesurer. Soit un total minimal de 151 actes de marquage pour seulement 10 relevés d'ombre (291 pour 20 relevés, etc.). Pour la variante "A" tout s'effectue à l'aide du smartphone (appareil photo) et de la souris d'un ordinateur. Elle donne pour un même nombre de relevés approximativement 80 étapes distinctes ¹³. Même si cette approche de comptage est naïve, le lecteur peut juger de la différence.

La variante "A" offre un traitement du relevé des ombres particulièrement plus efficace et expéditif que la méthode de la planchette.

7 Autre solution plus "classique"

Si l'on se souhaite pas utiliser un Smartphone alors on est forcé de revenir à la méthode traditionnelle : papier, crayon, chronographe et . . . beaucoup de temps devant soi.

Supposons que sur votre table horizontale (bien vérifiée) vous fixez une grande feuille (format 50×50 cm par exemple) quadrillée millimétrée de type Canson ¹⁴ dont un des bords millimétrés est ajusté contre le mur.

Vous remplacerez alors les deux équerres graduées par deux axes tracés au crayon (ou au rotring) le long d'une ligne principale des carreaux millimétrés. Ces lignes sont donc déjà graduées (mais non chiffrées), liberté est alors offerte pour placer les origines sur une même ligne de niveau, comme par exemple à distance 350 mm du mur (juste pour se fixer les idées). L'espacement des axes peut être le même que dans l'exemple précédent : 360 mm par exemple.

12. Avec le matériel utilisé ici (modèle Dexter 400 mm, distance minimale des deux équerres de l'ordre de 300 mm), l'angle maximal que l'on peut espérer atteindre est de 53° . L'ombre du fil à plomb ayant pour position limite la diagonale du rectangle formé par les deux équerres perpendiculaires au mur.

13. Effectuées à l'aide de la souris hors de toute action d'ouverture, fermeture, récupération et insertion et lecture d'images. . .

14. Il en existe sous forme de rouleau de papier millimétré sur feuille semi-rigide colorée, en papier calque ou en papier glacé grand format.

On procédera à l'installation du dispositif du fil à plomb comme précédemment. En ayant réglé un chronographe à un top horaire entier de l'horloge parlante¹⁵ puis l'ayant déclenché quand tout vous semble prêt, les mesures peuvent commencer :

- positionner le fil à plomb de telle sorte que son ombre coupe bien les deux axes perpendiculaires. Attendez qu'il se stabilise.
- marquer les points d'intersection de la partie supérieure et inférieure de l'ombre du fil plomb avec les deux axes orthogonaux.
- notez simultanément au possible les secondes écoulées puis les minutes. La fonction "tour" du chronographe peut s'avérer particulièrement utile pour cela puisque la durée est affichée sans arrêter le temps.
- numérotez soigneusement les points marqués pour bien distinguer par la suite ce qui appartient au bord supérieur puis au bord inférieur de l'ombre.

Répétez autant de fois que vous le souhaitez cette procédure en espaçant les mesures tous les quart d'heures par exemple (ce qui permet de faire en direct les relevés des cotes a et b des bords supérieur et inférieur de l'ombre si on le souhaite. Elles seront consignées dans un tableau préalablement préparé).

Il ne sera pas nécessaire de tracer la direction des ombres, les points d'intersection suffisent car la lecture des millimètres sur les axes est directe (avec un peu d'exercice toutefois en raison de l'absence de chiffrage). Ce qui procure un gain de temps et surtout beaucoup moins d'intervention du gnomoniste.

Le traitement s'effectue ensuite exactement de la même façon. L'usage d'un tableur Excel s'avère particulièrement efficace.

En annexe de la version numérique :

Le fichier Variante_Déclinaison_SAF-CCS.xls.

Celui-ci se compose de 4 feuilles :

- Feuille 1 : Cartouche ;
- Feuille 2 : Utilisation ;
- Feuille 3 : Mesures ;
- Feuille 4 : Coefficients de Student.

8 Conclusion

En faisant un inventaire succinct de ce que la méthode des cordes exige : un tracé de l'ombre, deux reports d'une même longueur, puis la mesure proprement dite de la corde. Dans la présente variante, l'idée d'utiliser deux axes parallèles prend tout son intérêt en raison de la rapidité et de la simplicité avec laquelle on effectue à la fois l'acquisition et l'exploitation des relevés d'ombre. L'angle entre la normale au mur et la direction géométrique de l'ombre s'obtient à travers une fonction trigonométrique (la tangente) tout comme dans la méthode des cordes (le sinus).

Cette variante se prête parfaitement bien à un traitement numérique en offrant une multiplicité des relevés d'ombre tout en limitant drastiquement le nombre d'intervention du gnomoniste.

Elle conduit au même degré d'exactitude que la méthode des cordes mais elle ne s'y substitue pas et doit être vue comme une méthode complémentaire.



15. L'instant UT de la mesure a alors la forme $t_0 + \Delta t_i$ ou i est le numéro chronologique de l'ombre. On relève Δt_i en minutes et secondes, t_0 est l'heure du top horaire pris pour origine.

Espace débutant (3)

par Gérard Oudenot

Cette rubrique, initiée depuis le numéro 39 de la revue *Cadran Info*, est dédiée aux néophytes¹. Elle est ouverte à tous ceux qui souhaitent aider les débutants en communiquant expériences, approches, études pour :

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

Dans cette troisième édition, c'est :

— Gérard Oudenot...

... qui nous a autorisé à reprendre ses écrits publiés dans « *La revue du Palais de la Découverte* », début des années 1970.

Il y présente la construction d'un cadran solaire en carton, simplement par des reports de côtes. Quelques notions d'astronomie propres à la compréhension des cadrans solaires et à leur lecture de l'heure complètent le texte.

JE CONSTRUIS MON CADRAN SOLAIRE

[G. OUDENOT]

1 Introduction

L'ombre d'un objet, un arbre par exemple, se déplace constamment au cours de la journée. Sous nos latitudes, le matin l'ombre est dirigée à peu près vers l'ouest (plus ou moins suivant l'époque de l'année) ; au fur et à mesure que s'écoule la matinée, elle diminue de longueur et se déplace vers le nord, qu'elle indique lorsqu'elle passe par son minimum, puis s'allonge ensuite et se déplace vers l'est.

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

Cette constatation évidente a permis la première mesure du temps en repérant les positions de l'ombre au cours de la journée.

Malheureusement, la mesure du temps n'est pas aussi simple que ce que nous venons de dire ou le laisser penser. Si nous notons de façon précise la position de l'ombre à un instant déterminé et si, le lendemain, nous refaisons cette expérience au même instant de la journée, nous constatons que la direction de l'ombre a très légèrement varié. Ce phénomène, que nous expliquerons plus tard, rend imprécise la définition d'une heure à partir du mouvement de l'ombre d'un objet quelconque.

Néanmoins cette méthode a été utilisée vraisemblablement depuis l'apparition de l'homme sur cette planète jusqu'à l'invention du cadran solaire.

Qu'est-ce donc qu'un cadran solaire ?

Un cadran solaire (fig. 1) est un instrument qui sert à déterminer l'heure grâce au Soleil. Il se compose d'un *style*, c'est-à-dire une tige ou arête qui porte ombre et d'une *table*, qui reçoit l'ombre du style ; sur cette table sont notées des inscriptions. Nous préciserons ces notions un peu plus loin.



FIGURE 1 – Cadran horizontal à Presles-Et-Thierry (Aisne), gravé sur ardoise, lignes chiffrées dans bandeaux, style triangulaire (Inv CCS 02621003-01).



FIGURE 2 – Cadran méridional à Saint-Bonnet-En-Champsaur (Hautes-Alpes) gravé et peint sur enduit (Inv CCS 05132007-01).



FIGURE 3 – Cadran équatorial à Marseille (Bouches-Du-Rhône), gravé et peint sur métal plus bois, semi-cylindrique (Inv CCS 13901002-01).

Les premiers cadrans solaires n'étaient qu'une version améliorée de l'arbre que nous avons pris pour exemple et les heures qu'ils donnaient n'étaient pas régulières. Leur origine est très imprécise, un certain nombre d'auteurs s'accordent pour considérer Anaximandre, qui vivait au VI^e siècle avant J.-C., comme l'inventeur du cadran solaire ; mais la Bible parle d'un cadran

ayant appartenu au roi Achaz, un siècle plus tôt, et les Chinois prétendent qu'ils employaient déjà des cadrans à l'époque de l'empereur Yao, 24 siècles avant J.-C.

Nous n'essaierons pas de résoudre ce problème, d'autant plus que les cadrans solaires qui vont nous intéresser ici ne sont vraisemblablement pas antérieurs au XIII^e siècle.

Nous ne nous occuperons que des cadrans solaires qui donnent ce qu'on appelle « l'heure solaire vraie », c'est-à-dire les cadrans qui permettent de passer facilement de la lecture de la position de l'ombre à l'heure donnée par une montre.

Pour de tels cadrans, le style est parallèle à l'axe terrestre. C'est grâce à cette particularité que le cadran peut indiquer des heures égales pour des journées différentes. Le style peut être réel ou fictif, ce qui veut dire qu'il peut être matérialisé par une tige, ou l'arête d'une plaque métallique, par exemple, ou qu'au contraire il peut ne matérialiser qu'un point de l'axe terrestre, par exemple l'extrémité d'une tige ou le trou d'un œilleton. La table du cadran est généralement plane, mais elle peut avoir n'importe quelle forme; le cadran que nous allons construire a justement une table qui est cylindrique. La table porte un tracé qui est essentiellement composé par les lignes horaires et souvent les courbes de déclinaison, ou arcs diurnes, qui sont les courbes correspondant à la trajectoire de l'ombre d'un point du style au cours d'une même journée.

Il existe bien des variétés de cadrans solaires, comme les cadrans horizontaux (fig. 1 page précédente), les cadrans inclinés, les cadrans verticaux (fig. 2 page ci-contre), les cadrans équatoriaux (fig. 3 page précédente), etc.

Les noms donnés à ces divers cadrans proviennent de la position de leur table; par exemple : « cadran horizontal » signifie que la table de ce cadran est plane et située dans un plan horizontal. Parmi les types de cadrans cités ici, seul le cadran équatorial semble s'éloigner de cette définition. En fait vous pouvez imaginer que sa table est une circonférence située dans le plan de l'équateur (donc perpendiculaire au style) et que l'on a prolongé cette circonférence de part et d'autre, pour rendre la lecture du cadran plus aisée, ce qui a abouti à une table cylindrique.

Nous allons nous intéresser tout particulièrement au cadran équatorial parce qu'il est le plus simple de tous. Son style n'a rien de particulier, par contre sa table qui est cylindrique porte des lignes horaires qui sont tout simplement des génératrices du cylindre, c'est-à-dire des segments de droites, équidistants les uns des autres et les arcs diurnes sont des sections circulaires (fig. 4).

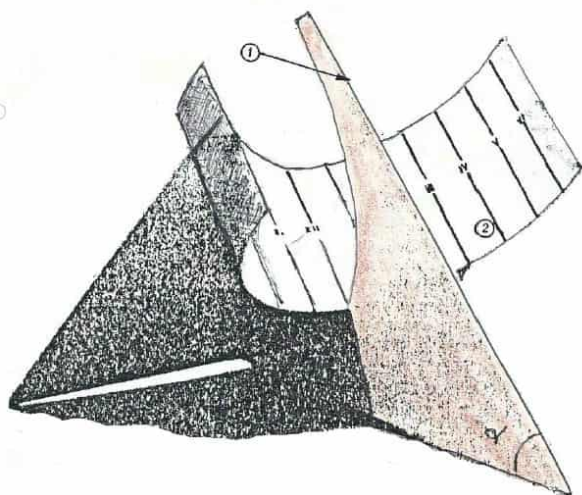


FIGURE 4 – Cadran équatorial portatif. Ce cadran est celui que nous allons réaliser. Remarquez sa table (2), très différente de celle des autres cadrans présentés ici, puisqu'elle est constituée d'une portion de cylindre à section circulaire axé sur le style (1). Sur cette table on distingue quelques lignes horaires qui sont, comme nous l'avons indiqué, des segments de droites équidistants.

Il est donc très facile de tracer la table de ce cadran. Réfléchissez-y et essayez vous-même, et si vous ne trouvez pas, nous verrons comment faire dans le chapitre 2 page suivante.

2 Réalisation du cadran équatorial

Le cadran équatorial que nous allons construire se compose de trois parties (fig. 5).

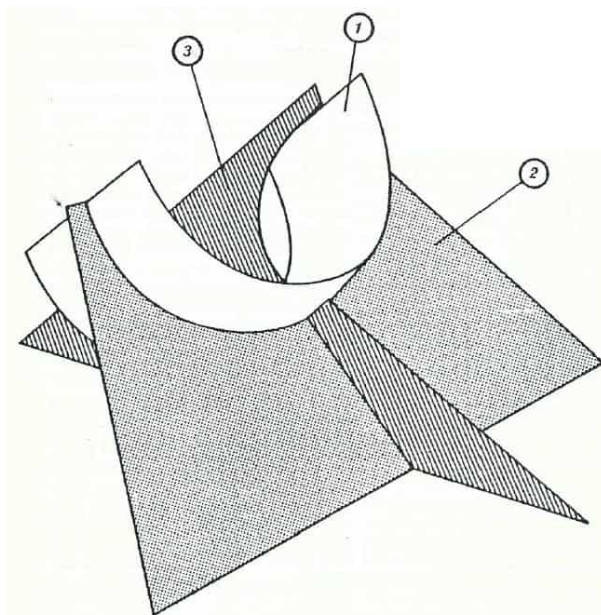


FIGURE 5 – Schéma du cadran équatorial assemblé.

Ces trois parties se découpent dans une feuille de carton mince (de la cartoline par exemple) ; elles sont assemblées sans collage ni éléments supplémentaires, ce qui rend le montage extrêmement simple.

Quelle que soit la latitude du lieu pour lequel on désire réaliser ce cadran, les pièces 1 (fig. 6) et 2 (fig. 7 page suivante) sont les mêmes, par contre la pièce 3 dépend de la latitude.

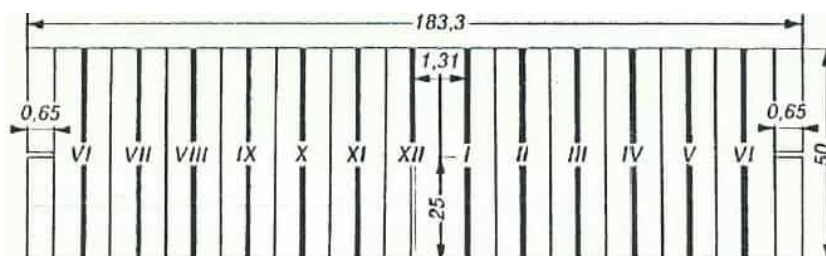


FIGURE 6 – La pièce 1, ou table du cadran. Les cotes de cette pièce, ainsi que des pièces 2 et 3, sont données en millimètres. La largeur des trois fentes doit être égale à l'épaisseur du carton.

Commençons par tracer la pièce 1 telle qu'elle est décrite à la figure 6 et portons les heures, tous les 1,3 cm, et les demi-heures, tous les 0,65 cm. Il n'est pas conseillé de descendre en-dessous de la demi-heure ; en effet, plus le nombre de lignes augmente et moins la lecture devient aisée.

Remarquons que les dimensions de cette pièce 1, ainsi que celles des deux autres, sont données avec une très grande précision ; cette précision est inutile pour nous et n'est fournie que pour ceux qui désireraient réaliser ce cadran à une échelle beaucoup plus grande. La pièce 1 étant terminée, découpons-la et mettons-la de côté.

La pièce 2 ne présente aucune difficulté, il suffit de reproduire très exactement la figure 7 page suivante. Sur le côté droit de cette pièce, écrivons la relation :

$$T_L = T_s + E + L + 1 \text{ h en hiver ou } 2 \text{ h en été}$$

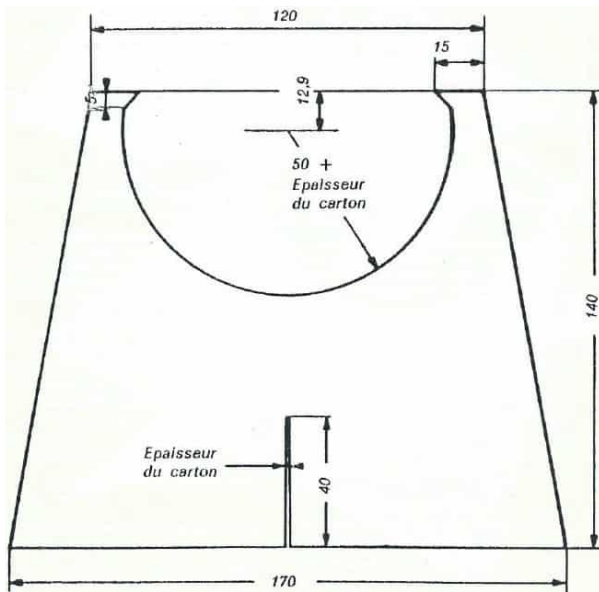


FIGURE 7 – La pièce 2 du cadran.

Cette relation nous servira plus tard à passer de l'heure lue sur le cadran (T_s) à l'heure lue sur une montre (T_L).

Sur le côté gauche, reproduisons la figure 8 (à la même échelle). Nous verrons ce que signifie cette courbe appelée « Equation du temps » dans le prochain chapitre.

Cette pièce est donc terminée, découpons-la et conservons-la avec la pièce 1. La pièce 3 va

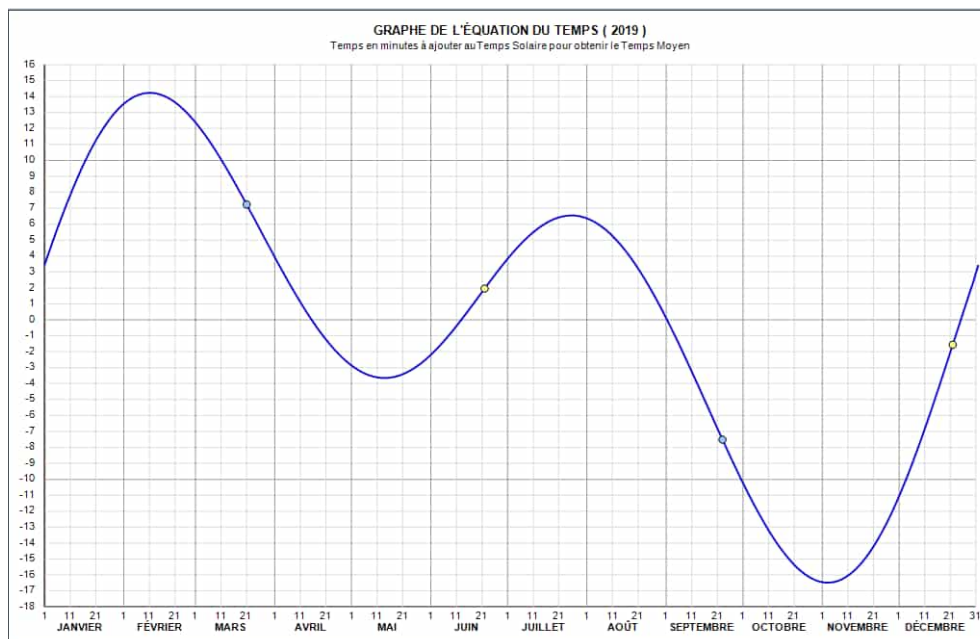


FIGURE 8 – Courbe de l'« équation du temps » 2019 tracée avec le logiciel Shadows de F. Blatayron (www.shadowspro.com/fr/index.html).

nous donner un peu plus de difficultés que les deux précédentes. Si vous habitez Paris, il vous suffit de reproduire la figure 9 page suivante, avec $X = 111,1$ mm.

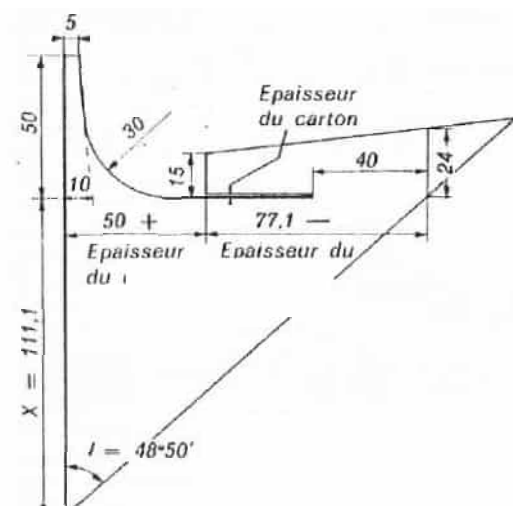


FIGURE 9 – Pièce 3, tracée pour Paris (latitude : $\varphi = 48^\circ 50'$) soit $X = 111,1$.

Si vous habitez une autre ville que Paris, « X » aura une valeur dépendant de la latitude de cette ville. La pièce 3 varie suivant la latitude ; cette variation est due à l'angle marqué φ (pour Paris, $48^\circ 50'$), qui doit être égal à la latitude du lieu².

Supposons, par exemple, que cette latitude φ soit égale à 45° ; vous lisez dans la table 1 en face de 45° : $X = 127,1$ mm ; ce qui vous permet de tracer la pièce 3.

Le tableau 1 donne dans sa première colonne la latitude en degrés, pour des lieux situés en France. La deuxième colonne convertit ces degrés en grades (les cartes Michelin donnant la latitude en grades). La troisième colonne donne, pour une latitude déterminée, la valeur de X correspondante.

Plaçons nous maintenant dans le cas le plus général où vous ignorez la latitude de l'endroit où vous avez l'intention de construire votre cadran ; il faut alors la déterminer.

Pour cela prenons une carte Michelin³ ; sur les bords gauche et droit, les latitudes sont portées de 0,20 en 0,20 grade. Regardons la position de notre site sur la carte. Une règle de trois nous permet d'évaluer facilement la latitude à quelque centièmes de grade, ce qui est plus que suffisant. Cette latitude est encadrée, dans la table, par deux valeurs ; une nouvelle règle de trois nous permettra de déterminer la valeur de X correspondante.

Par exemple supposons que nous ayons trouvé, à partir de la carte Michelin, que notre ville est située à la latitude de $54,64$ gr ; nous lisons dans la table :

pour $\varphi = 54,44$ gr : $X = 110,5$ mm

pour $\varphi = 55$ gr : $X = 108,6$ mm

φ (latitude du lieu)		X
en degré	en grades	en mm
40°	44,44	151,5
40° 30'	45	148,8
41°	45,56	146,2
41° 30'	46,11	143,7
42°	46,67	141,2
42° 30'	47,22	138,7
43°	47,78	136,3
43° 30'	48,33	133,9
44°	48,89	131,6
44° 30'	49,44	129,3
45°	50	127,1
45° 30'	50,56	124,9
46°	51,11	122,7
46° 30'	51,67	120,6
47°	52,22	118,5
47° 30'	52,78	116,5
48°	53,33	114,4
48° 30'	53,89	112,5
49°	54,44	110,5
49° 30'	55	108,6
50°	55,56	106,7
50° 30'	56,11	104,8
51°	56,67	102,9
51° 30'	57,22	101,1
52°	57,78	99,3

TABLE 1
Correspondances
entre la latitude en
degré et en grade et
la valeur de X.

2. Remarquons que cet angle figure sur le schéma uniquement à titre indicatif et n'est pas utile au tracé de la pièce. Ce qui est utile, c'est la valeur de X.

3. Si vous utilisez une carte IGN TOP 25 (échelle 1 : 25000), les latitudes et longitudes sont données en grade et en degré. Les grades par rapport au méridien de Paris, les degrés par rapport au méridien Greenwich.

donc $55 - 54,44 = 0,56$ gr qui équivaut à $110,5 - 108,6 = 1,9$ mm, d'où :

$$X = 110,5 - \left[(54,64 - 54,44) \times \frac{1,9}{0,56} \right] = 109,8 \text{ mm.}$$

Il ne reste plus qu'à tracer la pièce 3 en utilisant cette valeur.

Les trois pièces sont maintenant prêtes à être assemblées ; le montage, très simple, s'effectue de la façon indiquée par la suite des opérations de la figure 11 page suivante.

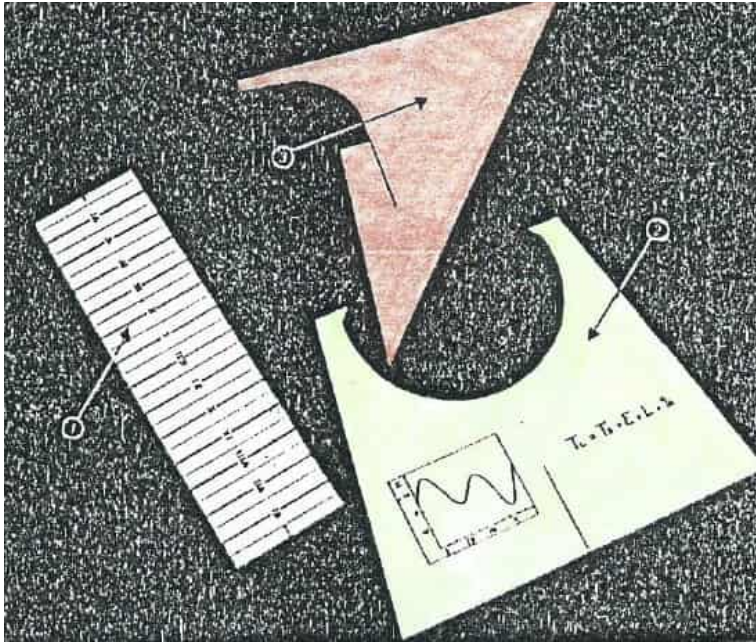


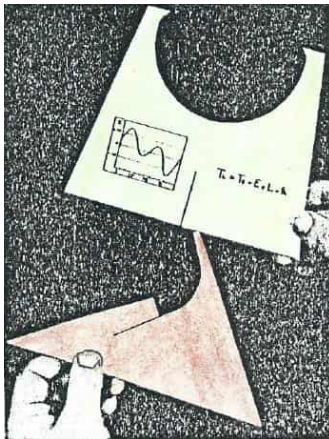
FIGURE 10 – Les trois pièces sont étalées devant nous.

Nous avons déjà dit que la dimension des pièces était donnée avec une précision suffisante pour réaliser, par exemple, un cadran dix fois plus grand que le nôtre, qui s'inscrit dans un parallélépipède de $22 \text{ cm} \times 17 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$. Remarquons seulement que le fait d'augmenter la taille, ne serait-ce que la doubler, complique beaucoup la construction du cadran. En effet pour qu'il soit rigide une fois monté, il va falloir utiliser un carton épais, d'où une difficulté pour courber la pièce 1. Ceci conduira à utiliser plusieurs sortes de cartons ; un carton mince et souple pour la pièce 1 et un carton épais et rigide pour les pièces 2 et 3.

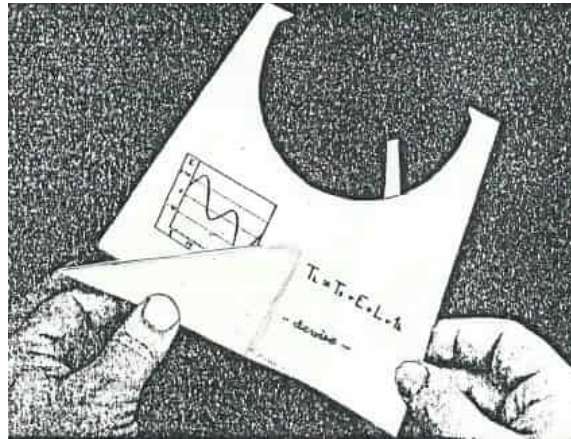
Que ceci ne vous décourage pas, si vous désirez construire un cadran plus grand tenez seulement compte des indications que nous venons de donner.

Remarque. Petit ou grand il faut orienter maintenant le cadran dans le plan méridien, le style pointant « vers » l'étoile polaire. Dans son article, G. Oudenot conseille d'utiliser pour un début, la méthode de la boussole « en tenant compte évidemment de la déclinaison magnétique ». Pour cette procédure et d'autres, se reporter à Cadran Info n° 39, page 132 : *Espace débutants* et plus précisément au chapitre 1.5.4, page 148 : *Mesure de l'orientation du plan méridien*.

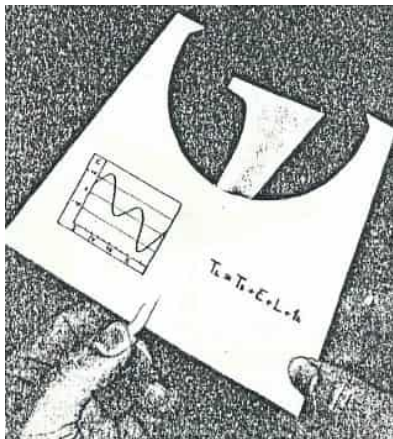
Vous avez donc orienté votre cadran, sa base reposant sur un plan horizontal, et vous pourrez alors lire l'heure, mais vous allez constater que cette heure n'est pas du tout celle donnée par votre montre, comme nous l'annoncions un peu plus haut. Essayez de comprendre pourquoi avant de lire le chapitre suivant.



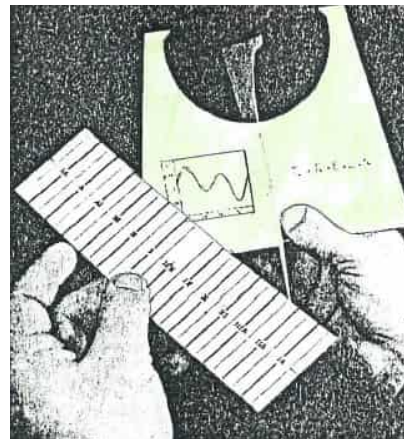
(a) ... prenons les pièces 2 et 3 ...



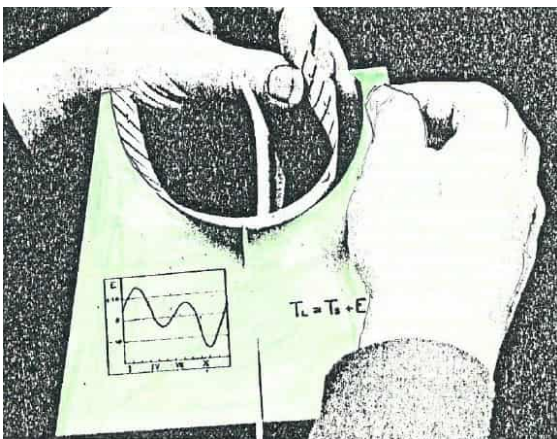
(b) ... faisons se pénétrer les fentes de chaque pièce ...



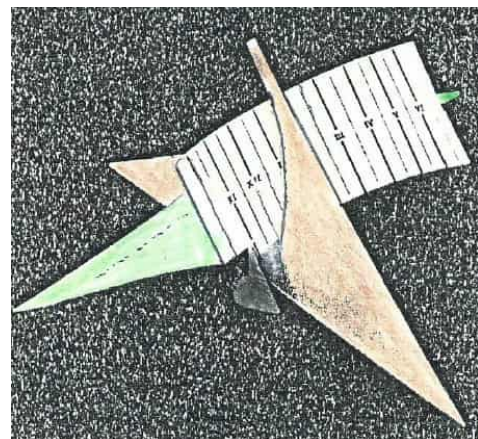
(c) ... jusqu'à leur extrémité...



(d) ... prenons la pièce 1 et entrons sa fente centrale dans la pièce 3 ...



(e) ... laissons les petites fentes venir se bloquer sur les ergots de la pièce 2 ...



(f) ... le cadran est terminé!

FIGURE 11 – Assemblage des pièces.

3 Quelques éléments d'astronomie

La Terre est, en première approximation, une sphère de 12 800 km de diamètre (fig. 12) ; la masse de cette sphère représente 6000 milliards de milliards de tonnes. Nous savons depuis le début du XVIII^e siècle que la Terre n'est pas exactement une sphère, mais un ellipsoïde aplati aux pôles.

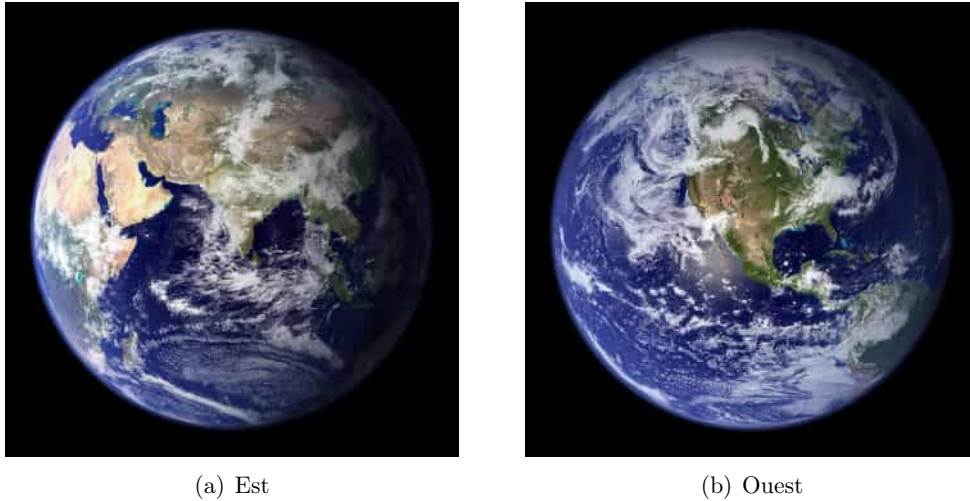


FIGURE 12 – La terre vue de l'espace, photos communiquées par la SAF.

Un ellipsoïde est la figure obtenue en faisant tourner une ellipse autour de son petit axe, par exemple.

Rappelons qu'une ellipse est l'ensemble des points dont la somme des distances à deux points fixes est constante. On caractérise une ellipse, en astronomie, par son demi-grand axe et son excentricité. Lorsqu'il s'agit de la forme de la Terre, ou d'une autre planète, on préfère parler de son aplatissement (fig. 13).

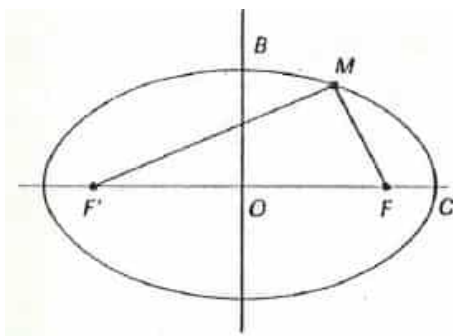


FIGURE 13 – L'ellipse est l'ensemble des points M tels que : $MF + MF' = 2a$. Les points F et F' sont appelés foyers de l'ellipse.

$a = OC$ est le demi-grand axe de l'ellipse.

$b = OB$ est le demi-petit axe de l'ellipse.

$e = \frac{OF}{OC}$ est l'excentricité de l'ellipse.

$\alpha = \frac{a-b}{a}$ est l'aplatissement de l'ellipse.

La Terre est aujourd'hui représentée par un ellipsoïde ayant pour valeurs :

$$a = 6\,378\,160 \text{ m} \quad \alpha = \frac{1}{298,25}$$

La connaissance du demi-grand axe résulte de mesures de triangulation et celle de l'aplatissement, de l'étude du mouvement des satellites artificiels.

Les valeurs ci-dessus nous montrent que la Terre est en fait très peu aplatie, la différence entre le rayon équatorial et le rayon polaire étant inférieure à 21,5 km. Prenons un exemple : Si nous donnons 10 cm au rayon terrestre, nous pourrions représenter la Terre par une sphère et l'aplatissement sera compris dans le trait de crayon limitant la sphère.

Pour repérer la position d'un point à la surface de la Terre. Il faut utiliser deux paramètres. On définit ainsi deux coordonnées, qui semblent les plus naturelles : la latitude et la longitude (fig. 14).

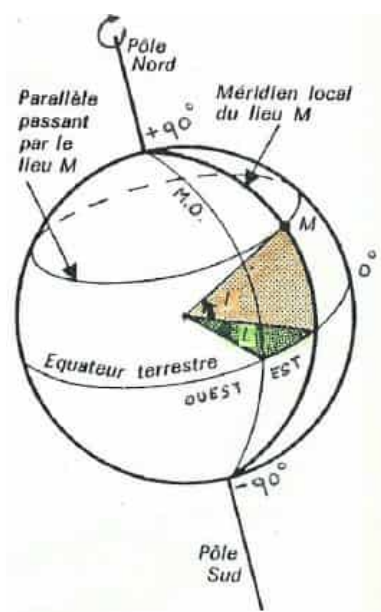


FIGURE 14 – Les coordonnées géographiques.

φ : latitude du lieu M (par rapport à l'équateur),

L longitude du lieu M, (par rapport au méridien d'origine MO de Greenwich).

La latitude d'un lieu est l'angle que fait avec le plan de l'équateur, la verticale du lieu. La latitude est comptée de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0 à -90° dans l'hémisphère Sud.

La longitude est l'angle formé par le plan du méridien du lieu et celui du méridien origine. Le méridien d'un lieu est le « demi-cercle » passant par les deux pôles de la Terre et le lieu considéré. Par convention le méridien origine MO est celui de l'observatoire de Greenwich. Les longitudes sont comptées en degrés, de -180° à +180°, ou en heures, de -12 h à +12 h, positivement à l'Ouest du méridien origine et négativement à l'Est.

Remarquons que tous les lieux de même longitude, sont situés sur un même méridien. Les lieux de même latitude sont situés sur un parallèle (cercle dont le centre se trouve sur l'axe terrestre).

Comme nous l'avons déjà dit, les cartes Michelin fournissent le moyen le plus facile pour déterminer la longitude et la latitude d'un lieu. Malheureusement, d'une part ces cartes sont graduées en grades et d'autre part elles utilisent le méridien de l'observatoire de Paris, comme origine des longitudes⁴. Il faut donc se livrer à une conversion qui fort heureusement est simple ; il suffit de savoir que 360° équivalent à 400 grades et que Paris est à 9 m 21 s ou 2° 20' 1" à l'Est du méridien de Greenwich.

La Terre tourne sur elle-même, autour de son axe, en 23 h 56 m environ, de l'ouest vers l'est. Ce mouvement a pour conséquence un mouvement apparent du ciel, dirigé de l'Est vers l'Ouest et s'effectuant à la même vitesse, c'est-à-dire que l'ensemble du ciel accomplit un tour en 23 h 56 m. Ce mouvement porte le nom de mouvement diurne.

4. Comme dit à la note 3 page 148, les cartes IGN TOP 25 (échelle 1 :25000), mentionnent les longitudes en degré directement par rapport au méridien Greenwich.

De plus la Terre se déplace autour du Soleil en une année, il en résulte pour le Soleil un mouvement apparent annuel, dirigé de l'ouest vers l'est (fig. 15).

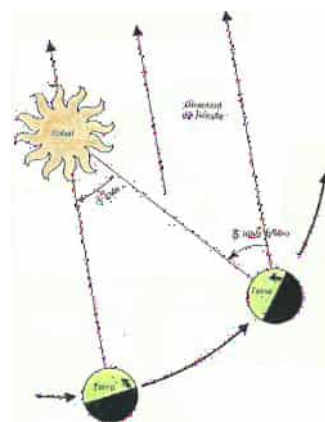
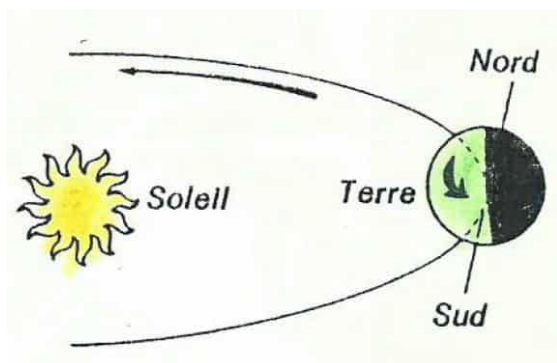


FIGURE 15 – Les deux principaux mouvements de la Terre.

FIGURE 16 – La différence entre le jour solaire (24 h) et le jour sidéral (23 h 56 m).

Lorsque la Terre fait un tour sur elle-même, c'est-à-dire lorsqu'un point de notre planète est revenu en face d'une même étoile, 23 h 56 m plus tard, il s'est écoulé un jour sidéral. Mais pendant ce temps la Terre s'est déplacée autour du Soleil, il lui faut donc tourner un peu plus sur elle-même pour revenir en face du Soleil (fig. 16) ; cette nouvelle période porte le nom de jour solaire, c'est celui qui nous est familier et qui vaut environ 24 h.

L'axe de la Terre est incliné par rapport au plan de translation de la Terre autour du Soleil, le *plan de l'écliptique*. Cet axe fait actuellement un angle de $23^{\circ} 27'$ avec la perpendiculaire au plan de l'écliptique et conserve une direction fixe dans l'espace ; ce qui signifie que pendant que la Terre se déplace autour du Soleil, son axe reste parallèle à une direction déterminée.

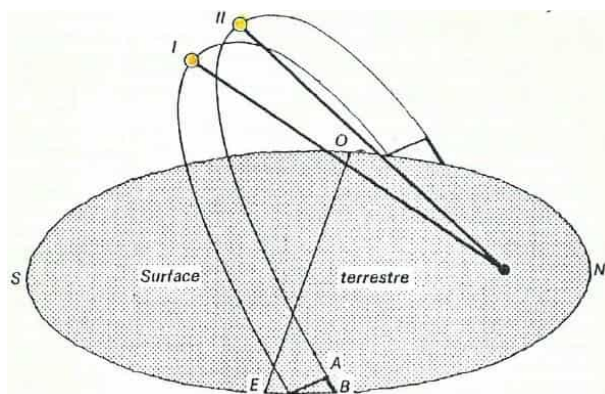


FIGURE 17 – L'inégalité des jours et des nuits.

L'inclinaison de l'axe terrestre entraîne, entre autres choses, l'inégalité des jours et des nuits. Si nous considérons la Terre à quelques jours d'intervalle, le Soleil ne monte pas à la même hauteur dans le ciel (fig. 17). Le Soleil, entraîné par le mouvement diurne, va se déplacer sur des « cercles » différents ; dans la position II il lui faudra parcourir le même trajet qu'en I, plus deux fois l'arc AB ; la journée II sera donc plus longue que la journée I.

À titre d'exemple, à Paris le jour du solstice d'hiver (le jour le plus court de l'année) dure 8 h 2 m et le jour du solstice d'été (le jour le plus long) dure 15 h 58 m.

Si l'axe terrestre n'était pas incliné, les cadrans solaires seraient beaucoup plus simples. Tout objet aurait, chaque jour à la même heure, une ombre constante en grandeur et en direction et pourrait ainsi servir de cadran solaire.

Voyons maintenant de façon plus précise comment s'effectue le mouvement de la Terre autour du Soleil (fig. 18). La Terre se déplace sur une ellipse dont le Soleil occupe un des foyers (première loi de Képler). Le rayon Soleil-Terre balaie des aires égales en des temps égaux (deuxième loi de Képler).

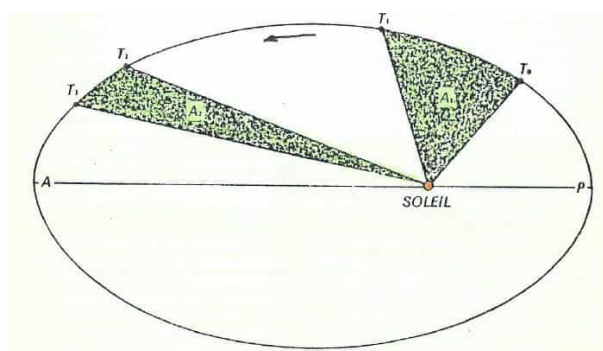


FIGURE 18 – Les deux premières lois de Képler : P = périhélie, point de l'orbite terrestre le plus rapproché du Soleil ; A = aphélie, point de l'orbite terrestre le plus éloigné du Soleil. t_0, t_1, t_2, t_3 = temps de passage de la Terre aux points T_0, T_1, T_2, T_3 .
Si $t_3 - t_2 = t_1 - t_0$, alors $A_1 = A_2$ (et réciproquement).

La première loi de Képler nous dit que la trajectoire de la Terre est une ellipse ; les caractéristiques de cette ellipse sont les suivantes : $a = 149\,600\,000$ km, $e = 0.0167$.

La distance de la Terre au Soleil varie donc en moyenne de $147\,100\,000$ km à $152\,100\,000$ km, ce qui représente une différence de $5\,000\,000$ km. Il ne faut pas en déduire que l'orbite terrestre est très aplatie ; en effet si nous la représentons par un cercle de $1,50$ m de rayon, l'ellipse sera toute entière comprise dans l'épaisseur du trait de crayon limitant le cercle. Par contre le Soleil n'occupera pas le centre de ce cercle mais en sera décalé de $2,5$ cm.

La deuxième loi de Képler nous indique que la Terre se déplace sur son orbite avec une vitesse variable, c'est-à-dire que d'un jour à l'autre elle ne va pas parcourir la même distance ; en conséquence les jours solaires ne seront pas égaux entre eux, puisqu'il faudra que la Terre tourne un peu plus ou un peu moins, sur elle-même, pour qu'un point de sa surface revienne en face du Soleil.

L'activité humaine est liée au mouvement du Soleil et pendant longtemps le jour solaire, décomposé en heures, minutes et secondes a fourni le moyen de mesurer le temps. Seulement nous venons de voir que les jours solaires ne sont pas égaux entre eux ; à certaines époques de l'année, il peut y avoir une différence de 30 s entre deux jours consécutifs. Aussi, lorsqu'au XVIII^e siècle, l'utilisation des montres et des pendules se généralisa, il ne fut plus possible d'ignorer ces inégalités ; ce qui conduisit à imaginer un Soleil fictif produisant des jours égaux entre eux tout au long de l'année.

Ces jours de 24 h sont les *jours solaires moyens* ; divisés en $86\,400$ parties, ils fournissent la seconde de temps moyen. La différence entre le temps solaire moyen, découlant du jour solaire moyen, et le temps solaire vrai, découlant du jour solaire, porte le nom d'*équation du temps* (fig. 19 page suivante) ; c'est de cette courbe dont nous avons parlé dans le chapitre 2 page 146 (fig. 8 page 147), sans en donner la signification.

Le temps solaire moyen est compté à partir de midi ; on appelle *temps civil* d'un lieu, le temps solaire moyen de ce lieu, augmenté de 12 h.

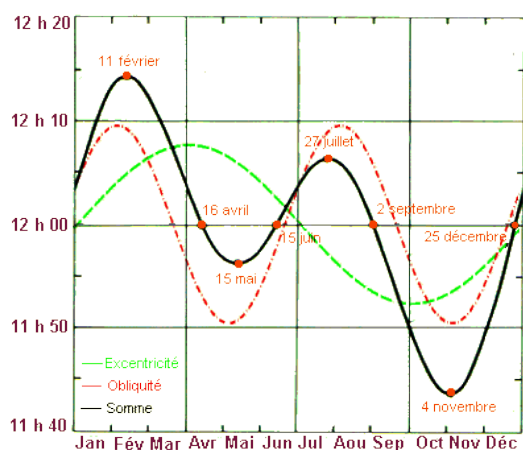


FIGURE 19 – L'équation du temps (en noir) est la composante des variations dues à l'inclinaison de l'axe terrestre (en rouge) et à la 2^e loi de Képler (en vert). Image issue du site : *Imago Mundi encyclopédie* gratuite en ligne. www.cosmovisions.com/equationpersonnelle.htm

Le développement des moyens de communication montra les inconvénients de l'utilisation du temps civil ; en effet deux lieux de longitudes différentes possèdent des temps civils différents. Ce qui amena, par exemple, à utiliser sur tout le territoire français, l'heure de Paris. Puis en 1884, le méridien de Greenwich fut déclaré Méridien International et le temps civil de Greenwich devint le temps universel.

Remarquons en passant que la désignation de GMT (temps moyen de Greenwich) utilisée parfois pour désigner le *temps universel* (TU) est incorrecte ; en effet, d'après ce que nous venons de dire, il existe une différence de 12 h entre le temps universel et le temps GMT.

Pour étendre à l'ensemble de la planète, l'usage du temps universel, sa surface a été divisée en 24 fuseaux : les *fuseaux horaires*. Le fuseau origine est centré sur Greenwich et est limité par les méridiens de longitudes $-7^{\circ} 30'$ et $+7^{\circ} 30'$; les autres fuseaux se déduisent du fuseau origine par des décalages de 15° en 15° . Ils sont numérotés de 0 à 23 à partir du fuseau origine en allant vers l'Est, et à l'intérieur de chaque fuseau le temps est égal au temps universel augmenté d'un nombre d'heures égal au numéro du fuseau.

En réalité, l'usage des fuseaux horaires ne s'est répandu qu'assez lentement à la surface du globe et aujourd'hui encore des pays utilisent des temps qui diffèrent du temps universel d'un nombre d'heures non entier. Parmi les pays utilisant le système des fuseaux, certains n'utilisent pas le fuseau contenant la plus grande partie de son territoire ; la France par exemple, toute entière située dans le fuseau 0, se comporte comme si elle appartenait au fuseau 1, en hiver et l'augmente d'une unité pendant l'été. Enfin les fuseaux, qui sont définis de façon simple, le sont en fait beaucoup moins, comme le montre la figure 20 page suivante, un grand nombre de pays en ayant modifié les contours théoriques, pour des raisons de commodité.

Nous possédons maintenant les éléments suffisants pour comprendre le fonctionnement d'un cadran solaire.

Signalons néanmoins que la seconde de temps moyen n'est plus l'unité fondamentale de temps. Au fur et à mesure des progrès réalisés, on s'est aperçu que la rotation de la Terre n'est pas un phénomène suffisamment régulier pour que le temps universel, qui en découle, constitue une échelle de temps convenable⁵.

G. Oudenot dans son fascicule présentait rapidement :

- La seconde de temps des éphémérides (TE) introduite en 1961 qui est la fraction $\frac{1}{31\,556\,925,9747}$ de l'année tropique pour 1900,0 à 12 h TE.

5. Nous conseillons au lecteur intéressé par la mesure du temps de se reporter à l'ouvrage : *Les références de temps et d'espace*, panorama encyclopédique (histoire, présent et perspectives). Éd. Hermann, 2017.

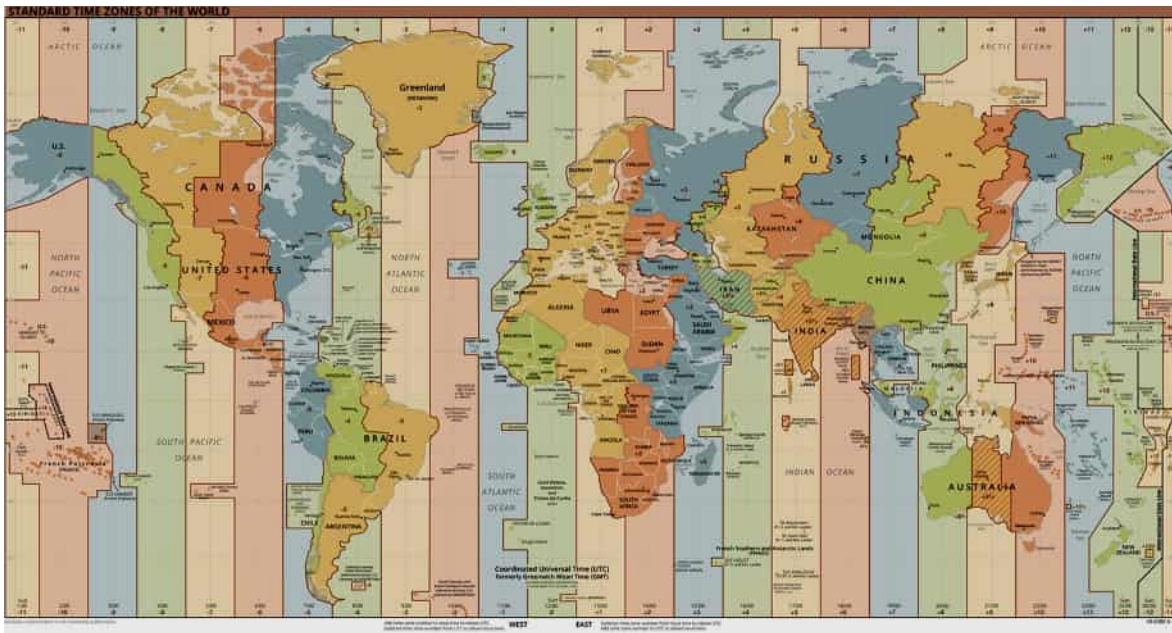


FIGURE 20 – Fuseaux horaires usuels d’après Wikipédia.

fr.wikipedia.org/wiki/Fuseau_horaire#/media/Fichier:World_Time_Zones_Map.png

- Le passage en 1967 à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l’état fondamental de l’atome de césium 133.

Il concluait :

« Nous ne nous étendrons pas sur ces définitions qui ne présentent pas d’intérêt particulier pour nous ; le temps en usage à travers le monde dérivant, de toute façon, du temps universel. »

En annexe de la version numérique :

- Le livret original de la présentation ci-dessus : [Je construis mon cs par G. Oudenot.pdf](#).
Nota : ce livret provenant des archives de notre collègue Jean Fort comporte des annotations de sa main.

En 2014, Gérard Oudenot rappelait dans un courriel :

« Ce cadran équatorial cylindrique est pédagogique. Il se découpe dans une simple feuille de carton léger. Je l’ai créé à l’époque de la création de la Commission des Cadran Solaires. Je l’ai donné à de nombreuses écoles et personne ne s’en est jamais plaint. »

Ci-après en pleine page la dernière version de ce cadran prêt à être découpé.



Solstice d'hiver																								Solstice d'été														
VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
Équinoxes																								Équinoxes														

Tracez la ligne correspondant à votre latitude à partir du point O, puis découpez suivant cette ligne.

A

B

C

E (en minutes)

J F M A M J J A S O N D

CADRAN SOLAIRE Équatorial cylindrique

latitude :

longitude (L) :

Gérard OUDENOT

SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE

Détermination des coordonnées géographiques :

La longitude (par rapport au méridien international) et la latitude se calculent facilement à partir d'une carte routière, ou d'un atlas géographique.

La longitude doit être exprimée en minutes (1° = 4 min) et comptée positivement vers l'ouest et négativement vers l'est.

Réalisation : Collez A sur de la cartoline, B et C sur du carton d'épaisseur double de la cartoline. Collez une deuxième feuille de papier au dos du carton (pour éviter les déformations lors du séchage). Découpez les trois pièces. Courbez soigneusement la pièce A. Assemblez les pièces B et C ; ajoutez la pièce A.

Cadran solaire portable à double limbe

par Denis Savoie ¹

Dans la vaste famille des cadrans solaires portables de hauteur, un des plus simples à tracer est celui publié en 1513 par Stöffler où les lignes horaires sont des droites qui joignent deux limbes. Il fonctionne avec un fil et une perle coulissante comme le cadran Capucin ; mais son procédé de détermination de l'heure n'est pas tout à fait rigoureux.

En 1513, l'astronome allemand, mathématicien et fabricant d'instruments Johannes Stöffler (1452–1531) publie à Oppenheim un des premiers ouvrages imprimés consacré aux astrolabes, *Elucidatio fabrica ususque astrolabii*, qui sera traduit en français par Jean-Pierre de Mesme et Guillaume des Bordes ² en 1560.

Presque à la fin de l'ouvrage (f. LXVI^{r.v}), Stöffler décrit un cadran solaire portable à lignes horaires rectilignes (en heures égales), valable pour une latitude fixe, dont il donne un dessin (fig. 1 et 2 page suivante), et qu'il appelle *horarium bilimbatum*, que l'on peut traduire par « cadran à double limbe » (*bi-limbatum* = deux limbes) puisqu'il y a un *limbus minor* et un *limbus maior* qui jouent un rôle essentiel dans la lecture de l'heure. Le cadran, repris notamment par Oronce Fine ³ en 1532 dans son *Protomathesis*, était probablement connu dès le XV^e siècle voire même avant (fig. 3 page 160) ; facile à tracer, sa particularité tient au fait qu'il y a repliement des deux solstices (été et hiver) sur un seul et même arc de cercle (*limbus maior*). Si l'on connaît quelques exemplaires réalisés ⁴, ce cadran n'a pas connu un grand succès, bien qu'il soit peint

1. Universcience et Observatoire de Paris.

2. *Traité de la composition et fabrique de l'astrolabe*, Paris, 1560, p. 187–191. Le mathématicien Guillaume des Bordes, qui signe la préface, est aussi l'auteur des gravures. Le cadran est appelé *quadran Bilimbat*. et la perle *margarite*.

3. f. 189^r–190^r. Oronce Fine a modifié le zodiaque (qu'il a reporté sur le grand limbe) de Stöffler en traçant deux arcs de cercle au milieu de son tracé qui correspondent à l'entrée du Soleil dans un signe zodiacal. D'autre part la distinction entre les deux semestres équinoxiaux de l'année qui, chez Stöffler, est indiquée par une différenciation des chiffres, ne se fait plus chez Fine que par les indications *pars aestivalis* et *pars hiemalis* selon l'inclinaison générale des lignes d'heures.

4. Voir le catalogue *Time*, éd. A. J. Turner, The Hague, 1990, p. 124–125 ; Steven A. Lloyd, *Ivory Diptych Sundials*, éd. Harvard University, 1992, p. 114–115 ; catalogue de Dominique et Éric Delalande, *Cadrans solaires*,

en 1533 sur le très célèbre tableau *Les Ambassadeurs* de Hans Holbein le Jeune⁵ (fig. 4 page suivante). On se propose ici d'expliquer le fonctionnement de ce cadran et de montrer qu'il n'est rigoureux qu'aux équinoxes et aux solstices⁶.



FIGURE 1 – Dessin donné par Stöffler en 1513 du cadran à double limbe.

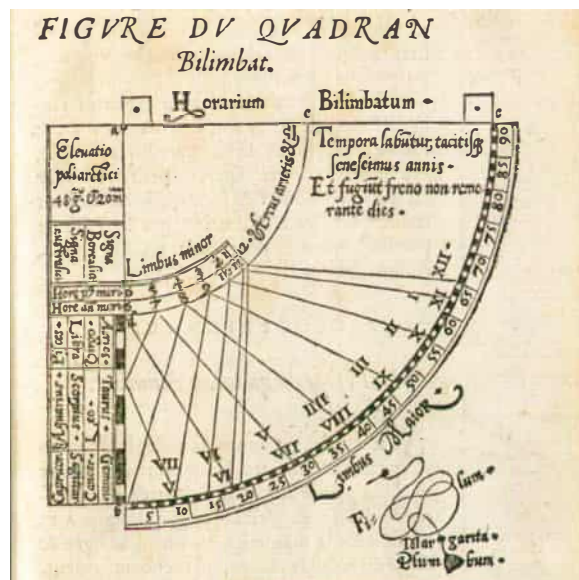


FIGURE 2 – Le dessin de Stöffler est repris en 1560 dans la traduction française et appelé *Quadrant Bilimbat*.

1 Fonctionnement

Ce cadran portable a la forme d'un quart de cercle (fig. 5 page 161), surmonté de deux pinnules qui servent à viser le Soleil (une est percée d'un œilleton qui laisse entrer les rayons du Soleil, lesquels doivent tomber sur l'autre pinnule parallèle où est inscrit un point repère). Dans le coin supérieur gauche du cadran, centre des deux limbes, est fixé un fil lesté (d'un plomb) muni d'une perle coulissante. Pour une date donnée, on cale la perle sur l'échelle zodiacale, qui peut être soit verticale, soit horizontale ; on vise le Soleil en maintenant le cadran vertical et la position de la perle sur le réseau de droites horaires indique l'heure solaire vraie. Pour utiliser le cadran, on doit caler la perle du fil sur le rayon R_0 qui correspond à la date du jour à midi vrai.

La difficulté de ce cadran tient dans son double réseau de lignes d'heures croisées : de l'équinoxe de printemps à celui d'automne, donc lorsque la déclinaison du Soleil est positive, on lit l'heure sur les lignes en chiffre romain, tandis que de l'équinoxe d'automne à celui de printemps, donc en déclinaison négative du Soleil, on lit l'heure sur les lignes en chiffre arabe. Ce croisement des lignes en fonction de la déclinaison est l'inconvénient du repliement des deux

Paris, 2013, p. 112. Un bel exemplaire se trouve au musée Galilée de Florence (inv. 1495, 2465), réalisé par Tobias Volckmer en 1608 (fig. 10 page 165).

5. On voit d'ailleurs que le peintre s'est inspiré de Stöffler (distinction dans le réseau des lignes horaires par chiffres romains et arabes) et non de Oronce Fine. Le cadran à double limbe figure néanmoins chez un auteur du XX^e siècle comme Girolamo Fantoni, *Orogoli Solari*, ed. Technimedia, Rome, 1988, p. 365–366. Voir également Carlo Cesare Scaletti, *Epitome Gnomonica*, Bologne, 1702, p. 100–102, où l'on trouve à la fois un cadran en heure solaire classique et un cadran à heures italiques.

6. Ce cadran portable partage ce point commun avec la *Navicula*.

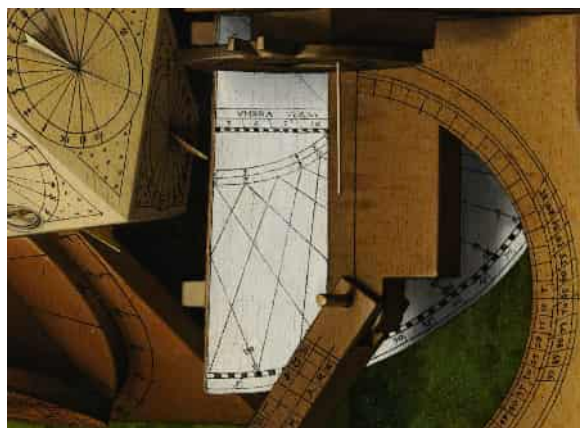
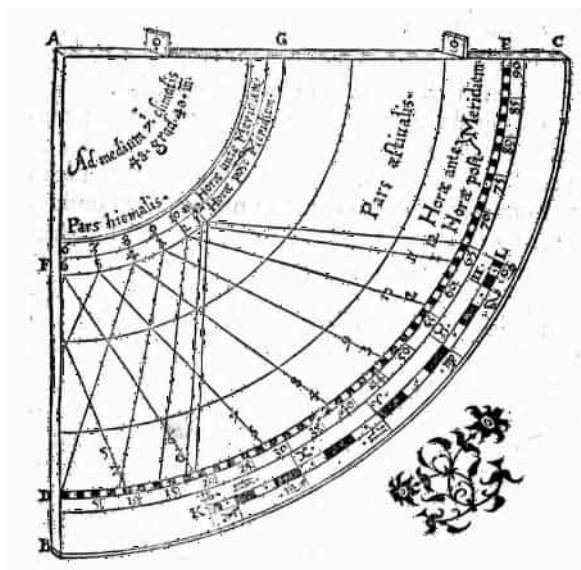


FIGURE 3 – Dessin donné par Oronce Fine en 1532 du cadran à double limbe. L'échelle zodiacale de Holbein : on reconnaît en blanc le tracé de lignes latérale est remplacée par deux cercles (entre les deux limbes) qui correspondent à l'entrée du Soleil dans un signe zodiacal.

arcs solsticiaux sur un seul limbe, car on aurait pu avoir un cadran à trois limbes successifs : hiver, équinoxes, été.

2 Tracé du cadran et théorie

Depuis le bord supérieur gauche du cadran, noté P qui est aussi le point de fixation du fil, on trace un arc de cercle de 90° de rayon R_e : c'est le rayon équinoxial (fig. 6 page 162). Toujours depuis P, on trace un second arc de cercle de 90° de rayon R_s : c'est le rayon solsticial.

L'intervalle entre R_e et R_s est laissé à la convenance, mais on peut choisir par exemple $R_s = 2R_e$. On peut tracer le cadran à la règle et au compas en utilisant la graduation du grand limbe⁷ : pour une ligne horaire donnée, on calcule par la formule 1 ou par une table, la hauteur du Soleil à l'équinoxe et au solstice d'été ; on reporte ces deux hauteurs sur le limbe et on joint les deux points par une droite. Il faut faire la même chose pour le solstice d'hiver en reliant les points du grand limbe à l'équinoxe. Si l'éventail horaire de la zone en déclinaison positive doit être limité en théorie à l'heure de coucher du Soleil au solstice d'été, concrètement sous nos latitudes, seule la ligne 19 h peut être tracée (et 5 h), tronquée latéralement. Pour l'éventail horaire de la zone en déclinaison négative, l'heure extrême théorique est celle du coucher du Soleil au solstice d'hiver, de sorte que seule la ligne 17 h (et 7 h) peut être tracée.

Quant à l'échelle zodiacale, son tracé se fait de la façon suivante : pour l'entrée d'un signe (qui correspond à une certaine déclinaison du Soleil), on reporte sur le grand limbe la hauteur du Soleil à midi vrai en utilisant le rayon R_s ; rappelons que hauteur à midi = $(90^\circ - \text{latitude} + \text{déclinaison})$. Le rayon R_δ du signe correspond alors à l'intersection de R_s avec la ligne midi (qui doit être tracée en premier).

7. Voir Alessandro Gunella, « Quadranti d'altezza e operatori rinascimentali », *Gnomonica Italiana*, VII, n° 22, 2010, p. 30–33, qui montre les réalisations graphiques de différents abaques.

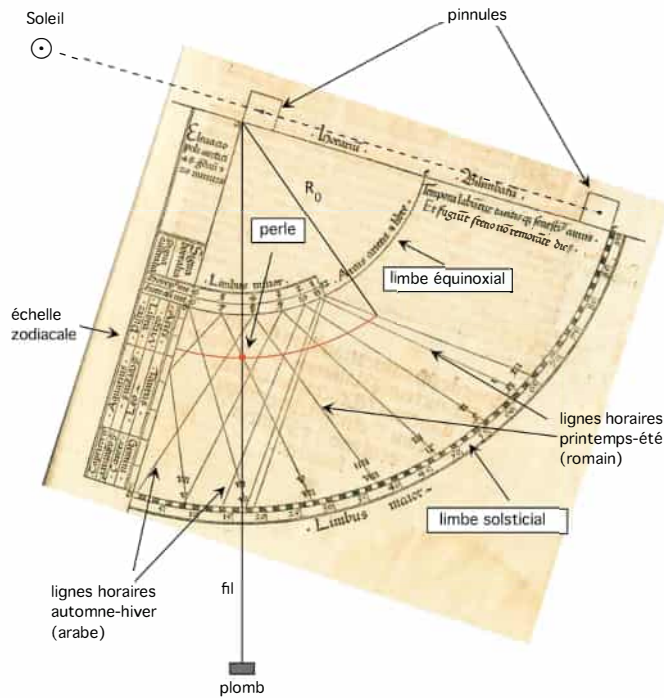


FIGURE 5 – Cadran à double limbe en mode opératoire.

On peut aussi tracer le cadran en utilisant les coordonnées rectangulaires : depuis le point P, faisons passer un système d'axes : x vers la droite, y vers le haut ; les coordonnées d'un point sur une ligne horaire sur le cercle équinoxial se calculent par :

$$\begin{cases} x_e = R_e \sin h_e \\ y_e = -R_e \cos h_e \end{cases}$$

avec $\sin h_e = \cos \varphi \cos H$.

h_e est la hauteur du Soleil au cours de la journée aux équinoxes, φ est la latitude du lieu, δ la déclinaison du Soleil (ici $\delta = 0^\circ$) et H son angle horaire.

De même les coordonnées d'un point sur une ligne horaire sur le cercle solsticial se calculent par :

$$\begin{cases} x_s = R_s \sin h_s \\ y_s = -R_s \cos h_s \end{cases}$$

avec $\sin h_s = \sin \varphi \sin \epsilon + \cos \varphi \cos \epsilon \cos H$.

h_s est la hauteur du Soleil au cours de la journée aux solstices : $+\epsilon$ pour les lignes de déclinaison positive, et $-\epsilon$ pour les lignes de déclinaison négative, ϵ étant l'obliquité de l'écliptique ($\epsilon = 23,433$ actuellement). Une fois les points tracés, on les joint par une ligne horaire droite.

Le rayon R_δ pour construire l'échelle zodiacale des dates (qui peut être verticale ou horizontale ou matérialisée par un cercle) se calcule par :

$$R_\delta = \frac{R_s \sin \epsilon}{\sin \delta + \frac{R_s}{R_e} \sin (\epsilon - \delta)}$$

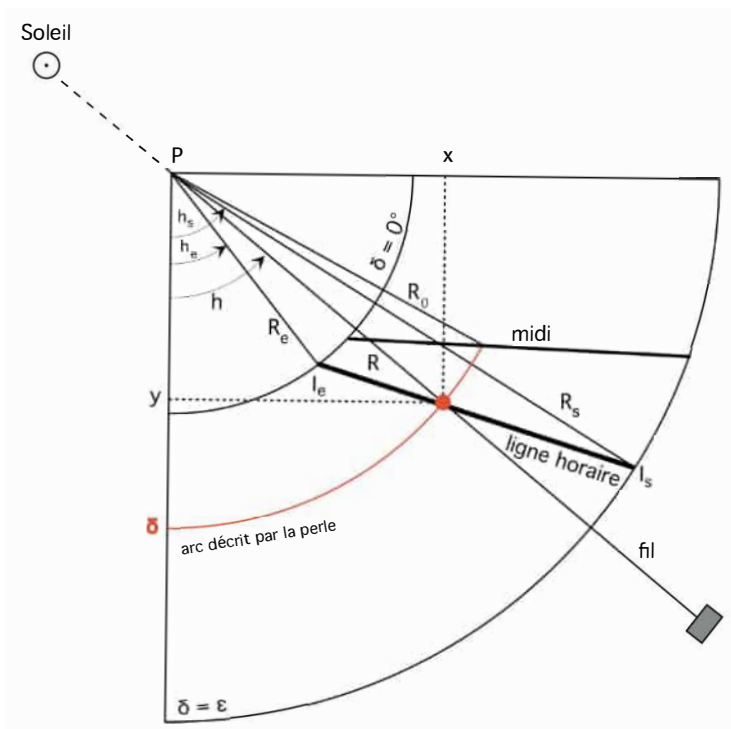


FIGURE 6

On peut faire en sorte que la ligne midi soit horizontale en choisissant $R_s = R_e \frac{\sin \varphi}{\sin(\varphi - \epsilon)}$. Rappelons que la déclinaison du Soleil est liée à l'obliquité et au signe zodiacal par :

$$\sin \delta = \sin \epsilon \sin \lambda$$

où λ est la longitude écliptique du Soleil : 0° correspond au Bélier, 30° correspond au Taureau, 60° aux Gémeaux, etc.

Le rayon R_δ correspond aussi au rayon R_0 de calage de la perle sur la ligne midi, qui est indépendant de la latitude comme on peut le noter. Donc avant d'utiliser le cadran, on peut soit calculer la hauteur méridienne du Soleil du jour considéré puis régler la perle sur la ligne midi en fonction de la hauteur méridienne lue sur le grand limbe. Ou alors (avec une certaine approximation), régler la perle sur le fil en se servant de l'échelle zodiacale, laquelle est parfois divisée en trois décades.

Exemple numérique. Soit un cadran à double limbe tracé pour $\varphi = 48^\circ$, avec $R_e = 10$ cm et $R_s = 20$ cm (les décimales superflues sont données pour vérification) :

$H = 0^\circ$

$\delta = 0^\circ$	$x_e = 6,691$ cm	$y_e = -7,431$ cm
$\delta = 23,433$	$x_s = 18,190$	$y_s = -8,315$
$\delta = -23,433$	$x_s = 6,368$	$y_s = -18,959$

$H = \pm 60^\circ$ (16 h et 8 h)

$\delta = 0^\circ$	$x_e = 3,346$ cm	$y_e = -9,424$ cm
$\delta = 23,433$	$x_s = 12,05$	$y_s = -15,962$
$\delta = -23,433$	$x_s = 0,229$	$y_s = -20$

Pour $\lambda = 30^\circ$: $\delta = \pm 11,469$, on a $R_0 = 12,96$ cm.

Pour $\lambda = 60^\circ$: $\delta = \pm 20,145$, on a $R_0 = 17,32$ cm.

La figure 7 représente le cadran totalement calculé.

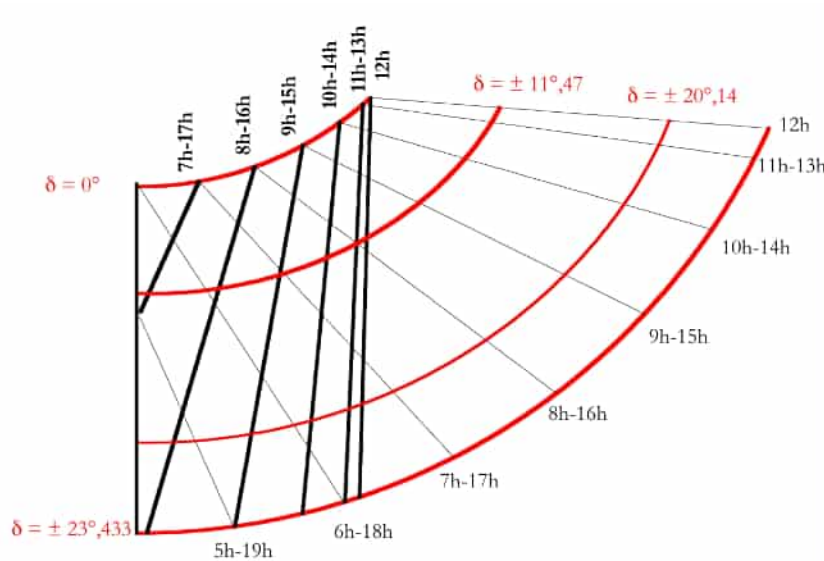


FIGURE 7

3 Exactitude

En théorie, le rayon R_0 de calage de la perle à midi doit être constant toute la journée : or ce n'est pas le cas. Il convient d'abord d'exprimer le rayon R pour une déclinaison quelconque. On a :

$$R = R_s \frac{\cos(h_s + \omega)}{\cos[h + \omega]}$$

où h est la hauteur du Soleil et R le rayon où la perle coupe une ligne. On calcule h par :

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H \quad (1)$$

L'angle ω , qui désigne la pente d'une ligne horaire, se calcule par :

$$\tan \omega = \frac{R_s \cos h_s - R_e \cos h_e}{R_s \sin h_s - R_e \sin h_e}$$

Dans le tableau 1 page suivante, on a calculé le rayon R au cours de la journée pour $\delta = +14,81$ en prenant les paramètres de l'exemple précédent :

On note que R s'écarte de R_0 , ce qui entraîne une erreur dans la lecture de l'heure.

Sur la figure 8 page suivante, on voit que pour une certaine déclinaison du Soleil, la perle décrit un cercle de rayon R_0 au cours de la journée ; mais pour une heure H et donc une hauteur h du Soleil, la perle devrait être en I sur la ligne horaire $I_e I_s$ alors qu'avec le rayon R_0 , elle va couper la ligne en I' donc pour une hauteur h' du Soleil : il faut corriger l'heure lue d'une petite quantité dH .

En dérivant la formule 1 en fonction de h et de H , on obtient :

$$dH = -\frac{\cos h \, dh}{\cos \varphi \cos \delta \sin H}$$

TABLE 1

H	R (en cm)	R ₀ (en cm)
0°	14,3	14,3
15°	14,4	14,3
30°	14,5	14,3
45°	14,6	14,3
60°	14,6	14,3
75°	14,6	14,3
90°	14,4	14,3

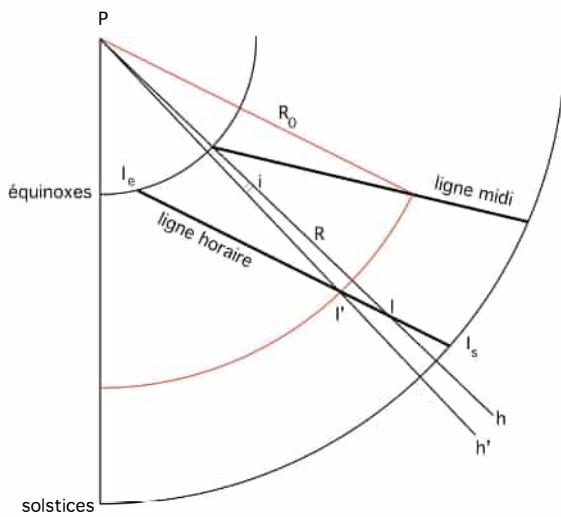


FIGURE 8

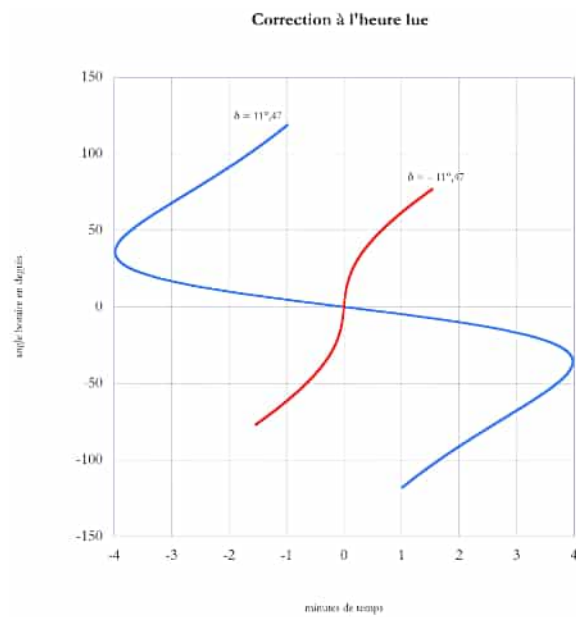


FIGURE 9

On voit sur la figure 8 que la variation dh correspond à l'angle i qui est la petite variation de la hauteur du Soleil pendant que la perle passe de I' en I . On calcule i par :

$$\sin i = \frac{R - R_0}{R_0} \tan (h + \omega)$$

d'où

$$dH = -\frac{i \cos h}{\cos \varphi \cos \delta \sin H}$$

Exemple avec les paramètres précédents :

$$\delta = 14,81$$

$$H = 35^\circ$$

$$h = 46,04$$

$$R_0 = 14,32 \text{ cm}$$

$$R = 14,58 \text{ cm}$$

$$\omega = 17;87$$

$$i = 0;489$$

$dH = -3,66$ minutes : lorsque le cadran indique 14 h 20 m, il est 14 h 24 m en réalité.

Le signe « - » de dH signifie que le cadran retarde : lorsqu'il est l'heure H au Soleil, le cadran indique l'heure ($H + dH$) ; c'est le contraire le matin. Il est facile de vérifier que la correction dH n'est pas très importante : elle est toujours nulle à midi et atteint ± 4 minutes au maximum sous nos latitudes (printemps-été) en milieu d'après-midi et en matinée, mais augmente lorsque la latitude diminue ; en déclinaison négative du Soleil, la correction est négligeable (voir fig. 9 page précédente).

On vérifie également que la correction est nulle aux équinoxes et aux solstices. Il va de soi qu'une si faible correction est indétectable sur un tel cadran de hauteur.



FIGURE 10 – Le splendide cadran à double limbe de Tobias Volckmer (musée des sciences de Florence).

Analyse gnomonique d'un cadran solaire antique

par Denis Savoie¹

Cet article est la reproduction, corrigée, du chapitre III.2.1 de l'ouvrage de Jérôme Bonnin, « La mesure du temps dans l'Antiquité », Les Belles Lettres, Paris, 2015, où de nombreuses erreurs typographiques ont rendu presque inutilisables certaines formules et exemples.

La détermination des paramètres gnomoniques d'un cadran solaire antique est une étape incontournable lorsqu'on examine un tel objet ; son but est d'estimer à la fois pour quelle latitude le cadran a été calculé et si son tracé est cohérent. Il peut aussi s'avérer utile de retrouver la longueur du gnomon et dans quelques cas particuliers, l'orientation du plan ainsi que son inclinaison. En ce qui concerne les cadrans gravés dans des volumes, le tracé est une source d'information sur le rayon de la sphère (ou du cylindre), sans parler des cadrans coniques où l'angle d'ouverture du cône est un paramètre essentiel.

Disons d'emblée que, d'un point de vue général, il convient d'être très prudent face aux résultats que l'on obtient : il est facile de montrer qu'un ou deux millimètres d'erreur dans une mesure peuvent modifier considérablement le résultat. À titre d'exemple, sur un cadran sphérique de rayon $r = 200$ mm, $10'$ d'angle représentent quasiment 0,6 mm, soit quelques fois moins que l'épaisseur du trait de gravure. En d'autres termes, sur un tel cadran, 1 mm d'erreur correspond à $17'$ d'angle.

Il faut également avoir à l'esprit que le résultat obtenu ne signifie pas toujours que le cadran a été tracé pour l'endroit où il a été trouvé. Et que d'autre part on ne peut pas toujours obtenir la latitude directement mais en passant par des quantités intermédiaires, qui sont elles-mêmes parfois entachées d'approximations ou d'erreurs. Quant à la valeur obtenue, il faut tenter, si cela est possible, de la comparer à la valeur tenue comme « attestée » à l'époque, laquelle peut différer de la valeur moderne².

1. Universcience et Observatoire de Paris.

2. L'exemple le plus connu est l'*Almageste* de Ptolémée qui place Alexandrie à $30^{\circ} 58'$ de latitude au lieu de $31^{\circ} 13'$: voir O. Pedersen, *A Survey of Almagest, with annotation and new commentary by Alexander Jones*, Springer, 2010, p. 423. Il est bien entendu que dans le cas d'un cadran solaire antique, une erreur en latitude inférieure au demi degré n'avait aucune répercussion dans la lecture de l'heure.

TABLE 1

Années	Obliquité moyenne de l'écliptique
-550	23° 46'
-450	23° 45'
-350	23° 45'
-250	23° 44'
-150	23° 43'
-50	23° 42'
+50	23° 42'
+150	23° 41'
+250	23° 40'
+350	23° 39'
+450	23° 38'
+550	23° 38'
+65	23° 37'
+750	23° 36'
+850	23° 35'

L'obliquité de l'écliptique est un élément essentiel lors de cet examen ; il est totalement illusoire de chercher à la déterminer avec précision. La valeur de 24° était généralement adoptée par les cadraniers de l'Antiquité et c'est elle que l'on doit utiliser dans les calculs en première intention. On sait par ailleurs que l'obliquité n'est pas constante et qu'elle diminue au fil du temps d'environ 47'' par siècle. Elle était de toute façon assez mal mesurée dans les temps anciens³ ; pour preuve, Ptolémée dans l'Almageste la prend égale à 23° 51' (valeur exacte 23° 41'). Le tableau 1 montre sa variation du VI^e siècle av. J.-C au IX^e siècle de notre ère⁴.

D'un point de vue pratique, il faut utiliser — si l'état du cadran le permet — des courbes d'heure faisant le moins possible appel à des termes trigonométriques fonctions simultanément de cosinus ou de sinus. Le cas le plus typique est la ligne de midi (6 heures temporaires) : on sait qu'à l'instant du passage au méridien, la hauteur h du Soleil au-dessus de l'horizon Sud se calcule par : $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ où φ est la latitude du lieu et δ la déclinaison du Soleil. De plus aux équinoxes, on a $h = 90^\circ - \varphi$, ce qui évite l'emploi de la déclinaison du Soleil : on doit donc toujours privilégier l'usage des courbes équinoxiales pour mesurer φ quand cela est possible. La

3. Seuls les astronomes, tels Hipparque et Ptolémée, utilisaient des valeurs « précises » de l'obliquité, la plupart des praticiens utilisant par commodité 24° ; voir O. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975, p. 772 et 844. Ce qui montre bien à quel point il est pratiquement impossible de dater un cadran antique par l'obliquité, dont la valeur correcte était non seulement mal connue, mais surtout dont la lente diminution était insoupçonnée. Sur la valeur de l'obliquité utilisée par Ptolémée, voir O. Pedersen, *A Survey of Almagest, with annotation and new commentary by Alexander Jones, op. cit.*, p. 423

4. L'obliquité moyenne a été calculée d'après le formulaire donné par P. Bretagnon, J.-L. Simon, *Planetary Programs and Tables from - 4000 to + 2800*, Richmond, Virginie, (USA), Willmann-Bell, Inc, 1986, p. 6.

déclinaison du Soleil dépend de l'obliquité de l'écliptique ε comme le montre la relation :

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin \lambda$$

où λ est la longitude écliptique du Soleil. En général, les arcs de déclinaison intermédiaires aux solstices et aux équinoxes sont tracés sur les cadrans antiques pour des valeurs multiples de 30° de la longitude solaire, de sorte qu'aux solstices on a $\delta = \pm\varepsilon$ ($\lambda = 90^\circ$ au solstice d'été et $\lambda = 270^\circ$ au solstice d'hiver). Si l'on opère en dehors du méridien, la relation donnant la hauteur du Soleil en fonction de l'heure temporaire T est :

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos T$$

On sait que les Anciens étaient moins performants lorsqu'ils devaient calculer ce genre de relation. De sorte que, si par nécessité, on est amené à utiliser dans la détermination des paramètres gnomoniques des relations trigonométriques de ce type, il faut admettre une barre d'erreur plus élevée. Il n'est d'ailleurs pas toujours possible d'opérer en prenant des quantités « simples », type ligne midi ou lignes extrêmes comme c'est le cas par exemple avec certains cadrans très mutilés. Les points extrêmes sur les cadrans tracés dans des volumes sont aussi des indices très utiles car ils correspondent au cas où la hauteur du Soleil est nulle. On ne traitera dans le présent chapitre que des cas assez classiques de cadrans antiques, c'est-à-dire des cadrans qui permettent des mesures méridiennes. Le cas des cadrans mutilés où ne subsistent que quelques lignes ou portions d'arcs demande un traitement mathématique beaucoup plus laborieux, qui sort du cadre de cet article ⁵.

En conclusion, on ne cherchera pas une précision outrancière dans la détermination des paramètres ayant servi à calculer un cadran antique.

Précisons que tous les cadrans ne comportent pas des courbes de déclinaison : en leur absence, la détermination de la latitude n'est pas possible, sauf pour les cadrans coniques.

1 Cadrans « sphériques »

Les cadrans « sphériques », c'est-à-dire les cadrans tracés dans des portions de sphère (ou très rarement sur une sphère), sont les plus fréquents puisqu'ils représentent 35% du corpus connu. Il en existe plusieurs types qu'il n'est pas toujours aisé de distinguer, en particulier les cadrans hémisphériques dont le gnomon ne coïncide pas avec le centre du volume.

Rappelons au passage une règle simple : pour distinguer un cadran sphérique d'un cadran conique, il suffit de tendre un mètre à ruban souple entre le pied du gnomon (ou sur l'intersection de la ligne « midi » avec l'arc d'hiver) et le bord inférieur du cadran : dans un cadran sphérique, le ruban forme une corde entre les deux points (sous tendant un arc) alors que dans un cadran conique, il épouse parfaitement la surface ⁶.

1.1 Cadran sphérique à gnomon central

C'est le cas le plus courant parce que le plus facile à tracer : un gnomon PK (fig. 1 page suivante) pointant vers le Sud géographique et dont K coïncide avec le centre de la sphère, projette dans la concavité une ombre dont l'extrémité indique l'heure temporaire et certaines

5. Voir Sharon L. Gibbs, *Greek and Roman Sundials*, Yale University Press, New Haven and London, 1976, p. 12-58.

6. L'emploi d'un mètre à ruban souple constitue l'outil indispensable dans l'examen des cadrans tracés dans des sphères ou dans un cône.

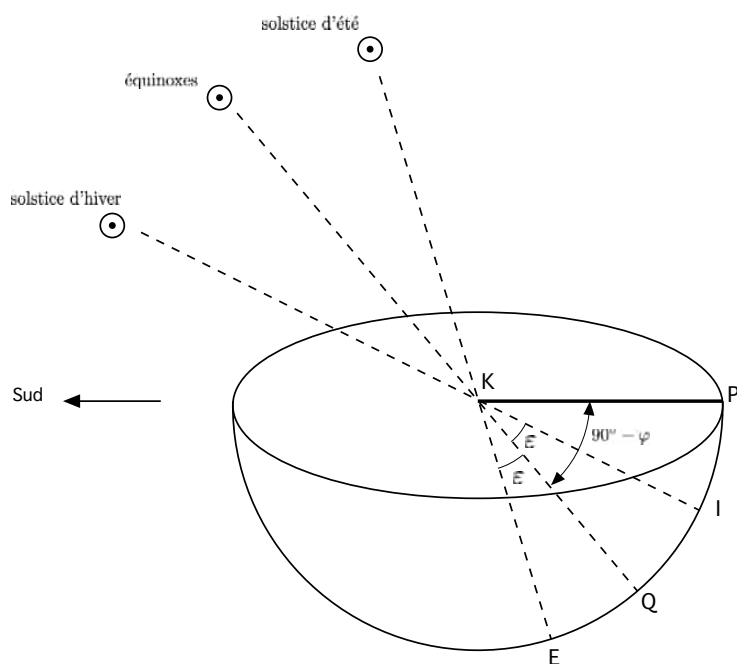


FIGURE 1

dates remarquables⁷. Soient respectivement I, Q, E l'intersection entre midi solaire et l'arc du solstice d'hiver, l'arc des équinoxes et l'arc du solstice d'été. La ligne midi, qui est un grand arc de cercle, doit diviser l'ensemble du tracé en deux parties parfaitement symétriques. L'arc \widehat{IQ} doit en théorie avoir même valeur que l'arc \widehat{QE} : si les deux valeurs diffèrent, il faut se demander si on est en présence d'un cadran à gnomon non-central (*cf. infra*) mais le cas est très rare ; quelques millimètres d'écart peuvent parfois exister sans qu'il faille penser obligatoirement à un cadran à gnomon non-central. La mesure des arcs $\widehat{IQ} = \widehat{QE}$ renseigne sur la valeur du rayon r de la sphère :

$$r = \frac{\widehat{IQ} \times 180^\circ}{\pi \varepsilon}$$

Réciproquement, on peut utiliser la formule différemment si l'on connaît le rayon en estimant l'obliquité :

$$\varepsilon = \frac{\widehat{IQ} \times 180^\circ}{\pi r}$$

Si on peut mesurer l'arc \widehat{PQ} sur la ligne midi, autrement dit la distance entre le pied du gnomon et l'arc des équinoxes, on obtient la latitude par :

$$\varphi = 90^\circ - \frac{\widehat{PQ} \times 180^\circ}{\pi r}$$

On peut aussi déduire, indirectement, la latitude, en utilisant la longueur mesurée d'un arc diurne, ce qui suppose que le cadran soit coupé horizontalement et nettement. Appelons $\widehat{\ell}$ cet arc, on a :

$$H_0 = 90^\circ - \frac{\widehat{\ell} \times 180^\circ}{2\pi r \cos \delta}$$

7. Il est absolument équivalent que le gnomon soit horizontal ou qu'il soit implanté verticalement au fond de la concavité puisque seule la position de l'extrémité entre en compte.

puis

$$\tan \varphi = -\frac{\cos H_0}{\tan \delta}$$

$\delta = +\varepsilon$ au solstice d'été et $\delta = -\varepsilon$ au solstice d'hiver.

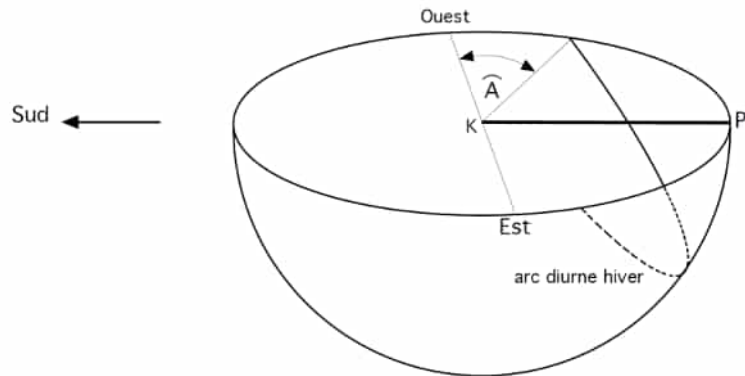


FIGURE 2

Toujours dans le cas où les arcs diurnes sont accessibles au niveau de la section horizontale du cadran, on peut déterminer la latitude par l'amplitude *ortive* (ou *occase*) en mesurant l'arc entre le point Est ou Ouest (qui correspond à l'intersection de l'arc équinoxial avec la section horizontale) et le point solsticial, soit été ou hiver (fig. 2). Appelons \widehat{A} cet arc ; on a :

$$\widehat{A} = \frac{\widehat{A} \times 180^\circ}{\pi r}$$

puis

$$\cos \varphi = \frac{|\sin \delta|}{\sin \widehat{A}}$$

Cette méthode est très sensible aux erreurs de mesure.

Rappelons que dans le cas d'un cadran sphérique dont la pointe du gnomon coïncide avec le centre de la sphère, les points Est et Ouest de l'horizon, où aboutit l'arc diurne des équinoxes, sont situés exactement sur le diamètre de l'hémisphère.

Exemple 1. Sur un cadran solaire antique jugé parfaitement sphérique, à l'aide d'un mètre à ruban souple, on a relevé sur la ligne midi que l'arc \widehat{QE} entre midi aux équinoxes et midi en été valait 84 mm et que l'arc entre midi en hiver et midi aux équinoxes (arc \widehat{IQ}) valait 85 mm. De la première mesure, on déduit que le rayon de la sphère vaut 200,5 mm, et de la seconde que le rayon vaut 203 mm. On devrait prendre la moyenne de ces deux valeurs, soit 202 mm ; mais des mesures directes sur la sphère ont donné $r = 200$ mm, valeur adoptée par la suite. On a pu mesurer l'arc entre le pied du gnomon et le point Q : $\widehat{PQ} = 176$ mm, d'où l'on déduit que la latitude vaut $39^\circ 35'$. Si l'on admet que les mesures sont faites à ± 1 mm, on doit en déduire que $\varphi = 39^\circ 35' \pm 17'$.

Le cadran possédant trois arcs de déclinaison, on relève la longueur de l'arc hiver que l'on trouve égal à 436 mm ; on en déduit que $H_0 = 68^\circ 36'$ d'où $\varphi = 39^\circ 38'$. En se trompant de 1 mm sur la mesure de l'arc, par exemple 435 mm, on obtient $\varphi = 39^\circ 50'$. Enfin sur le bord du cadran, on relève horizontalement que l'arc entre le point Ouest et le point hiver vaut 111 mm. D'où l'on déduit que $\widehat{A} = 31,8^\circ$ d'où $\varphi = 39^\circ 29' \approx 39,5^\circ$. En se trompant de 1 mm (arc= 110 mm), on obtient une latitude de $38^\circ 53'$.

1.2 Cadran sphérique à gnomon non-central

Rappelons que dans le cas d'un cadran sphérique de rayon r à gnomon non-central, autrement dit où la pointe du gnomon ne coïncide pas avec le centre du volume, l'arc équinoxial n'intercepte pas l'horizon sur le diamètre Est-Ouest de l'hémisphère (fig. 3). Si le gnomon est plus court que le rayon, l'arc est déporté vers le Nord-Est et le Nord-Ouest au lieu d'aboutir exactement aux points Est et Ouest. D'autre part, les arcs \widehat{IQ} et \widehat{QE} ne sont pas égaux. La détermination de la latitude est laborieuse et nécessite de connaître la longueur PK' du gnomon.

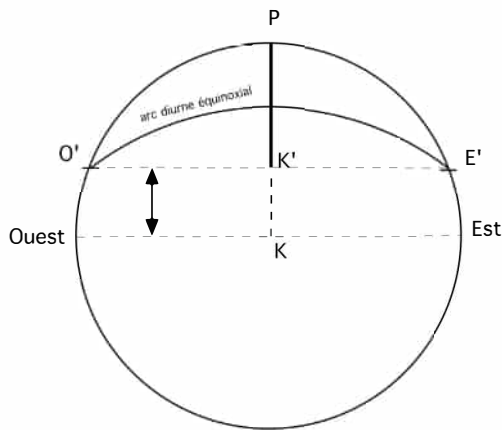


FIGURE 3

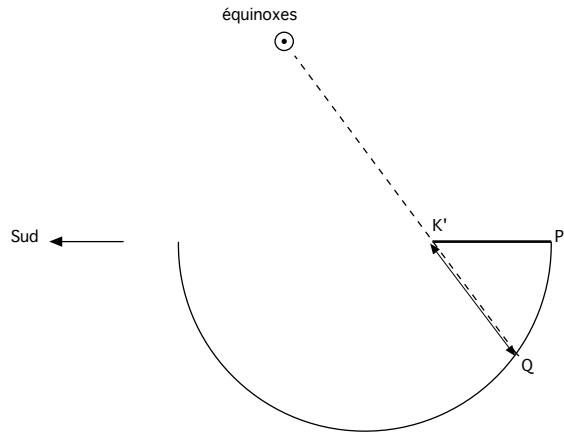


FIGURE 4

Pour déterminer KK' , on doit mesurer la distance dans l'horizon entre l'intersection O' de l'arc équinoxial avec le diamètre de l'hémisphère O (fig. 3). Ayant KK' , on doit aussi mesurer la distance $K'Q$ à l'aide d'un gnomon fictif s'il le faut (fig. 4). On a alors la latitude :

$$\sin \varphi = \frac{PK'^2 - KK'^2 - K'Q^2}{2KK' \times K'Q}$$

1.3 Cadran sphérique à œilleton zénithal

L'exemplaire le plus connu en France de ce type de cadran est le scaphé de Carthage. La détermination de la latitude d'un tel cadran peut se faire directement en mesurant la distance entre le centre de l'œilleton K et l'intersection Q de la ligne midi solaire avec la courbe des équinoxes (fig. 5 page suivante). On a alors⁸ :

$$\cos \varphi = \frac{KQ}{2r}$$

r étant le rayon de la sphère de centre C .

On peut ensuite vérifier que la distance ρ entre l'œilleton et les points I et E obéit à :

$$\rho = 2r \cos(\varphi - \delta)$$

8. Il existe plusieurs autres solutions, parfois laborieuses, pour obtenir la latitude par des voies indirectes. On se référera à D. Savoie, R. Lehoucq, « Étude gnomonique d'un cadran solaire découvert à Carthage », *Revue d'Archéométrie*, n° 25, 2001, p. 25-34.

Cette formule permet également de déduire la latitude en supposant que $\delta = \varepsilon = \pm 24^\circ$. Les arcs $IQ = QE$ permettent d'obtenir l'obliquité : $\varepsilon = \frac{IQ}{2r}$. L'inversion de cette relation en posant que $\varepsilon = 24^\circ$ permet d'obtenir une bonne valeur du rayon.

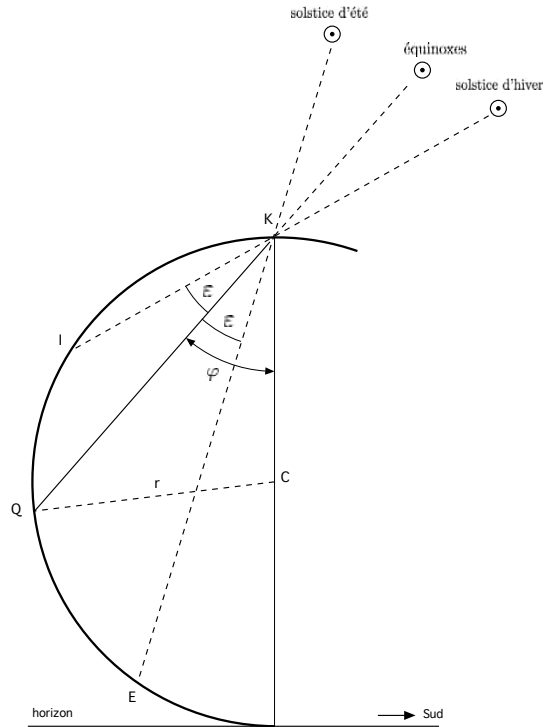


FIGURE 5

2 Cadrans coniques

Les cadrans coniques, plus faciles à réaliser que les cadrans sphériques, sont la deuxième grande famille des cadrans antiques en terme de quantité.

En plus de la longueur du gnomon horizontal à déterminer ainsi que la latitude pour laquelle le cadran a été tracé, il faut mesurer un angle essentiel dans ce type de cadran puisqu'il régit l'ouverture du cône et par conséquent le tracé : l'angle au sommet ω , c'est-à-dire l'angle entre l'axe central du cône et une génératrice quelconque (fig. 6 page suivante).

Si, sur la ligne midi, les points I, Q et E, existent (respectivement intersections entre midi solaire et l'arc du solstice d'hiver, l'arc des équinoxes et l'arc du solstice d'été), on a directement :

$$\tan \omega = \frac{QE - QI}{IE \tan \varepsilon}$$

La détermination de la latitude reste ici possible même en l'absence de courbes de déclinaison. Le plus simple est de mesurer l'angle θ entre le gnomon horizontal PK (ou un plan horizontal équivalent) et la ligne de midi qui coïncide avec la ligne de plus grande pente : cet angle valant $\omega + \varepsilon$, on en déduit la latitude.

De façon indirecte, on cherche la latitude en mesurant les distances QE (ou QI) ainsi que PQ.

$$QK = \frac{QE \cos(\omega + \varepsilon)}{\sin \varepsilon}$$

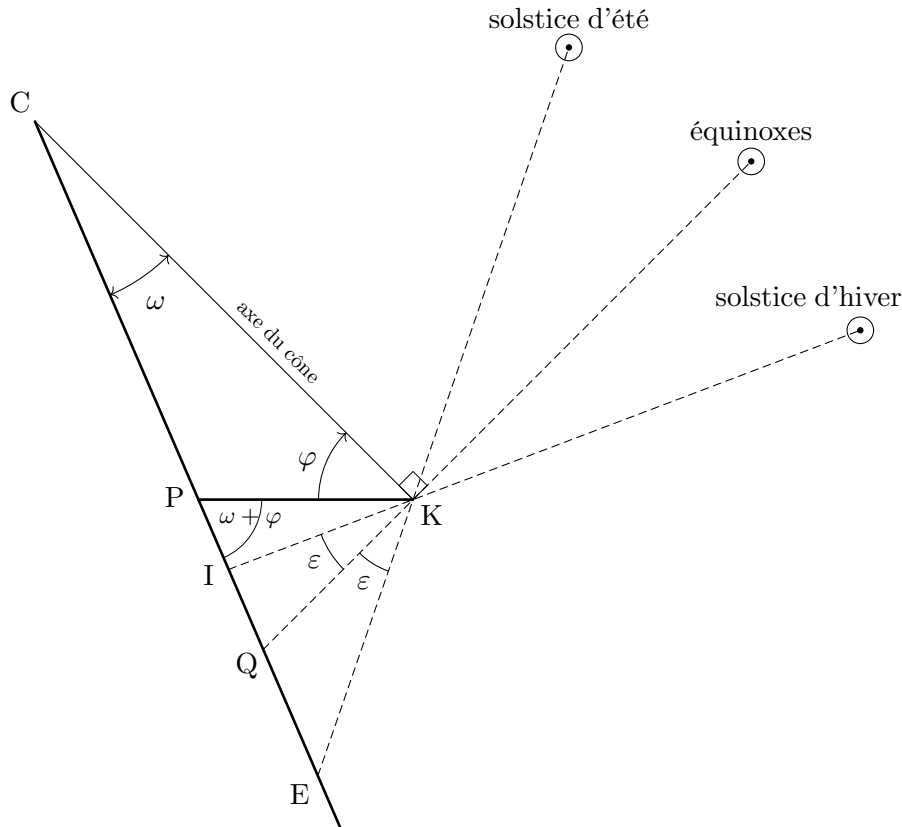


FIGURE 6

ou

$$QK = \frac{QI \cos(\omega - \varepsilon)}{\sin \varepsilon}$$

Puis on déduit PK, longueur du gnomon :

$$PK^2 = PQ^2 + QK^2 - 2 PQ \times QK \sin \omega$$

D'où l'on tire la latitude : $\cos \varphi = \frac{PQ}{PK} \cos \omega$

On a aussi la relation donnant la longueur du gnomon :

$$PK = \frac{QK}{\tan \omega \cos \varphi + \sin \varphi}$$

Les arcs diurnes du cadran conique sont des cercles aux équinoxes. De la longueur totale de l'arc diurne d'été ou d'hiver, on peut déterminer la latitude comme dans un cadran hémisphérique. Mais cette méthode est très sensible aux erreurs de mesure et on ne l'emploiera qu'en ultime recours. Appelons $\widehat{\ell} = O'E'$ l'arc du solstice d'été (fig. 7 page suivante) ; on a :

$$H_0 = \frac{\widehat{\ell} \times 180^\circ}{2\pi r'} \quad \text{avec} \quad r' = \frac{QE \cos \omega}{\tan \varepsilon}$$

d'où finalement :

$$\tan \varphi = -\frac{\cos H_0}{\tan \varepsilon}$$

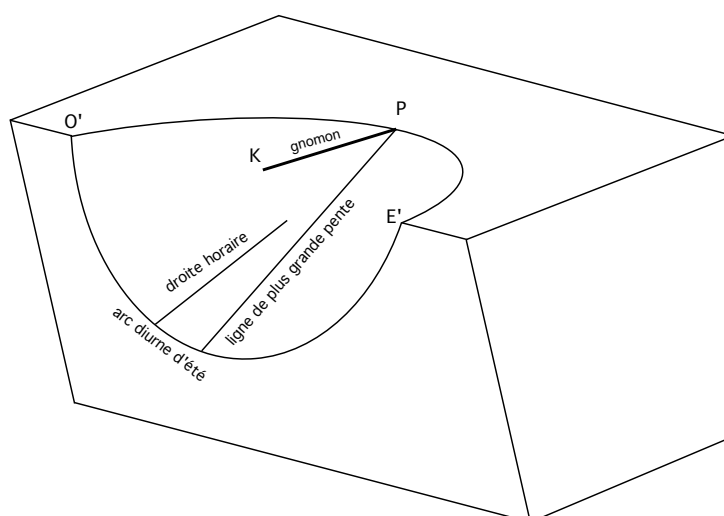


FIGURE 7

Quand il n'est pas possible de mesurer l'intégralité de l'arc diurne, on peut se limiter à mesurer l'arc une ligne d'heure et celle de midi. Appelons $\widehat{\ell}$ un tel arc au solstice d'été ; on a :

$$H' = \frac{\widehat{\ell} \times 180^\circ}{\pi r'} \quad \text{avec} \quad r' = \frac{QE \cos \omega}{\tan \varepsilon}$$

On en déduit $H_0 : H_0 = \frac{6 \times H'}{k}$

où k désigne l'heure temporaire comptée depuis midi ($k = 0$ pour midi, $k = 1$ pour une heure temporaire avant ou après midi, etc.). Rappelons que les lignes d'heure sont symétriques par rapport à midi.

On obtient la latitude par :

$$\tan \varphi = -\frac{\cos H_0}{\tan \varepsilon}$$

Si on opère avec l'arc d'hiver, il suffit de remplacer ε par $-\varepsilon$ dans les formules précitées et QE par QI.

Exemple 2. Sur un cadran conique, on a mesuré l'angle $\varphi + \omega = 61^\circ$, $QE = 4,6$ cm, $QI = 3,3$ cm et $PQ = 7,1$ cm. On trouve que $\omega = 20^\circ 17'$ que l'on arrondit à 20° (en se trompant de 1 mm sur $QI = 3,2$ cm, on obtient $\omega = 21^\circ 57' \approx 22^\circ$). D'où l'on déduit que $\varphi = 61^\circ - 20^\circ = 41^\circ$. Ayant QE, on a $QK = 8,1$ cm. D'où la longueur du gnomon $PK = 8,8$ cm et la latitude $40^\circ 42' \approx 41^\circ$.

Sur l'arc diurne d'été, on a mesuré que l'arc entre la ligne midi et la ligne $k = 2$ valait $\widehat{\ell} = 6,4$ cm. On en déduit que $H' = 37,8^\circ$. D'où $H_0 = 113,4^\circ$ soit finalement $\varphi = 41^\circ 44' \approx 42^\circ$ (pour obtenir la latitude correcte de 41° , il aurait fallu mesurer un arc de 6,36 cm !). Sur l'arc diurne d'hiver, on mesure sur la même ligne $k = 2$ que $\widehat{\ell} = 2,7$ cm. On en déduit que $H' = 22,1^\circ$. D'où $H_0 = 66,3^\circ$ soit finalement $\varphi \approx 42^\circ$.

3 Cadran horizontal

Comme toujours, on a tout intérêt, si cela est possible, à prendre des mesures sur la ligne de midi et sans lien avec le pied du gnomon (souvent mutilé) : on mesure les distances QE et QI,

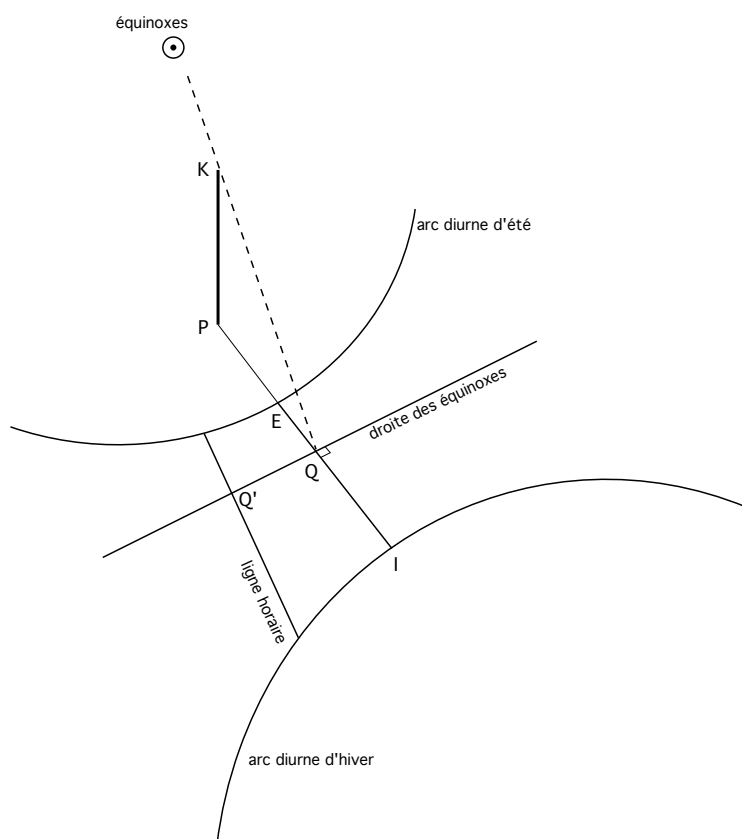


FIGURE 8

c'est-à-dire les distances entre le point équinoxial Q et le point du solstice d'été E, et le point du solstice d'hiver I (fig. 8). Appelons n le rapport $\frac{QI}{QE}$; on a directement :

$$\tan \varphi = \frac{n - 1}{(n + 1) \tan \varepsilon}$$

La longueur PK du gnomon s'obtient par :

$$PK = \frac{(QE + QI) \cos(\varphi - \varepsilon) \cos(\varphi + \varepsilon)}{\sin 2\varepsilon}$$

Le pied du gnomon est toujours situé dans le prolongement de la ligne méridienne de midi. Sa distance au point Q se calcule par $[PK \tan \varphi]$.

On peut aussi mesurer sur la droite des équinoxes la distance entre une ligne d'heure équinoxiale d'angle horaire H et le point midi : soit QQ' cette distance. On a alors directement :

$$PK = \frac{QQ' \cos \varphi}{\tan H}$$

Exemple 3. Sur un cadran horizontal, on a mesuré sur la ligne midi $QE = 5,7$ cm et $QI = 13,1$ cm. On en déduit que $\varphi = 41^\circ 29' \approx 41,5^\circ$. Le gnomon mesure 10 cm.

4 Cadran vertical

Rappelons un point essentiel à propos des cadrans verticaux antiques orientés⁹ exactement vers le Sud : les lignes horaires d'heure temporaire ne convergent pas vers un point unique comme dans les cadrans d'heure équinoxiale. Cette remarque s'applique d'ailleurs au cadran horizontal puisque en toute rigueur, les lignes horaires temporaires sont des courbes en épis que l'on assimile avec juste raison à des droites aux latitudes européennes. Cela signifie qu'on ne peut pas relever l'angle entre la ligne de midi verticale et une ligne horaire quelconque sur un tel cadran. Si un cadran antique présente néanmoins un tel tracé convergent, c'est le signe qu'il n'obéit pas aux règles de la gnomonique.

4.1 Cas d'un cadran plein Sud : $D = 0^\circ$

Le tracé d'un tel cadran est facile à reconnaître : les lignes d'heures sont symétriques par rapport à la ligne de midi verticale et la droite des équinoxes est horizontale (fig. 9).

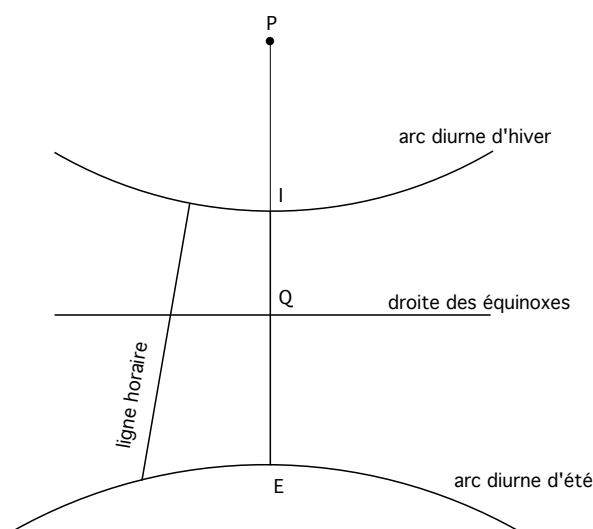


FIGURE 9

On mesure les distances QE et QI, c'est-à-dire les distances entre le point équinoxial Q et le point du solstice d'été E, et le point du solstice d'hiver I. Appelons n le rapport $\frac{QE}{QI}$; on a directement :

$$\tan \varphi = \frac{(n + 1) \tan \varepsilon}{n - 1}$$

La longueur PK du gnomon s'obtient par :

$$PK = \frac{(QE + QI) \sin(\varphi - \varepsilon) \sin(\varphi + \varepsilon)}{\sin 2\varepsilon}$$

La distance du point Q au pied du gnomon P se calcule par :

$$PQ = \frac{PK}{\tan \varphi}$$

9. L'orientation est définie par la déclinaison gnomonique D : c'est l'azimut de la perpendiculaire au plan du cadran compté depuis le Sud dans le sens horaire.

4.2 Cas d'un cadran Sud-Ouest ou Sud-Est : $D = \pm 45^\circ$

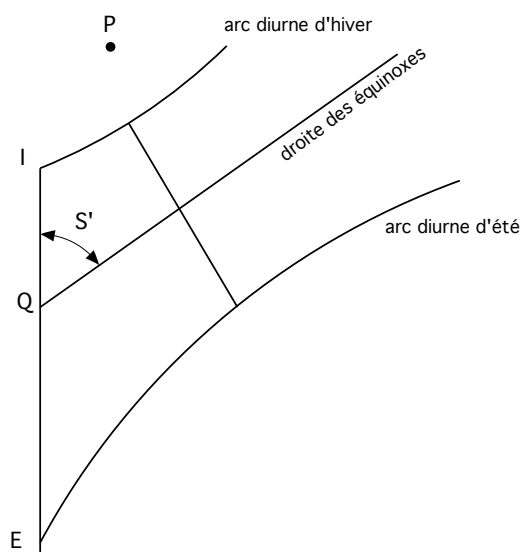


FIGURE 10

Lorsqu'un cadran « regarde » un autre point de l'horizon que le Sud géographique, la droite des équinoxes s'incline (fig. 10) : si le cadran est Sud-Ouest, elle « monte » de la gauche vers la droite et « monte » de la droite vers la gauche si le cadran est Sud-Est.

La ligne de midi est verticale; on mesure sur cette ligne les distances QE et QI, c'est-à-dire les distances entre le point équinoxial Q et le point du solstice d'été E, et le point du solstice d'hiver I. Appelons n le rapport $\frac{QE}{QI}$; on a directement :

$$\tan \varphi = \frac{(n + 1) \tan \varepsilon}{n - 1}$$

La longueur PK du gnomon s'obtient par :

$$PK = \frac{(QE + QI) \sin(\varphi - \varepsilon) \sin(\varphi + \varepsilon)}{\sqrt{2} \sin 2\varepsilon}$$

Notons que l'on peut aussi déterminer la latitude en mesurant l'angle S' entre la droite des équinoxes et la ligne verticale de midi. On obtient alors la latitude par :

$$\tan \varphi = \frac{|\sin D|}{\tan(90^\circ - S')}$$

Depuis le point Q, intersection de la droite des équinoxes avec la ligne de midi verticale, le pied du gnomon a pour coordonnées rectangulaires x_p et y_p :

$$\begin{cases} x_p = +PK & + \text{ si } D = +45^\circ \\ y_p = -PK & - \text{ si } D = -45^\circ \end{cases}$$

$$y_p = \frac{PK}{\tan \varphi \cos D}$$

Exemple 4. Sur un cadran vertical de type *Pellicinum*, on relève que $S' = 49,5^\circ$. D'où une latitude de $\approx 39,6^\circ$. On a aussi mesuré $QE = 36,7$ cm et $QI = 11$ cm ; d'où $\varphi \approx 39,6^\circ$ et $PK \approx 11$ cm.

4.3 Cas d'un cadran plein Est ou plein Ouest : $D = \pm 90^\circ$

Sur un tel cadran, la ligne verticale de midi n'existe plus (fig. 11). On obtient la latitude en mesurant l'angle S' entre la droite des équinoxes et l'horizontale. On a alors :

$$\varphi = 90^\circ - S'$$

Sur la droite des équinoxes, on relève la distance r entre une ligne d'heure et le point d'implantation P du gnomon qui se trouve nécessairement à l'intersection de la droite des équinoxes et de l'horizontale. On détermine ainsi la longueur PK du gnomon par la relation :

$$PK = r \tan H$$

où H est l'angle horaire équinoxial que l'on prend toujours positif ($H = 15^\circ$ pour les lignes temporaires 5 et 7, $H = 30^\circ$ pour les lignes temporaires 4 et 8, etc.).

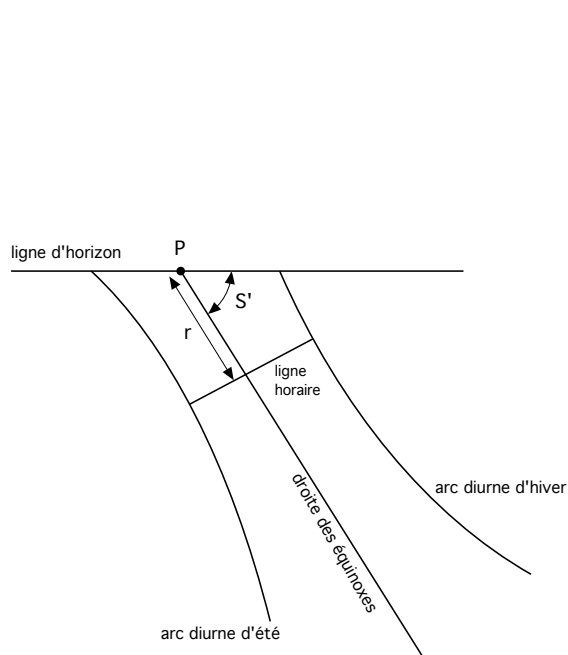


FIGURE 11

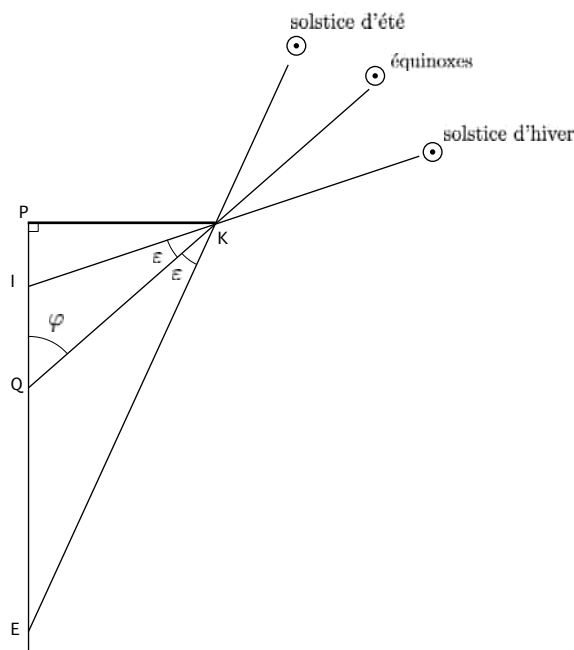


FIGURE 12

5 Cadran de hauteur cylindrique

Les cadrans cylindriques portatifs ont un tracé qui dépend de la latitude du lieu. Bien souvent, leur gnomon horizontal a disparu. Mais si la courbe de midi subsiste, ce qui est généralement le cas, on peut déterminer la latitude qui correspond au tracé en mesurant IE et QE, c'est-à-dire des distances indépendantes du point de départ (fig. 12). On a alors :

$$\tan \varphi = \frac{IE \tan \varepsilon}{2QE - IE}$$

La longueur PK du gnomon s'obtient par :

$$PK = \frac{QE \sin \varphi}{\sin \varepsilon} \sin (\varphi - \varepsilon)$$

La distance du point midi-été E au pied du gnomon P se calcule par :

$$PE = \frac{QE \sin \varphi}{\sin \varepsilon} \cos (\varphi - \varepsilon)$$

Comme il s'agit très souvent d'objets de petites dimensions où les mesures sont difficiles et donc très sensibles, on admettra une barre d'erreur importante dans le résultat sur la latitude.



Ventes aux enchères

Notre webmestre, Jean-Claude Gavet a l'habitude de nous informer des belles pièces mises en vente lorsqu'il a l'occasion de se rendre à la salle Drouot à Paris.

Avec l'accord d'[INTERENCHERES](#), il a mit en ligne sur la page d'accueil de notre site (voir ci-contre) un lien direct pour consulter les annonces et photographies de cette plate-forme.



Page d'accueil Site
CCS

Des CS en vente sur internet:



Pour celles et ceux intéressés par des CS sur internet, allez voir le site d'[interencheres](#), avec l'aimable autorisation d'[interencheres](#).

Le compas solaire viking : un mythe ?

par Roger Torrenti ¹

Dans cet article, Roger Torrenti met en doute l'hypothèse, largement admise, que les Vikings, autour du X^e siècle, auraient utilisé un compas solaire et une « pierre de soleil » comme aide à la navigation pour leurs expéditions vers l'Islande, le Groenland et le continent américain. Il s'appuie sur l'analyse des principales publications scientifiques de ces dernières décennies et invite à les considérer avec rigueur et esprit critique. Sa conclusion est que cette hypothèse relève plus du mythe que de la réalité historique mais reconnaît que le mythe est attractif et peut servir de fil rouge pour des ressources pédagogiques en classes primaires ou au collège. Il propose la structure d'une telle ressource et lance un appel à projets aux professeurs, leur proposant l'aide du MOOC cadrans solaires pour adapter cette structure à leurs classes.

1 L'Âge des Vikings

Entre le déclin de l'Empire romain d'Occident et la Renaissance, l'Europe a connu du V^e au XV^e siècles une période sombre, en particulier pour les sciences : le Moyen-Âge, au cœur duquel se situe « l'Âge des Vikings », entre le VIII^e et le XI^e siècles. Les Vikings étaient ces « hommes du nord » (établis en Scandinavie) ou « Normands » à qui le Roi des Francs confia ce qui prendra le nom de Normandie.

Ils étaient bien sûr guerriers, mercenaires, pilleurs et pirates, caractéristiques auxquels ils ont été trop souvent réduits. Car ils étaient également des marchands avisés et d'excellents navigateurs qui ont exploré de nombreux territoires et quelquefois administrés avec efficacité, ou y ont établi des comptoirs commerciaux.

En Europe, procédant par des raids côtiers systématiques depuis la Norvège, la Suède ou le Danemark actuels et remontant les principaux fleuves (la Seine, la Loire et la Garonne en France), ils ont laissé des traces de leur passage et de leur implantation en Grande-Bretagne, en Irlande, en France (assiégeant en particulier Paris à quatre reprises), en Espagne (notamment

1. Membre de la Commission des cadrans solaires de la Société astronomique de France (SAF). Auteur du MOOC Cadrans solaires : www.cadrans-solaires.info.



FIGURE 1 – La sculpture « Le voyageur du Soleil » évoquant un bateau viking près du port de Reykjavik en Islande.
[Photo : Roger Torrenti].

en Andalousie alors sous autorité musulmane), en Italie (jusqu'en Sicile) et en Afrique du nord, mais aussi en Finlande, dans les pays baltes, dans les territoires russes (jusqu'à la mer Caspienne et la mer Noire) et à Constantinople, à Bagdad, en Afghanistan.

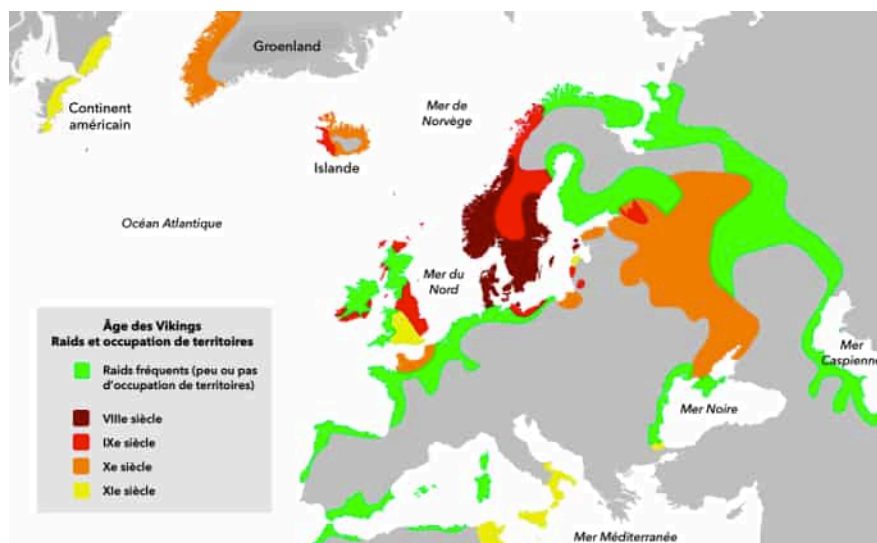


FIGURE 2 – Territoires et raids vikings du VIII^e au XI^e siècles.
[Illustration : Roger Torrenti d'après Wikimedia Commons — Viking Expansion.svg — Domaine public. Les noms de lieux et la légende ont été traduits en français et la carte a été étendue au continent américain].

On peut même voir en eux les premiers Européens pour avoir « aboli les frontières », brassé les cultures, et établi ou renforcé de nombreux courants de circulation de personnes et de biens [1].

Les Vikings ont également exploré des territoires septentrionaux à l'ouest de la Scandinavie : les Shetland et les Îles Féroé, l'Islande (déjà occupée par des moines irlandais), le Groenland (« terre verte ») et enfin le Vinland (« terre des vignes »), territoire que les vestiges d'un village scandinave datant d'autour de l'an 1000, découverts en 1960 à Terre-Neuve, ont permis

d'identifier au continent américain, où les Vikings ont donc accosté cinq siècles avant Christophe Colomb.

2 Quels instruments de navigation utilisaient les Vikings ?

De quels instruments de navigation les Vikings ont-ils disposé pour mener à bien toutes ces expéditions ? En ce qui concerne les raids côtiers ainsi que la remontée des fleuves européens, il n'est nul besoin d'instrument particulier, ni de cartes précises qui n'existaient d'ailleurs pas à l'époque : un pilote expérimenté, s'appuyant le cas échéant sur les récits oraux d'expéditions précédentes (les Vikings ne connaissaient pas l'écriture) et une navigation prudente en vue des côtes et des berges suffisaient pour progresser avec confiance vers des territoires déjà connus ou pour explorer au-delà de ces territoires.

Mais pour aller vers la haute mer, passer de la navigation côtière à la navigation hauturière, pour naviguer vers l'Islande, le Groenland et le continent américain (et en revenir !) comment les Vikings ont-ils réussi à se diriger (c'est-à-dire connaître leur position et le cap à tenir pour aller vers leur destination) ? En effet, à cette époque, ils ne pouvaient disposer :

- de boussole (donc de compas magnétique) car elle était alors (X^e et XI^e siècles) seulement en usage dans les mondes chinois et arabe, n'apparaissant en Europe qu'au XIII^e ou XIV^e siècle,
- de quadrant, de bâton de Jacob, de quartier de Davis, d'octant, de sextant, ou d'astrolabe non encore inventés, ni de Kamal (peu adapté aux latitudes septentrionales).

La découverte en 1948 d'un petit objet en bois lors de fouilles archéologiques dans un golfe du Groenland, suivie de la publication de très nombreux articles de recherche, semblent avoir apporté une réponse à cette question. Ou plutôt émis une hypothèse largement relayée, souvent avec enthousiasme, par les magazines, revues et sites Internet : les Vikings auraient navigué à latitude constante et utilisé pour tenir leur cap un compas solaire ainsi qu'une « pierre de soleil », complétant le compas solaire par temps couvert ou lorsque le soleil était sous l'horizon.

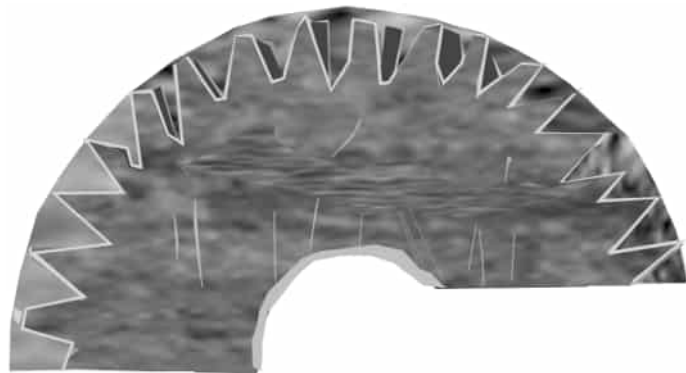


FIGURE 3 – Reproduction de l'objet découvert au Groenland à l'origine de la « saga du compas solaire viking ».

[Illustration : Roger Torrenti]

D'ailleurs, dans la populaire série Vikings, diffusé à partir de 2013 par Canal+ et disponible depuis février 2020 sur Netflix, le personnage principal du film annonce dès le premier épisode qu'il saura découvrir de nouveaux territoires vers l'ouest car il dispose d'un compas solaire et d'une pierre de soleil. . .

Avant de présenter cette « saga du compas solaire et de la pierre de soleil vikings », née vers 1950 et qui s'étend donc aujourd'hui sur 70 ans, puis de s'interroger sur le crédit que l'on peut lui accorder (mythe ou réalité ?), rappelons brièvement ce qu'est un « compas solaire », ce qui permettra de mieux comprendre certains développements de la saga.

3 Les compas solaires

En anglais, les termes « sun compass » et « solar compass », utilisés dans de nombreuses sources de « la saga du compas solaire » car elles sont majoritairement en anglais, sont basés sur « compass » qui désigne indifféremment une boussole ou un compas (de relèvement) pour la navigation. En français, ils peuvent donc être traduits par boussole solaire, compas solaire, ou encore boussole solaire pour la navigation. Cette précision sémantique étant posée, abordons ce qu'est une boussole solaire au sens large.

Commençons par un petit rappel historique : il y a 2 ou 3 siècles, lorsque les cadrans solaires de poche étaient courants, un type de « montre solaire » était très à la mode afin d'éviter d'insérer une boussole magnétique dans le cadran et de se dispenser d'assurer au cadran une horizontalité parfaite. Cette montre solaire comportait en fait 2 cadrans solaires : un cadran horizontal ou vertical, et un cadran analemmatique : on orientait la montre solaire afin que les deux cadrans indiquent la même heure et c'était alors l'heure solaire exacte du moment d'observation qui était lue. De plus on pouvait connaître ainsi la direction nord-sud. Un membre de la Commission des cadrans solaires de la SAF, Pierre Causeret, a d'ailleurs donné une seconde vie à cette « boussole solaire », par une maquette que l'on peut acquérir en ligne [2].

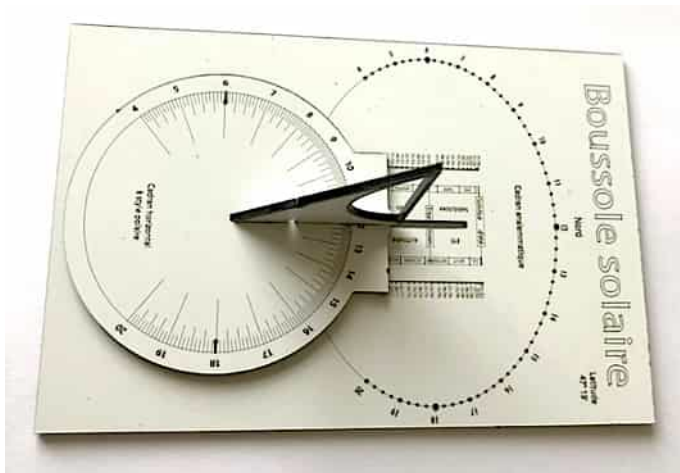


FIGURE 4 – Boussole solaire proposée par Pierre Causeret.
[Photo : Roger Torrenti]

Rappelons ensuite une évidence : tout cadran solaire peut être transformé en boussole solaire. En effet un cadran solaire donne l'heure solaire s'il est correctement orienté. Réciproquement, si l'on connaît l'heure solaire on peut déterminer la direction nord-sud et donc disposer d'une boussole solaire.

Supposons par exemple que vous ayez fait l'acquisition d'un de ces petits cadrans horizontaux, souvent en laiton, pour installer sur votre terrasse, votre balcon ou dans votre jardin, et qu'après vous être prudemment assuré que le tracé des lignes horaires est correct et qu'il a été conçu pour la latitude du lieu où vous l'utilisez (si la latitude n'est pas la vôtre vous devrez simplement l'incliner par rapport à l'horizontale!) vous souhaitez l'installer mais ne connaissez pas la direction nord-sud.

Pour trouver cette direction, ayez en mémoire la formule de conversion heure solaire – heure légale, ainsi que la longitude du lieu et la valeur de l'équation du temps au jour donné. Il vous suffit alors de consulter votre montre ou votre téléphone mobile et d'orienter l'instrument afin qu'il indique l'heure solaire que vous aurez déduite de la formule rappelée page suivante : la ligne horaire de midi vous donne la direction nord-sud ! Bien entendu, une fois le cadran solaire

ainsi correctement orienté, vous aurez le plaisir, jour après jour, de le voir indiquer une heure solaire exacte. . .

HL = HS + ET + CL + 1h (si heure d'été)

- **HL : heure légale (celle de nos montres)**
- **HS : heure solaire (lue sur le cadran)**
- **ET : valeur de l'équation du temps au jour considéré (à lire sur un schéma ou une table)**
- **CL : correction de longitude (positive si le cadran est situé à l'ouest du méridien de référence du fuseau horaire, négative s'il est situé à l'est de ce méridien)**

FIGURE 5 – Formule de conversion heure solaire – heure légale.
[Source : www.cadrans-solaires.info]

Il existe donc autant de types de boussoles solaires, des très simples aux très sophistiquées, qu'il y a de types de cadrans solaires. . . Bien entendu, pour qu'une boussole solaire soit facilement utilisable, en particulier pour la navigation terrestre ou maritime, le cadran solaire doit être portable, de dimensions assez réduites.

Les compas solaires se sont en fait significativement développés au XIX^e et XX^e siècles, alors que des boussoles magnétiques précises étaient pourtant déjà disponibles. En 1836 par exemple, l'Américain William Austin Burt déposait ainsi le brevet d'un « solar compass » assez élaboré, qu'il avait conçu pour cartographier des mines de fer (environnement dans lequel une boussole magnétique ne donne pas de résultats satisfaisants).

Mais c'est surtout pendant la seconde guerre mondiale que des développements importants ont été réalisés dans le domaine des compas solaires [3], afin de disposer d'instruments fiables pour calibrer les compas magnétiques des avions ou pour permettre aux véhicules militaires de s'orienter dans le désert (en Lybie et en Égypte en particulier), en l'absence de cartes fiables (et de repères pour utiliser ces cartes), et pour éviter l'imprécision de compas magnétiques embarqués dans les véhicules (masse métallique importante).

C'est ainsi que, parmi d'autres, les compas solaires Bagnold (armée anglaise), Armstead (armée américaine), ou Cole (armée française) ont rendu de fiers services pendant cette guerre, certains étant même utilisés par les militaires jusqu'au début des années 90.

Les boussoles ou compas solaires basés sur un simple « gnomon », une tige verticale portant ombre sur une table horizontale, sont probablement les plus simples à réaliser et à utiliser.

Un tel cadran solaire peut être conçu tout d'abord simplement comme un cadran d'azimut après avoir pris soin que le dispositif (un cercle gradué symétriquement de 0° à 180° dont le gnomon occupe le centre) soit bien horizontal, ce qui peut être facilité en l'équipant d'un niveau à bulle. Nous savons que la valeur de l'azimut du Soleil dépend (formule page suivante) de l'angle horaire du Soleil, de la latitude du lieu et de la déclinaison du Soleil.

À l'aide de cette formule, de l'équation donnée précédemment de conversion heure solaire – heure légale, ainsi que d'une table de déclinaison du Soleil et d'équation du temps, on pourra donc aisément, pour un lieu donné (latitude et longitude fixées), préparer un tableau indiquant, pour chaque jour de l'année et avec une précision assez fine, la correspondance heure légale – azimut du Soleil.

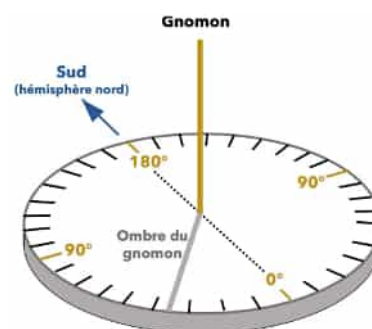


FIGURE 6 – Compas solaire basé sur un cadran solaire d'azimut.
[Illustration Roger Torrenti]

À l’instant d’observation (c’est-à-dire à une heure légale donnée) il suffira d’orienter le disque afin que l’azimut indiqué par l’ombre du gnomon corresponde à celle du tableau et de constater la direction nord-sud (axe 0°–180° sur le disque). Si l’instrument devait être utilisé dans des lieux (latitude et longitude) différents, il faudra bien entendu, à chaque fois, préparer un nouveau tableau de correspondance heure légale – azimut du Soleil et ce pour chaque jour d’observation.

$$AS = \arctan \left(\frac{\sin AH}{\sin LAT \cos AH - \cos LAT \tan DS} \right)$$

Avec

- **AS** : azimut du Soleil (angle variant de -180° à 0° vers l'est et de 0° à +180° vers l'ouest)
- **DS** : déclinaison du Soleil (angle variant de -23° 26' au solstice d'hiver à +23° 26' au solstice d'été ; il est égal à 0° aux équinoxes)
- **LAT** : latitude du lieu (angle variant de 0° à 90° N ou S)
- **AH** : angle horaire du Soleil (il est égal à - 15° à 11 h heure solaire, 0° à 12 h, +15° à 13 h, +30° à 14 h, etc.)

FIGURE 7 – Formule permettant de déterminer la valeur de l’azimut du Soleil.

[Source : www.cadrans-solaires.info]

Une autre façon simple de concevoir une boussole ou compas solaire à partir d’un gnomon est de tracer les courbes que suivra jour après jour l’extrémité de l’ombre du gnomon sur la table du cadran. Ces courbes sont des hyperboles (une droite pour les équinoxes) que l’on peut tracer à l’aide de la formule ci-après, le plan xOy étant défini par le point O — pied du gnomon — et les axes Ox — dirigé vers l’est — et Oy — dirigé vers le nord.

$$y = \frac{-h \sin LAT \cos LAT + \sin DS \sqrt{x^2 (\cos^2 LAT - \sin^2 DS) + h^2 \cos^2 DS}}{\sin^2 DS - \cos^2 LAT}$$

Avec

- **h** = hauteur du gnomon
- **LAT** = latitude du lieu
- **DS** = déclinaison du soleil

FIGURE 8 – Formule permettant de tracer les hyperboles journalières sur un gnomon.

[Source : www.cadrans-solaires.info]

Il n’est pas pertinent de représenter sur ce compas solaire (de taille nécessairement réduite) les courbes correspondant à chaque jour de l’année, voire chaque semaine, car la lecture serait très difficile sinon impossible. On se contentera donc par exemple de courbes mensuelles ou bimensuelles. À noter qu’autour des solstices (périodes pendant lesquelles la déclinaison varie le moins rapidement) les courbes seront plus rapprochées.

Pour connaître la direction nord-sud il suffira, à l’instant d’observation, après s’être assuré de l’horizontalité du dispositif, de faire correspondre l’ombre de l’extrémité du gnomon et l’hyperbole du jour donné (on interpolera si la date d’observation ne correspond pas à l’une des dates de tracé des hyperboles). On retiendra de ce compas – boussole solaire que les hyperboles sont tracées pour une latitude donnée. est-il utile de préciser par ailleurs que le tracé est effectué dans l’exemple donné sur une surface rectangulaire mais peut l’être bien entendu sur toute autre surface, circulaire par exemple ?

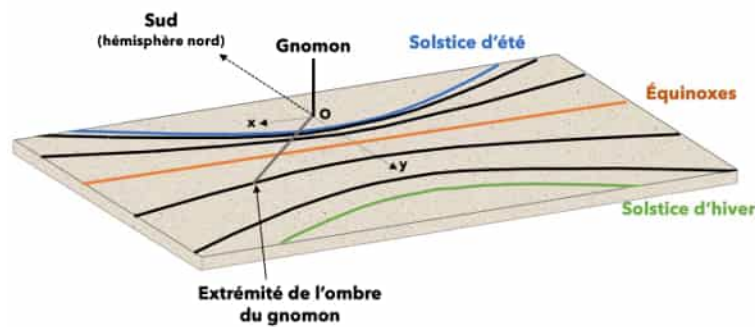


FIGURE 9 – Un compas - boussole solaire basé sur les hyperboles diurnes d'un gnomon.
[Illustration : Roger Torrenti]

4 La saga du compas solaire et de la pierre de soleil vikings

Si nous limitons nos sources aux seuls articles scientifiques, qui ont inspiré (quelquefois très librement) de nombreuses magazines ou sites web, sans compter les œuvres de fiction, bandes dessinées, films ou séries à grand spectacle, la « saga du compas solaire et de la pierre de soleil vikings » peut être résumée par les quelques paragraphes suivants.

En 1948, l'archéologue danois Christen Leif Vebæk découvre près du fjord d'Uunartoq au Groenland, sous les ruines d'un couvent bénédictin, des vestiges vikings (datés au carbone 14 entre 985 et 1015 de notre ère) dont le petit fragment de bois déjà évoqué : apparemment la moitié d'un disque de 7 cm de diamètre et de 1 cm d'épaisseur, percé d'un trou central de 1,8 cm de diamètre. Il publie un article [4] en 1952 comprenant notamment une photo des objets trouvés, dont ce fragment de bois.

Carl V. Solver, historien maritime danois qui préparait un livre sur la navigation des Vikings, découvre cette photo et publie en 1953 un article [5] disant que le fragment de bois est de son point de vue ce qui reste d'un compas de relèvement (*bearing dial* en anglais) basé sur la hauteur du soleil, voyant dans les encoches restantes sur le pourtour de l'objet la moitié des 32 rhumbs (secteurs) de la rose des vents (tout en s'interrogeant sur le fait que le partage des directions cardinales et intercardinales en 32 rhumbs n'apparaît en fait qu'à la fin du Moyen-Âge).

W. E. May, directeur du National Maritime Museum à Greenwich, est l'un des rares à soutenir cette hypothèse et la saga du compas solaire ne connaît plus de développements réellement importants jusqu'en 1978.

À cette date, l'astronome suédois Curt Roslund affirme que certaines éraflures visibles sur l'objet seraient en fait intentionnelles et correspondent à des arcs diurnes de gnomon (droite des équinoxes et hyperbole du solstice d'été pour une latitude de 61° N), le trou central ayant alors probablement servi d'emplacement pour un gnomon.

Il suggère donc que les Vikings, avant de partir vers l'Islande, le Groenland ou le continent américain, prenaient un petit disque semblable à celui dont un fragment a été découvert par Carl V. Solver, traçaient l'arc d'hyperbole (et la droite des équinoxes) pour la latitude du point de départ et pouvaient alors naviguer à latitude constante en utilisant ce compas solaire ainsi qu'il a été détaillé au paragraphe précédent.

Cette double proposition est a priori cohérente :

- navigation à latitude constante : dans les « sagas des temps anciens » (transmises oralement pendant l'Âge des Vikings puis par écrit à partir du XIV^e siècle), les conseils de navigation pour les destinations citées [6] se résument à « tenir l'ouest » (pour y aller) ;

- hyperbole tracée avant le départ : les principales expéditions hauturières des Vikings se déroulaient autour du solstice d'été, à une date où les hyperboles diurnes sont assez proches, l'hyperbole tracée avant le départ restant donc utilisable pendant la traversée (Islande – Groenland par exemple) qui n'était pas très longue.



FIGURE 10 – Le compas solaire imaginé par Curt Roslund basé sur le vestige découvert par Christen Leif Vebæk.
[Illustration : Roger Torrenti]

En 1988, le Danois Søren Thirlund, responsable du musée maritime de Kronborg reprend le flambeau, construit des répliques de tels compas solaires qu'il confie, pour essais en mer, à des navigateurs dont l'Anglais Robin Knox-Johnston, le premier navigateur à avoir fait le tour du monde à la voile en solitaire et sans escale. Les essais semblent confirmer l'hypothèse et Søren Thirlund publie en 1992 un ouvrage [7] avec Christen Leif Vebæk dont le titre est catégorique « Les compas solaires ont guidé les Vikings jusqu'au continent américain ».

En 1998, Margaret Folkard et John Ward, de la *British Sundial Society* reprennent dans un article [8] l'hypothèse du compas solaire et proposent un compas solaire assez sophistiqué (et assez éloigné du compas imaginé par Curt Roslund) qui sera testé pendant un voyage viking reconstitué. En 2007, Mike Cowham, de la *British Scientific Instrument Society*, après une visite au musée de Copenhague où est exposé le fragment de bois, publie un article [9] défendant également l'hypothèse du compas solaire.

Parmi les nombreuses autres sources, nous pouvons citer encore l'exposé [10] de Michel Lalos, membre de la Commission des cadrans solaires de la SAF, qui indique en 2013 qu'un détail de la tapisserie de Bayeux (XI^e siècle), consacrée notamment à la bataille d'Hastings (1066), pourrait représenter un navigateur viking tenant un compas solaire à la main, et cite un autre objet intéressant.

Cet objet, baptisé « planche à ombre solaire », aurait en particulier été en usage dans les Îles Féroé. Il est composé d'une planche de bois au centre de laquelle était installé un gnomon vertical. Avant le départ d'une expédition on aurait repéré, sur cette planche placée dans une bassine d'eau, l'extrémité de l'ombre du gnomon à midi solaire (moment de la journée où elle est la plus proche du pied du gnomon) puis tracé un cercle passant par ce point et ayant pour centre le centre du pied du gnomon.

Ainsi, après avoir embarqué cet « instrument », il suffisait de vérifier pendant la traversée qu'autour de midi solaire, c'est-à-dire lorsque le Soleil était le plus haut dans le ciel, l'extrémité de l'ombre du gnomon restait sur le cercle. Si l'ombre se trouvait à l'intérieur du cercle on naviguait trop au sud, si elle était à l'extérieur on suivait un cap trop au nord. Ce dispositif était encore plus adapté que le compas solaire évoqué précédemment puisqu'il permet effectivement une navigation à latitude constante et non à cap constant, la dérive due au vent et aux courants pouvant bien sûr éloigner un navire, naviguant à cap constant, de la latitude initiale. Notons cependant que l'hyperbole tracée sur le compas solaire présenté précédemment permet elle aussi, à midi solaire, de vérifier que le navigateur ne s'est pas éloigné de la latitude de départ.

Citons enfin, pour compléter cette saga du compas solaire un autre article [11], publié en 2013 par une équipe de chercheurs hongrois, remettant en cause l'interprétation de Curt Roslund et se focalisant sur les autres éraflures que comporte le fragment de bois, conduisant à l'hypothèse d'un instrument de navigation encore plus complexe...

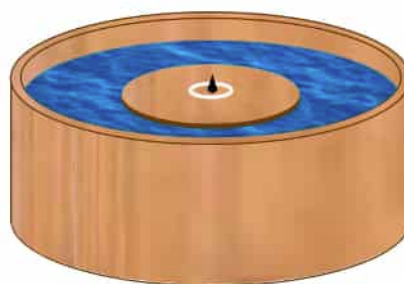


FIGURE 11 – Représentation possible d'une « planche à ombre solaire ».

[Illustration : Roger Torrenti]

En parallèle de cette « saga du compas solaire », que nous venons de résumer, la complétant et la renforçant, se développe celle de la « pierre de soleil » née de la découverte, dans les vestiges d'un navire anglais qui avait sombré dans une tempête au large de Cherbourg à la fin du XVI^e siècle, d'un petit morceau de calcite transparente, plus précisément de spath d'Islande. En 1967, l'archéologue danois Thorkild Ramskou souligne la biréfringence caractéristique de tels cristaux, qui permet dès lors de s'orienter en mer en utilisant la polarisation de la lumière diffusée par le ciel : il suffit, lorsque le ciel est couvert ou que le Soleil se trouve (légèrement) sous l'horizon, de faire tourner le polariseur naturel qu'est le cristal pour déterminer la direction du Soleil. Quelques sagas évoquant des « pierres de soleil », Thorkild Ramskou déduit que les Vikings auraient pu les utiliser pour leurs expéditions vers l'ouest.

FIGURE 12 – La biréfringence du spath d'Islande : une double réfraction se constate, le texte apparaissant en double.

[Photo : Roger Torrenti]



En 1994 Curt Roslund et Claes Beckman contestent cette hypothèse [12], soulignant que les bases scientifiques manquent pour supposer que les Vikings auraient utilisé de tels cristaux pour leur navigation, ce qui semble conduire de nombreuses équipes de recherches à s'efforcer de proposer ces bases.

C'est ainsi que des chercheurs de l'Université de Rennes, en collaboration avec des équipes de recherche étrangères, vont confirmer [13] qu'il est effectivement possible, avec de tels cristaux, de déterminer l'orientation du Soleil avec une bonne précision et que le morceau de spath d'Islande provenant du naufrage anglais avait pu en particulier servir d'aide à la navigation [14]. D'autres équipes approfondissent les bases théoriques et expérimentales [15] ou comparent les propriétés de différents minerais (calcite, tourmaline, cordiérite) pour assurer une bonne précision de navigation [16].

Des équipes ayant travaillé sur les compas solaires vont par ailleurs imaginer comment les compas solaires et les pierres de Soleil ont pu être utilisées simultanément pour permettre aux Vikings d'effectuer leurs traversées [17].

5 Mythe ou fait historique ?

Voilà donc où l'on en est aujourd'hui de cette « saga du compas solaire et de la pierre de Soleil vikings » qui a tendance à passer de plus en plus du statut d'hypothèse à celle de certitude, même si les articles scientifiques utilisent encore souvent le conditionnel dans leurs conclusions (« Les Vikings auraient utilisé... »). Continuons à utiliser les sources scientifiques

et faisons appel à notre réflexion pour proposer de classer cette saga plutôt dans la catégorie « mythe » ou « fait historique ».

6 Les Vikings ont-ils réellement utilisé des compas solaires ?

Efforçons-nous tout d'abord de répondre à cette première question.

On dispose de peu de données d'origine scandinave sur les connaissances acquises par les Vikings : les sources écrites les plus anciennes datent du XII^e siècle et dans les sagas écrites encore plus tardivement il est difficile de séparer les faits des légendes. Il est cependant établi que les Vikings avaient, logiquement, une certaine connaissance de la course apparente du Soleil dans le ciel : on a par exemple retrouvé des tombes scandinaves datant de 750 avant notre ère (750 avant J.-C.) qui étaient orientées est-ouest ou nord-sud [18]. Mais les Vikings ne possédaient pas a priori de notions d'astronomie évoluées, aucune découverte archéologique ne l'attestant. Et ce, même s'ils avaient, au cours de leurs expéditions, croisé des civilisations plus avancées sur le plan scientifique (les Arabes en Andalousie, les Chinois sur la route de la soie, les Byzantins) qui auraient pu leur permettre d'accroître leurs connaissances scientifiques.

Possédaient-ils des connaissances suffisantes pour concevoir et tracer un compas solaire ? Comme les Vikings ramenaient beaucoup d'esclaves de leurs expéditions, ils auraient pu bénéficier, grâce à ces esclaves, du savoir acquis par d'autres civilisations : un cadran solaire pouvant servir de boussole solaire et datant du X^e siècle, exposé au musée de l'Alhambra à Grenade, témoigne de la maîtrise par les Andalous de ce type d'instrument. Un esclave ramené de leur raid en pays andalou aurait-il pu les aider à tracer des compas solaires ?

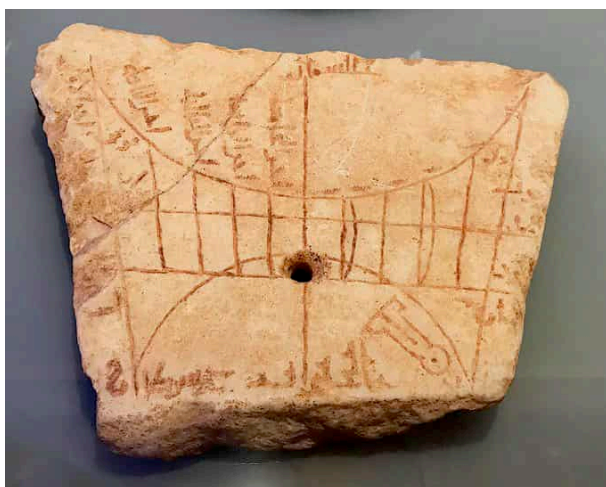


FIGURE 13 – Cadran solaire andalou datant du Xe siècle et exposé au musée de l'Alhambra à Grenade.

[Photo : Roger Torrenti]

On peut en douter car l'objet retrouvé au Groenland reste le seul retrouvé à ce jour. D'autres vestiges (un disque exposé au musée de Skogar en Islande, un autre retrouvé sur l'île de Groix, d'autres objets cités notamment dans l'article de Mike Cowham [9], etc.) ne sont pas réellement convaincants en tant que compas solaires. Si les Vikings maîtrisaient la technique du compas solaire, n'en auraient-ils pas produits en nombre et n'aurait-on pas retrouvé plusieurs vestiges comparables dans les nombreux sites archéologiques scandinaves ?

En outre l'objet retrouvé par Christen Leif Vebæk il y a 70 ans au Groenland est vraiment un tout petit instrument : le disque de 7 cm de diamètre aurait en fait été équipé (si les éraflures correspondent bien à l'hyperbole du solstice d'été et à la droite des équinoxes pour une latitude de 61° N) d'un gnomon de moins de 5 mm de hauteur, ainsi que peut le démontrer un calcul simple. . .

Tous ceux qui ont déjà utilisé un cadran solaire peuvent imaginer la difficulté de lecture d'un si petit instrument, d'autant plus qu'il convenait de le tenir bien horizontalement par une mer pas forcément d'huile. . . Et ce, même si des appareils similaires ont été testés « avec un certain succès » par des navigateurs, dont l'objectif était peut-être plus de prouver qu'un tel compas était fiable, plutôt que de questionner son usage. . .

On notera enfin que l'hypothèse initiale de Carl V. Solver, fondatrice de la saga, jugeant que les 16 encoches sur le demi-cercle de l'objet le conduisaient naturellement à penser aux 32 rhumbs d'un compas de navigation peut être mise en doute. En effet l'illustration ci-après révèle qu'il y a en fait déjà 17 encoches (réparties assez irrégulièrement) sur le fragment restant qui ne représente pourtant pas tout à fait un demi-cercle et que déduire qu'il y avait 32 encoches sur l'ensemble du disque est donc une hypothèse pour le moins peu solide. . .

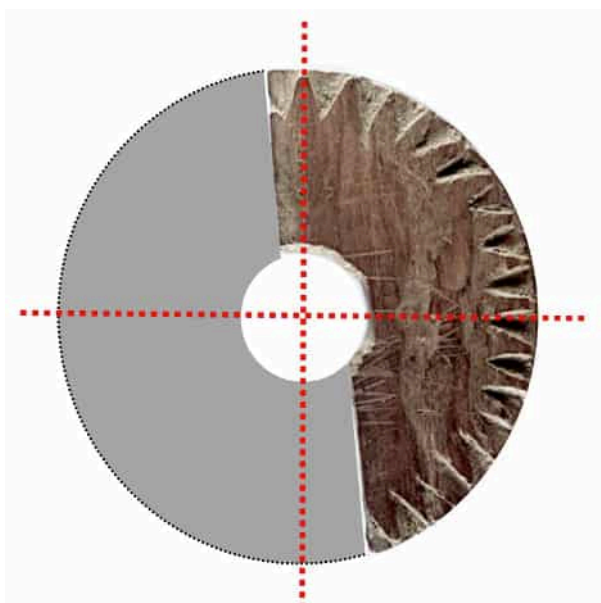


FIGURE 14 – L'hypothèse peu solide de Carl V. Solver.

[Illustration : Roger Torrenti]

Si l'objet retrouvé au Groenland n'est pas une partie d'un compas solaire, que serait-il alors ? Le musée de Skogar où un disque d'apparence assez proche est exposé, contacté par l'auteur en février 2020, considère qu'il pourrait très bien s'agir d'un « compteur de prières ». Ce pourrait être également un de ces porte-bonheur ou objets magiques vikings semblables au *Vegvisir*, symbole circulaire à 8 directions régulières accompagnées de runes vikings, censé guider les voyageurs à travers brouillards et tempêtes. Cela pourrait être un simple objet décoratif, avec des encoches symbolisant les rayons du Soleil. Cela pourrait . . .

En conclusion, l'hypothèse du compas solaire (ou de la planche à ombre solaire) qui aurait été en usage pendant « l'Âge des Vikings » peut être sérieusement contestée, voire classée dans la catégorie « mythes et légendes ».

7 Les Vikings ont-ils réellement utilisé des pierres de soleil ?

Passons maintenant à la pierre de soleil. L'hypothèse est attrayante mais là aussi les vestiges ou les documents historiques font défaut pour l'étayer. Au-delà de la pierre provenant du bateau naufragé (qui, rappelons-le, a sombré au XVI^e siècle donc bien après l'époque des Vikings) aucun autre cristal n'a semble-t-il été découvert dans les sites archéologiques scandinaves. Et les seules références historiques se trouvent dans quelques sagas où il est question d'une pierre de soleil mais aucunement de son utilisation possible comme instrument de navigation.

Sur cette question, deux autorités reconnues ont émis un avis catégorique :

- Régis Boyer, alors professeur à Paris IV Sorbonne et grand spécialiste des Vikings, affirme en 2003 [19] : « nous savons à présent qu'il s'agissait d'une pierre précieuse, un cristal apprécié et évoqué en tant que tel » ;
- Jean-François Gazin, responsable de la commission Minéralogie de la Société Amicale des Géologues Amateurs affirme quant à lui en 2012 que l'utilisation de la pierre de soleil par les Vikings comme instrument de navigation est un simple « mythe » [20].

Il semble bien que, pour cette hypothèse de la pierre du soleil qu'aurait utilisée les Vikings tout comme pour celle du compas solaire, les scientifiques aient peut-être trop imprudemment extrapolé ce que les Vikings auraient pu faire autour du X^e siècle à la lueur des connaissances actuelles. Peut-être des conclusions plus rigoureuses de leurs travaux auraient dû consister en des formulations de type « si les Vikings avaient pu utiliser » plutôt que « les Vikings auraient utilisé » ? Peut-être l'attrait de cette saga du compas solaire et de la pierre de soleil est tel que quelques scientifiques ou quelques équipes de recherche ont exploré la piste au-delà de ce qu'un esprit critique commandait de faire ? Peut-être des connaissances trop limitées en gnomonique de certains acteurs, qui découvriraient avec intérêt ce qu'un compas solaire pouvait faire, les a-t-il conduits à des développements inutiles et à des conclusions imprudentes ? Il y a aussi peut-être le manque de recul par rapport aux hypothèses initiales . . .

Nous terminerons par un clin d'œil : on pourrait supposer que si Carl V. Solver n'avait pas été un historien maritime mais un amateur de hockey sur glace, il aurait lancé en 1953 non pas « la saga du compas solaire viking » mais « la saga des hockeyeurs vikings » (les Vikings étant ainsi supposés être les vrais inventeurs de ce sport), l'objet en bois retrouvé par Christen Leif Vebæk ayant les dimensions d'un palet de hockey et les éraflures pouvant témoigner du frottement du palet sur une glace de mauvaise qualité . . .

8 Comment les Vikings auraient-ils fait sans compas solaire ni pierre de soleil ?

Si nous supposons que les Vikings ne disposaient pas de compas solaire ni de pierre de soleil pour s'orienter en haute mer, la question subsiste : comment ont-ils pu aller de Scandinavie en Islande, puis au Groenland, puis sur le continent américain ?

Eh bien, puisqu'ils avaient pour objectif de tenir un cap vers l'ouest (ou vers l'est en revenant) s'efforçaient-ils sans doute de simplement garder le cap déterminé par la position, par rapport au navire, du soleil levant, du soleil de midi et du soleil couchant, puisque, rappelons-le, ils connaissaient ces positions au départ et que leurs voyages étaient assez courts. Bien sûr, de bons pilotes pouvaient également s'orienter en observant la présence ou la migration des oiseaux et des animaux marins, en repérant les vents et les courants, en surveillant la température et la couleur de l'eau, en s'aidant des odeurs et des sons, et en se fiant la nuit à la position de l'étoile polaire (appelée « l'étoile qui guide » par les Vikings). Et puis, en comptant sur la chance et en acceptant de ne pas toujours y parvenir : le premier Viking à avoir mis le pied sur le continent américain, Bjarni Herjólfsson, l'a fait par hasard (une tempête avait éloigné son bateau du Groenland) alors qu'Erik le Rouge quitta l'Islande pour le Groenland avec 25 bateaux et seulement 14 arrivèrent à destination . . .

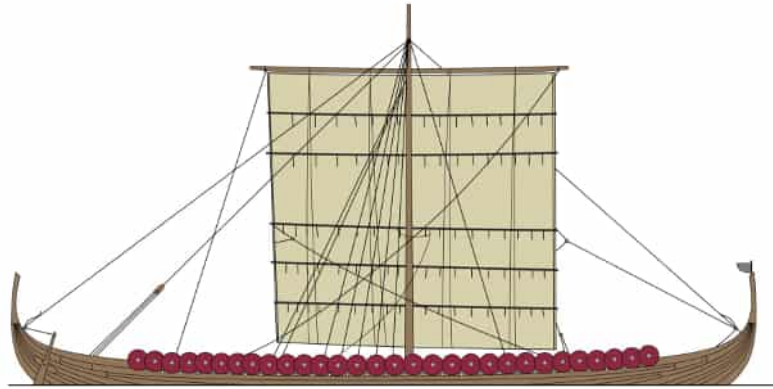


FIGURE 15 – Mât, voile et gréement d’un bateau viking de type langskip.
[Source : Wikimedia Commons — Ningyou — Domaine public - Viking longship.png]

9 Conclusion

Le doute et l’esprit critique sont nécessaires dans les sciences mais aussi dans la société d’aujourd’hui où l’information surabondante, notamment via les réseaux sociaux, doit être considérée avec de plus en plus de circonspection. Ce sont le doute et l’esprit critique qui ont motivé la présente analyse de la solidité historique de la « saga du compas solaire et de la pierre de soleil vikings » (comme ils avaient déjà motivé les auteurs d’un article paru dans Cadran Info en mai 2015 [21]), et conduit à une conclusion ne confirmant pas cette solidité. Mais c’est le même doute et le même esprit critique qui doivent conduire à ne pas affirmer de conclusions péremptoires. Ce que l’on peut affirmer est que, sur la base des faits dont nous disposons aujourd’hui, les Vikings ne possédaient probablement pas de compas solaire ni de pierre de soleil pour s’orienter en haute mer. Mais peut-être d’autres faits, d’autres vestiges archéologiques, demain, viendront modifier cette base et conduiront-ils à des conclusions différentes ?

En termes de rigueur scientifique, il est toujours utile de rappeler ce voyage en train que le grand mathématicien et physicien britannique Paul Dirac fit avec l’un de ses amis qui, pour tenter de distraire Dirac qui restait absorbé dans ses pensées, lui fit remarquer par la fenêtre des moutons, alignés parallèlement à la direction du train, qui, notait son ami, venaient d’être tondus. Dirac jeta un bref regard et dit « peut-être mais tout ce qu’on peut affirmer c’est qu’une moitié de la laine de chaque mouton (celle faisant face au train) a été tondu » . . .

Mythe ou fait historique ? Cette saga reste dans tous les cas une belle histoire à raconter et fait rêver. À ce titre elle peut constituer le fil rouge d’une ressource pédagogique présentée comme une enquête attractive et plausible qui permet de parler du Moyen-Âge et de l’Âge des Vikings, des instruments de navigation, de notions d’astronomie, de compas et de boussoles solaires, de polariseurs naturels, et . . . de doute, de rigueur et d’esprit critique. Une telle ressource a déjà été proposée par Markus Nielbock de l’Institut Max Planck pour des collégiens de 14–16 ans [22].

Je propose ci-après la structure d’une ressource plus étendue, basée sur le présent article et sur le MOOC cadrans solaires et destinée a priori tout aussi bien à des élèves d’école élémentaire ou de collège (cycles 3 et 4) et lancerai, via les réseaux sociaux, un « appel à projets », visant à

adapter cette structure à des classes particulières et proposant l'aide du MOOC cadrans solaires pour finaliser la ressource, invitant chaque participant à partager alors largement ses travaux.

- 1 - Un peu d'histoire**

 - Le Moyen-Âge et l'âge des Vikings
 - La question : Comment les Vikings ont-ils réussi à naviguer jusqu'au continent américain ?
 - L'hypothèse : compas solaire et pierre de soleil

2 - Bases scientifiques pour mener l'enquête

 - Les instruments de navigation
 - De quoi a-t-on besoin ? (savoir où l'on est et quel cap tenir pour aller vers sa destination)
 - Les types d'instruments de navigation et leur apparition dans le temps
 - Longitude et latitude (voir MOOC cadrans solaires)
 - Rotation de la Terre sur elle-même et révolution autour du Soleil (voir MOOC cadrans solaires)
 - Sphère céleste locale
 - Mouvement apparent du Soleil dans le ciel
 - Boussoles et compas solaires
 - Principe
 - Construction (voir chapitre « Les compas solaires » de ce document)
 - Polarisation de la lumière
 - Principe
 - Expérimentation (des cristaux de spath d'Islande se trouvent à quelques euros sur Internet)

3- Mythe ou réalité ?

 - Les Vikings ont-ils réellement utilisé des compas solaires ?
 - Les Vikings ont-ils réellement utilisé des pierres de soleil ?
 - Comment auraient-ils fait sans compas solaire ni pierres de soleil ?
 - Conclusion : plutôt un mythe mais on n'est pas sûr à 100%
 - L'importance de l'esprit critique, du doute et de la rigueur dans les démarches scientifiques et la vie de tous les jours

FIGURE 16 – Structure possible d'une activité en classes primaires ou au collège, basée sur la « saga du compas solaire et de la pierre de soleil vikings ».

[Roger Torrenti]

Références

- [1] BOYER Régis : *Les Vikings, premiers européens*. Éditions Autrement, 2005.
- [2] CAUSERET Pierre : *Des Maquettes pour mieux comprendre le ciel*.
www.astromaquettes21.com
- [3] BARNFIELD Malcom : « The Sundial Goes to War », *British Sundial Society*, Bulletins 23(ii) & (iii), Juin & Septembre 2011.
- [4] VEBÆK Christen Leif : « A New World Benedictine Nunnery before the days of Columbus », *Illustrated London News*, 220 (763–765), 1952.
- [5] SOLVER Carl V. : « The Discovery of an Early Bearing-Dial », *The Journal of Navigation*, Vol. 6, Num. 3, Juillet 1953.
- [6] THIRSLUND Søren : « Sailing Directions of the North Atlantic Viking Age (from about the year 860 to 1400) », *Journal of Navigation*, Vol. 50, 1997.
- [7] VEBÆK Christen Leif & THIRSLUND Søren : *The Viking Sun Compass guided Norsemen First to America*. Éditions Skjern, 1992.
- [8] FOLKARD Margaret & WARD John : « The Sun Compass Based on an Artefact Found at Unartoq Fjord », *Bulletin of the British Sundial Society*, (28. Vol. 98.1), Février 1998.

- [9] COWHAM Mike : « The Viking Sun Compass », *Bulletin of the British Scientific Instrument Society*, 2007.
- [10] LALOS Michel : *Instruments d'aide à la navigation des Vikings*. Exposé AAFC, Reykjavik, Juin 2013.
- [11] BERNATH Balázs et al. : « An Alternative Interpretation of the Viking Sundial Artefact : An Instrument to Determine Latitude and Local Noon », *Proceedings of the Royal Society*, Avril 2013.
- [12] ROSLUND Curt and BECKMAN Claes : « Disputing Viking Navigation by Polarized Skylight », *Optical Society of America*, 1994.
- [13] ROPARS Guy et al. : « A Depolarizer as a Possible Precise Sunstone for Viking Navigation by Polarized Skylight », *Proceedings of the Royal Society*, Novembre 2011.
- [14] LE FLOCH Albert et al., « The Sixteenth Century Alderney Crystal : A Calcite as an Efficient Reference Optical Compass? », *Proceedings of the Royal Society*, Février 2013.
- [15] HORVATH Gabor et al. : « On the Trail of Vikings with Polarized Skylight : Experimental Study of the Atmospheric Optical Prerequisites Allowing Polarimetric Navigation by Viking Seafarers », *Philosophical transactions of the Royal Society*, 2010.
- [16] SZAZ Denes et al. : « Adjustment Errors of Sunstones in the First Step of Sky-Polarimetric Viking Navigation : Studies with Dichroic Cordierite / Tourmaline and Birefringent Calcite Crystals ». *Royal Society (Open Science CC)*, Août 2015.
- [17] BERNATH Balázs et al. : « Orientation with a Viking Sun-Compass, a Shadow-Stick, and Two Calcite Sunstones Under Various Weather Conditions », *Applied Optics*, Septembre 2013.
- [18] ETTIGHOFFER Patrick : *Le Soleil et la Lune dans le paganisme scandinave du mésolithique à l'âge de bronze récent (de 8000 à 500 av. J.-C.)*. Éditions L'Harmattan, Juin 2012.
- [19] BOYER Régis : *La vie quotidienne des Vikings, 800–1050*. Éditions Hachette, 2003.
- [20] GAZIN Jean-François : *La « pierre de soleil » des navigateurs vikings ou l'invention d'un mythe*. Société Amicale des Géologues Amateurs, Saga information. Décembre 2012.
- [21] BONNIN Jérôme & SAVOIE Denis : « Archéologie, gnomonique et imposture », *Cadran Info*, n° 31, Mai 2015.
- [22] NIELBOCK Markus : « The Sun Compass of the Vikings ». *Haus der Astronomie Center for Astronomy Education and Outreach*, Max Planck Institute for Astronomy.
www.space-awareness.org/en/activities/6001/the-sun-compass-of-the-vikings/



1 Dernières réalisations ou découvertes

— Cadran de Claude Gahon : "Passe Temps"

« À défaut d'inspiration, j'ai repris, pour passer le temps, le concept utilisé dans le cœur de *Solaris Grandifolia* pour ce petit cadran sur lequel passe le temps. Autrement dit pas de nouveauté.

Je rappelle seulement le principe : les fentes de l'anneau produisent, grâce au soleil, un trait de lumière à l'intérieur du cylindre qui marque ainsi l'heure solaire sur les plages horaires définies par les bandes blanche et jaune.

- La fente est indique les heures de 3 à 9,
- la fente sud indique les heures de 9 à 15,
- la fente ouest indique les heures de 15 à 21.

Il est orientable en inclinaison donc adaptable à n'importe quelle latitude. Les fentes du "dessus" sont pour la saison "été". Les fentes du "dessous" sont pour la saison "hiver" comme à l'habitude pour ce type de cadran.

Et le temps passe! ».



(a)



(b)



(c)

FIGURE 1 – Cadran de Claude Gahon : *Passe Temps*.

— Cadran de Claude Gahon : "Soleil d'automne"

« Aux couleurs des feuilles d'automne, voici mon nouveau soleil. Là encore, rien de nouveau en gnomonique. Il s'agit d'un cadran équatorial avec sa répartition tous les 15°, comme j'en ai l'habitude!

On trouve l'heure là où il n'y a pas d'ombre sur les faces obliques des "pointes", un peu comme dans mon cadran *Escalazol*. En période automnale, grâce à l'épaisseur du disque, on n'est pas obligé de se casser en deux pour regarder sous le plan équatorial. J'ai un peu triché sur l'orientation pour faire mes photos à cause du contre-jour, mais cela montre mieux le jeu d'ombre. »

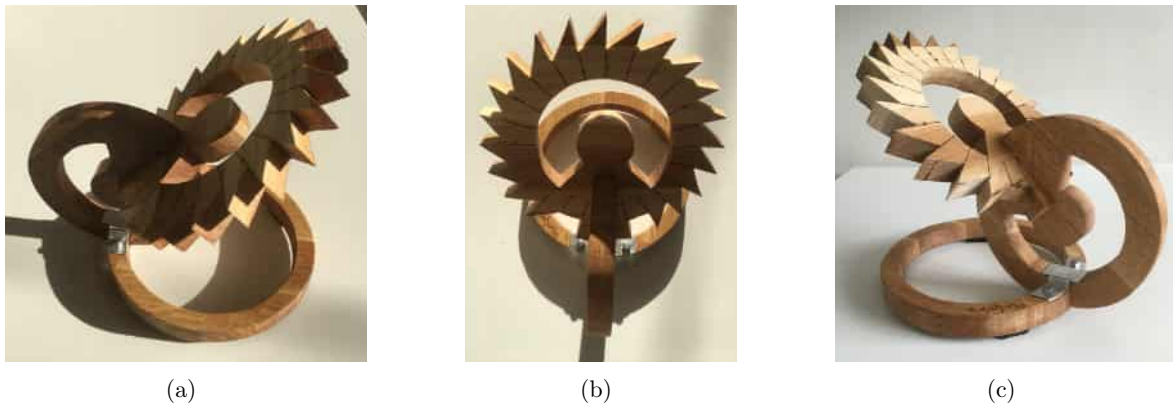


FIGURE 2 – Cadran de Claude Gahon : *Soleil d'automne*.

— Cadran de Claude Gahon : "Trépan"

« N'ayez pas peur, mon *Trépan* malgré son allure est inoffensif. Il veut tout simplement vous aider à creuser les secrets de l'heure solaire.

Il se compose de 4 étages de 3 plots en étoile, chaque tête de plots est munie d'une lame dans un plan horaire. Les plots sont décalés de 30° pour que l'ombre de la lame parcourt la tête du plot pendant 2 heures.

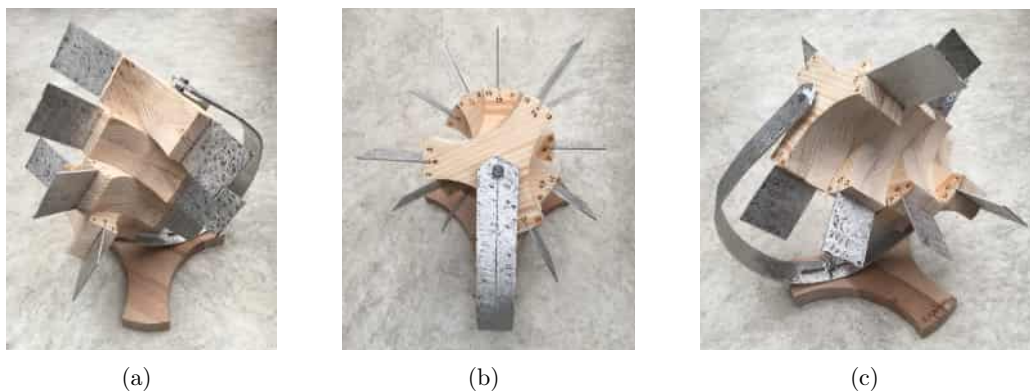


FIGURE 3 – Cadran de Claude Gahon : *Trépan*.

L'heure se lit ainsi alternativement d'un plot à l'autre.

Le soleil étant aux abonnés absents lors de mes photos, celles-ci sont sans ombres et donc peu justificatives, mais les tests avec une lampe semblent montrer que cela fonctionne.

Bien sûr tout cela faisant abstraction de mes petits défauts habituels de constructions. C'est encore un modeste par la taille, il tient dans une boîte de $30 \times 25 \times 30$. Il est composé de bois et alu.

Maintenant je vous laisse imaginer par quel cheminement je suis passé pour obtenir ce *Trépan*. . . oui, à partir du monument vu lors de mon séjour à Lisbonne ; l'œuvre du sculpteur Jorge Vieira, intitulé *Homem* et édifié sur une place du Parc des Nations.

Je joins également le croquis de la première version que j'avais imaginée. C'est assez voisin de l'original. Un peu trop "piquant" à mon goût et je n'arrivais pas à trouver une solution pour fixer les "branches" sur le "mât" central. »



FIGURE 4 – "Homem" : Parc des Nations, Lisbonne.

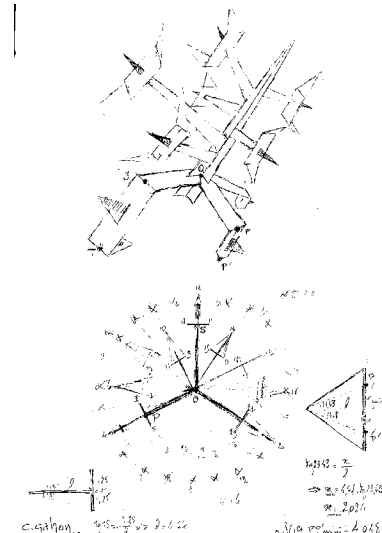


FIGURE 5 – "Trépan" : première version imaginée.

— Cadran de Claude Gahon : "Otarie"

« Petite variante de mon *Jour et Nuit* dont la forme m'a fait penser à une otarie avec son ballon de jonglage, d'où son nom. Mais j'avoue avoir été inspiré par un luminaire exposé dans un magasin.

Comme il me restait du bois et des balles de ping-pong. . . et qu'il ne mesure pas plus de 20 cm de haut. . .

Pas de photos au soleil qui est aux abonnés absent en cette période.

Le trou est placé dans le plan équatorial de la balle (visible à l'intersection des $1/2$ sphères qui composent la balle de ping-pong).

Chaque ligne horaire est l'intersection de son plan horaire avec la sphère. Ce plan horaire est bien sûr perpendiculaire au plan équatorial et passe par le trou de la sphère. Les lignes horaires sont réparties tous les arcs de 30° sur le plan équatorial.

Petite fantaisie, les balles sont fixées par bande velcro, ce qui permet de changer l'inclinaison du plan équatorial pour adapter le système à la latitude voulue.

C'est vrai que mon *Otarie* n'est pas évidente pour ceux qui ne connaissent pas *Héliosphère* ou *Jour et Nuit*, alors je propose cette petite explication.



(a) Mon Otarie



(b) Le luminaire, source de mon inspiration

FIGURE 6 – Cadran de Claude Gahon : *Otarie*.

Chaque sphère (balle de ping-pong) est percée d'un trou par lequel passe les rayons du soleil qui font ainsi une petite tache lumineuse à l'intérieur de la sphère. Par translucidité, cette tache est alors visible de l'extérieur entre les lignes horaires gravées sur chacune des balles. C'est ainsi que :

- La sphère basse (trou vers l'est) indique les heures de 3 h à 9 h,
- la sphère médiane (trou vers l'ouest) indique les heures de 15 h à 21 h,
- la sphère haute (trou vers le sud) indique les heures de 9 h à 15 h. »

— Cadran de Claude Gahon : "Envol"

Un petit oiseau qui, sous le regard de son parent, essaie de prendre son envol.

« Il va faire ses tentatives en se déplaçant sur sa plate-forme mais en gardant toujours le regard vers le Nord, et son ombre lui indiquera à quelle heure il va prendre le départ ! Vous avez compris le fonctionnement de ce cadran horizontal. L'écrou central est le pied d'un style virtuel, les points horaires sont situés sur le prolongement des lignes horaires de ce style fictif. Le système permet à l'oiseau de toujours garder son orientation malgré son déplacement dans la glissière. C'est donc un style polaire mobile.

On déplace l'oiseau jusqu'à ce que son ombre passe sur l'écrou central, à cette position l'ombre marque l'heure solaire repérée par les points horaires (sur les photos on peut lire 9 h 30 (fig. 7 page ci-contre)).

Ce petit cadran (diamètre 25 cm) marque donc l'envol vers l'année 2020 que je vous souhaite pleine de rêves. »

Suite à une demande d'explications de notre collègue Joël Robic (merci)...

« Il s'agit bien d'un style polaire mobile et le plan de l'oiseau est bien toujours orienté au nord, tout ça grâce au mécanisme dont je joins le secret avec les photos de mes documents de travail (cf. figures 8 & 9 page suivante).

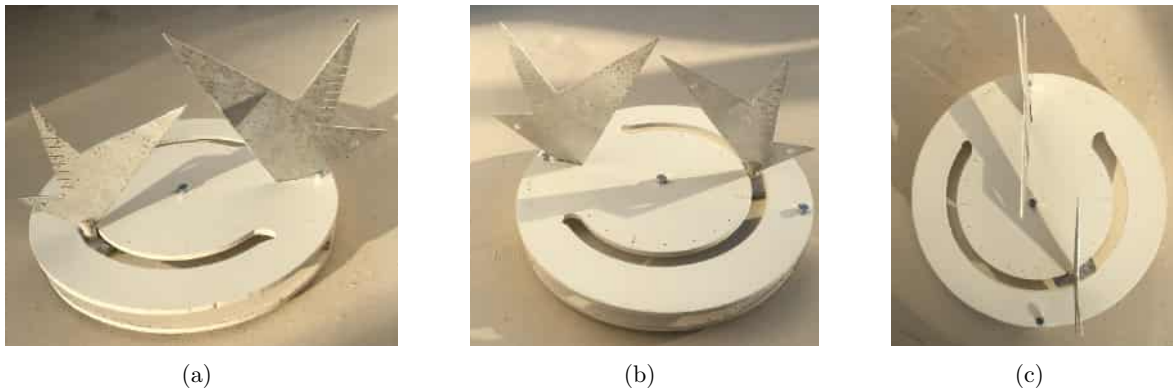


FIGURE 7 – Cadran de Claude Gahon : *Envol*.

Il y a deux poulies : celle centrale est fixée sur le plateau supérieur et ne tourne donc pas, l'autre est mobile et tourne sur son axe.

Ces 2 poulies sont reliées par une plaque percée de 2 trous, l'un qui permet à la plaque de tourner autour de l'axe de la poulie centrale, l'autre qui permet de tenir toujours à la même distance la deuxième poulie qui peut ainsi tourner sur elle-même. Les 2 poulies sont reliées par un cordon.

En poussant la poulie de l'oiseau on entraîne le bras et le cordon, dans ce mouvement la poulie de l'oiseau reste avec une orientation fixe (cf. fig. 9). Un peu le principe du parallélogramme pivotant autour d'un de ses côtés fixe, le côté opposé lui restant toujours parallèle. »

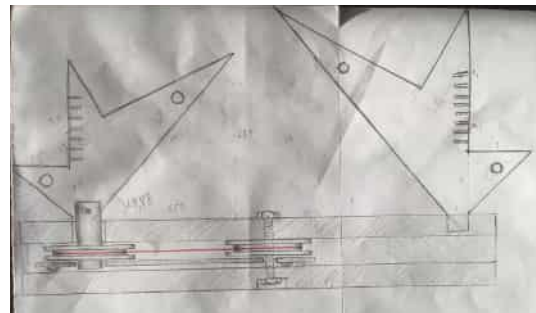
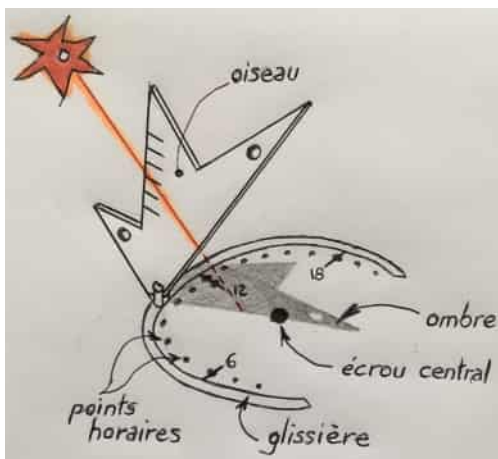
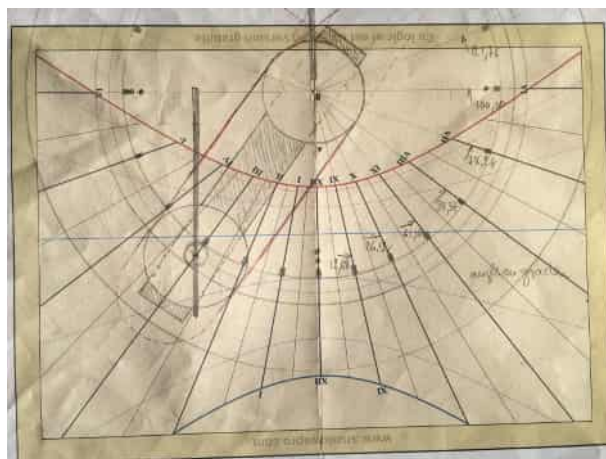


FIGURE 8 – Les deux poulies.



(a)



(b)

FIGURE 9 – Aperçu des documents de travail de "Envol".

— Cadran de Claude Gahon : "Pendule"

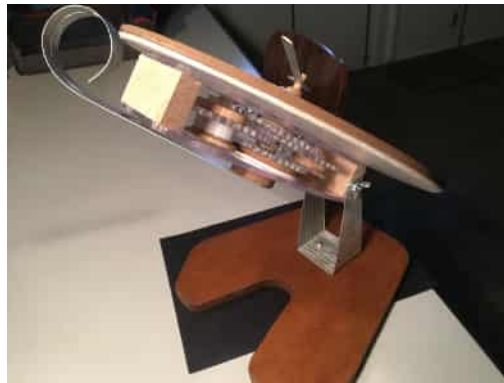
« Il fallait bien remettre les pendules à l'heure, voici donc comment je m'y prends à l'aide de cette pendule (fig. 10). Rien de nouveau me direz-vous, car toutes les pendules donnent l'heure, oui mais pas celle du soleil ! Bien sûr elle est inclinée de la valeur de la latitude du lieu.

Il faut tourner la manivelle à fente, (procédé déjà utilisé dans *Equator* et *Meunier tu Dors*), jusqu'à ce que la tache lumineuse soit centrée sur la manivelle et voilà, les aiguilles indiquent directement l'heure solaire !

J'ai utilisé la structure découpée d'une pendule du commerce et j'ai fabriqué le mouvement d'horlogerie qui permet, lorsque la manivelle tourne de 15° (pour 1 heure solaire) de faire tourner la petite aiguille des heures de 30° et la grande des minutes de 360° (pour 1 heure de pendule classique). À noter que de l'horloge de base je n'ai conservé que le plateau qui sert de décor, le mécanisme, minuscule et en plastique en l'occurrence, a été complètement supprimé, c'est impossible d'y ajouter d'autres éléments. C'est en déposant le système que j'ai pu comprendre le principe des réductions d'engrenages.



(a) La pendule *manuelle* solaire



(b) Les engrenages

FIGURE 10 – Cadran de Claude Gahon : *Pendule*.

Pas facile à réaliser, j'ai commencé par des poulies en bois et des cordelettes, mais celles-ci glissaient et ne faisaient pas tourner les poulies. Pas mieux avec des élastiques ! J'ai donc tout repris en fabriquant des engrenages (roues crantées) en plexiglas, ça fonctionne en théorie, mais les défauts de perçages, découpes, centrages, dus à mes imprécisions de manœuvres, font que cela bloque par moment et qu'il y a quelques crans qui sautent ! ça fait des minutes pas très correctes.

Je m'en tiens là pour l'instant, mon principe est bon. »

Précisions : pas de balancier ni de ressort, mon "horloge" n'est pas automatique, une "manivelle" remplace tout mécanisme d'entraînement. Il faut la tourner, à la main pour qu'elle soit correctement en face le soleil, comme expliqué plus haut. Ce mouvement entraîne une série d'engrenages (croquis de principe en figure 11 page ci-contre).

Si la manivelle tourne de 15° pour 1 h de soleil, donc $1/24$ tour la roue 80 en fait autant et entraîne la roue 40 qui fera donc $1/12$ tour, idem pour la roue 60 qui lui est solidaire. Celle-ci entraîne une roue 60 + une roue 96 + l'aiguille des heures qui sont solidaires et font donc elles aussi $1/12$ tour, l'aiguille des heures a alors tourné de 30° comme sur une pendule normale.

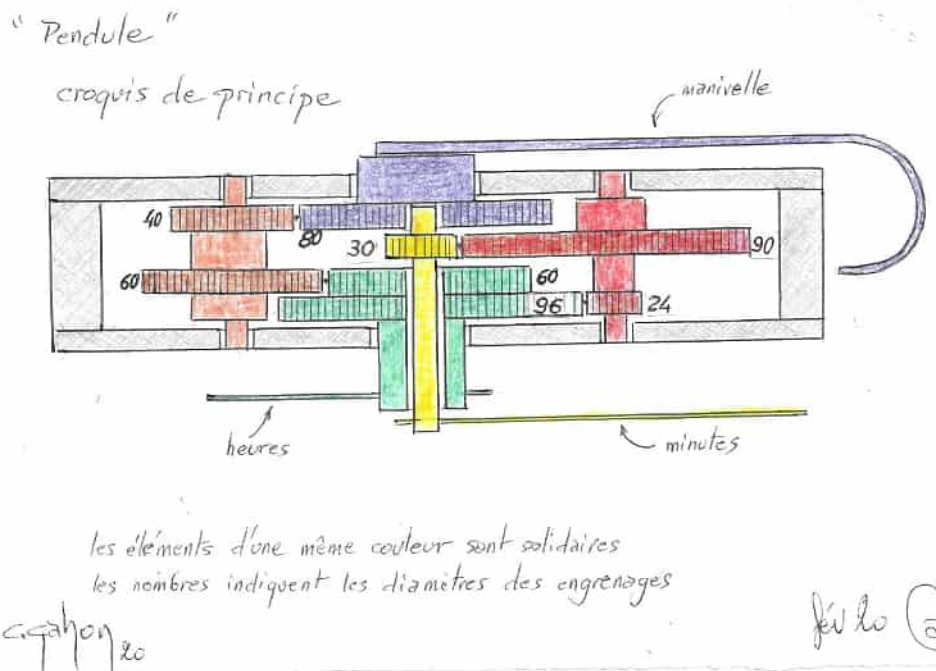


FIGURE 11

Bon! ... ça suit au fond de la classe! alors je continue. La roue de 96 entraîne une roue de 24 qui va donc tourner de $1/3$ de tour, tout comme la roue de 90 qui lui est solidaire.

La roue de 90 entraîne celle de 30 qui fait alors 1 tour complet, c'est l'aiguille des minutes qui a fait son tour d'1 heure de pendule normale. CQFD... mais il vaut mieux suivre sur le croquis.

— Cadran de Claude Gahon : "Antenne"

« Histoire de me libérer un peu, après ma dure épreuve avec *Pendule*, voici du classique. *Antenne* parce qu'il faut l'orienter pour une meilleure réception du soleil dans le cours de la journée.

On y retrouve mes idées anciennes de *Héliogire*, *Soleil Olympique*, et d'autres ... qui proposaient une lecture dans 3 endroits (positions) en fonction des divers moments du jour.

Le "petit plus" est la possibilité de faire la lecture sur les deux faces de l'écran translucide. L'heure solaire est donc marquée sur l'écran gravé en lignes horaires, par la tache lumineuse produite par le rayon solaire passant par l'ocilleton ... Du classique je vous disais, du polaire sur trois plans!

Malheureusement le soleil est trop faible en ce moment pour que la translucidité soit bien efficace.

Sa taille est telle que j'ai pu le réaliser avec des chutes de mes diverses réalisations (alu, plexiglas, cuivre), en effet il peut se mettre dans une boîte de $L 15 \times l 15 \times H 12$! J'ai tout juste eu le temps d'une photo où l'on peut voir la tache d'ombre et de lumière. Je vous joins cette photo avec celles montrant les deux autres positions possibles (*cf. fig. 12 page suivante*).

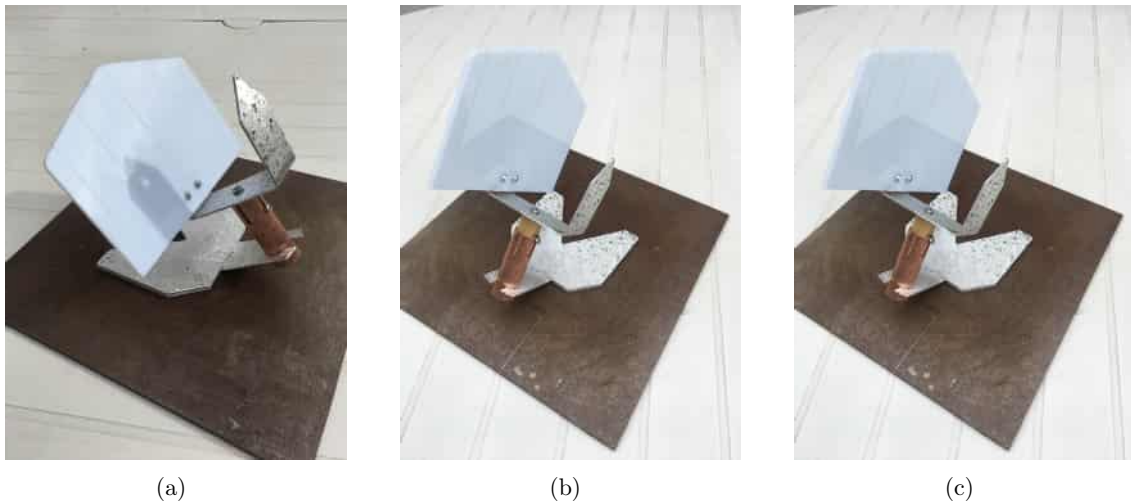


FIGURE 12 – Cadran de Claude Gahon : Antenne.

Ci-dessous ma petite notice d'utilisation telle que celles qui accompagnent habituellement mes cadrans dans les expositions. »

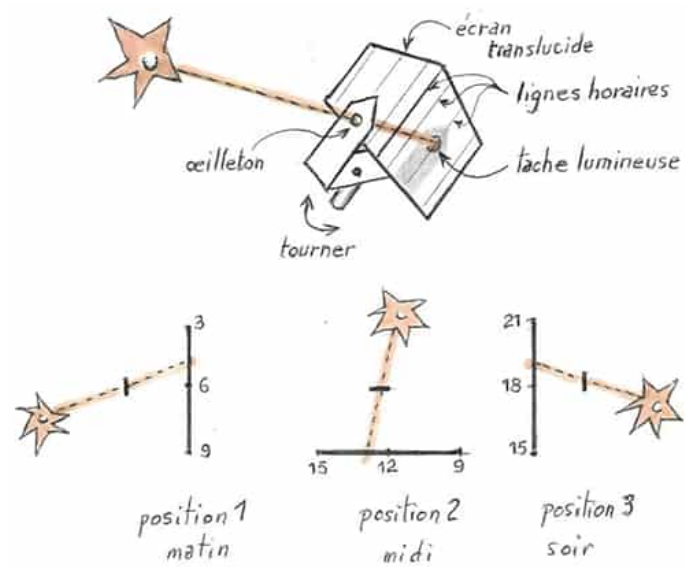


FIGURE 13 – C84 – Antenne.

- * Changer la position de "l'antenne" selon la partie de la journée.
- * La tache lumineuse produite par l'œilleton repère l'heure solaire sur les lignes horaires.
- * L'écran étant translucide, on peut ainsi lire l'heure sur ses deux faces.

— Restauration de la méridienne de Rouen par Véronique Hauguel

La restauration de la méridienne de Rouen, nous a tenu en haleine durant plusieurs années. Sa concrétisation a fait l'objet de plusieurs communications de V. Hauguel¹.



(a) Photo de la Méridienne vers 1990. Le disque à œillette est toujours en place



(b) Photo lors de la pose du disque à œillette. le 8 mars 2019 sur la méridienne restaurée.

FIGURE 14 – Restauration de la méridienne de Rouen.



FIGURE 15 – Point lumineux projeté le 30 avril 2019 par l'œillette réalisé par D. Charlet.



FIGURE 16 – De gauche à droite, le conducteur de la nacelle, Elisabeth Hébert, Véronique Hauguel, Dominique Charlet, Céline Mercier et Danielle Claveau le 8 mars 2019.

1. Présentations de l'avancement du projet lors de réunions de la Commission des Cadrans Solaires (CCS), site web de la CCS, site web de la SAF

En annexe de la version numérique :

Issu du site de l'Association Sciences en Seine et Patrimoine (ASSP²), le fichier Méridienne Rouen VH.pdf regroupant les différents chapitres présentés sur le site :

1. L'Utilité d'une méridienne
2. La description et la construction
3. L'histoire
4. L'évolution du temps
5. L'heure solaire et l'heure légale
6. La position du disque à œillette
7. La restauration
8. La fabrication du disque
9. La maquette
10. Bibliographie

2 Courriels gnomoniques

— Solstice d'été 2004 : Christian Larcher

« Lors de la dernière réunion de la commission, j'ai été très intéressé par l'intervention de Denis Savoie et la description de ses belles réalisations. Il y en a une particulière qui a attiré mon attention : celle du cadran analemmatique réalisé par Denis à la *Bibliotheca Alexandrina*.



FIGURE 17

J'ai eu l'occasion à l'époque de l'inaugurer le jour du solstice d'été 2004. Je suis en effet parti 3 jours à Alexandrie pour refaire avec des collégiens d'Alexandrie, la célèbre expérience d'Ératosthène. Il y avait une transmission directe avec d'autres collégiens situés sur le tropique près de la ville de Syène et une autre transmission directe avec des collégiens français réunis à la faculté d'Orsay. J'ai ensuite donné une conférence dans l'un des beaux amphithéâtres de ce centre moderne. »

Voici le texte qui rapporte cet événement.

2. assprouen.free.fr/dossiers/cadrans_meridiennes.php

LE PREMIER JOUR DE L'ÉTÉ 2004 À LA « BIBLIOTHECA ALEXANDRINA »

par Christian Larcher
(Professeur de Physique, Membre du CLEA et de la SAF).

*« Les sirènes du port d'Alexandrie
Chantent encore la même mélodie
La lumière du phare d'Alexandrie
Fait naufrager les papillons de ma jeunesse »*

Résumé : Dans le cadre des échanges entre la France et l'Égypte, une opération, placée sous l'égide de l'Académie des Sciences, de l'Institut National de la Recherche Pédagogique et de l'École Normale Supérieure de Cachan, a été organisée par « la main à la pâte » avec des élèves égyptiens et français. Cette opération avait pour objectif de refaire l'expérience d'Ératosthène en utilisant la même méthode et les mêmes moyens qu'il y a 22 siècles.



FIGURE 18



FIGURE 19

Je me suis rendu à Alexandrie à l'invitation de Madame Iman Nour el Dine, Conservatrice du Musée d'Histoire des Sciences. J'ai reçu là-bas un accueil chaleureux aussi bien de la part des responsables de la « Bibliotheca » que du côté français de la part de Cédric Montel (Attaché au Centre Culturel Français d'Alexandrie) et de Aurélia et Yannick Vernet (Volontaires du progrès de la Région PACA). Le 21 juin 2004, jour du solstice d'été, les élèves étaient présents à leur poste respectif. Certains se trouvaient à Assouan dont la latitude est presque celle du tropique du Cancer 24° de latitude Nord, d'autres à Alexandrie dont la latitude est d'environ 31° N, enfin un groupe d'élèves français était à l'Université d'Orsay, près de Paris, dont la latitude est à peu près 48° N.

La journée a débuté, en présence de Madame Hoda El Mikaty, Directrice du secteur Scientifique de la « Bibliotheca », par l'inauguration d'un cadran solaire analemmatique horizontal fixé sur l'immense esplanade de la "Bibliotheca Alexandrina", face à la mer. J'ai eu l'honneur de couper le ruban bleu (photo ci-dessus à gauche).

Ce cadran a été conçu par Denis Savoie, Directeur du planétarium du Palais de la Découverte à Paris et Président honoraire de la commission des cadrans solaires de la Société Astronomique de France (SAF).

Il est composé de points horaires (matérialisés par des disques en marbre) qui, reliés entre eux formeraient une ellipse, « l'ellipse des heures ». Le style est un gnomon mobile en fonction de l'époque de l'année. Il est vertical et très souvent il est constitué par une personne qui se tient debout à l'endroit adéquat. La lecture de l'heure solaire s'effectue en utilisant la direction de l'ombre de cette personne. Cette heure solaire, après quelques corrections, permet de retrouver l'heure légale que donne la montre.



FIGURE 20

Une conférence était ensuite prévue avant la rencontre via Internet avec les deux autres classes. La traduction était assurée remarquablement par Madame Liliane Eskandar. Les élèves d'Alexandrie (une centaine) étaient réunis dans un auditorium. J'avais apporté un peu de matériel pour rendre les élèves actifs : un disque solaire dont l'échelle était choisie de façon qu'en le regardant à 30 m on puisse le voir sous le même diamètre apparent que le véritable Soleil, et des petites pancartes (une par planète). J'ai demandé que l'on fasse monter sur scène dix élèves. Le premier tenait entre ses mains le disque solaire, les autres les « planètes ». Les élèves ont su se disposer dans l'ordre des distances au Soleil. À l'aide d'un vidéo projecteur, j'ai montré aux élèves des photos du Soleil et de chaque planète (sauf Pluton), avec parfois un gros plan sur un site caractéristique, comme *Olympus Mons* sur la planète Mars, qui fait près de trois fois la hauteur de l'Himalaya. J'ai donné quelques caractéristiques qualitatives sur chaque planète.

J'ai ensuite rappelé en quoi consistait l'expérience d'Ératosthène. Un tableau papier permettait de réaliser des croquis. J'ai toujours matérialisé les rayons du soleil par des droites parallèles et montré que, le jour du solstice d'été, ces rayons pouvaient atteindre, à Assouan, le fond d'un puits. Ce qui signifie que ce jour-là, à midi heure solaire, le Soleil est au zénith, c'est-à-dire à la verticale du lieu. J'ai demandé aux élèves de m'indiquer le lieu des points où ce phénomène se reproduit à l'équinoxe d'automne, à celui du printemps, au solstice d'été, au solstice d'hiver ; ils ont mentionné à bon escient l'équateur, le tropique du Cancer ou celui du Capricorne.

Peu avant le passage du Soleil au méridien, les élèves sont remontés sur l'esplanade pour faire les mesures avec l'aide de M. Max-André Humbert, Attaché de coopération, et de Mme Marie Chesné, Conseillère pédagogique.

Répartis en onze groupes, ils ont disposé leur gnomon et mesuré la longueur de l'ombre portée. Avec un rapporteur, ils ont déterminé la valeur de l'angle alpha entre la direction des rayons lumineux et la verticale du lieu indiquée par le gnomon. Certains ont mesuré l'angle complémentaire à titre de vérification. Tous sont revenus à l'auditorium pour la mise en commun des résultats avec les classes d'Assouan et d'Orsay. Chaque porte-parole indiquait son nom et son âge, puis donnait successivement : la hauteur du gnomon, la longueur de l'ombre et la moyenne des valeurs des angles alpha. Les élèves n'ont pas eu de difficulté, aidés par un schéma sur le tableau papier, à comprendre que cet angle alpha, le 21 juin, était le même que celui que faisait, au centre de la Terre, la verticale d'Assouan et celle passant par Alexandrie.

Valeurs moyennes trouvées par les élèves :

7,5° ; 8,0° ; 7,25° ; 7,25° ; 6,0° ; 8,0° ; 7,29° ; 6,4° ; 7,2° ; 8,0° ; 7,0°.

À Assouan, les élèves ont pu constater qu'ils n'obtenaient pas d'ombre à la même heure ce jour-là. Le Soleil était bien au zénith. La moyenne des valeurs obtenues à Alexandrie donne 7,26° arrondie à 7,3°. Donc, au centre de la Terre, l'angle que font les verticales passant par Assouan et par Alexandrie est aussi de 7,3°. À cet angle de 7,3 degrés au centre de la Terre correspond, à sa surface, un arc de cercle de 800 km de longueur, qui est la distance séparant Assouan d'Alexandrie. Si à 7,3 degrés au centre de la Terre correspond un arc de 800 km à sa surface, à un angle



FIGURE 21

de 360 degrés correspond la circonférence totale du globe Terrestre. Il reste un petit calcul pour trouver cette circonférence. J'ai fait remarquer qu'un angle de 7,3 degrés correspond à une petite partie de la circonférence totale que l'on peut donc calculer. Cette petite partie est $7,3/360$ de la circonférence totale. Le calcul de cette fraction donne pour résultat environ 0,02. On peut écrire : $0,02 = 2/100$ ou $1/50$. En d'autres termes on peut estimer que la distance, de valeur 800 km, qui sépare Assouan d'Alexandrie correspond à $1/50$ de la circonférence totale de la Terre. Par conséquent le tour de la Terre est d'environ $800 \times 50 = 40\,000$ km ce qui est une très bonne approximation. Les élèves ont ensuite calculé le rayon de la Terre qui est d'environ 6400 km. Une fois la connexion vidéo et audio établie avec les deux autres villes, les valeurs ont pu être échangées et comparées. On a pu ainsi déterminer la distance, mesurée le long d'un méridien, entre la latitude d'Assouan et d'Orsay. On trouve environ 2700 km.

J'ai terminé cette journée en faisant remarquer que nous possédons une technologie puissante (ordinateurs, vidéoprojecteur, satellite, GPS...), mais qu'il y a 22 siècles, avec un simple bâton en bois, on pouvait déterminer :

- la direction nord-sud (par exemple pour construire les pyramides)
- l'heure donnée par le cadran solaire
- et (en prime) la mesure du tour de la Terre.

— Que dire de mon cadran ?

On nous adresse fréquemment des photographies de cadrans solaires accompagnées des questions : pour quel lieu a-t-il été réalisé ? Son tracé est-il correct ?

- Le cadran 1 de la figure 22 page suivante est un cadran horizontal dont le propriétaire nous indique : « Le cadran était dans la propriété familiale située au Hameau de Gruchet à 76 600 Arques-la-Bataille, mais je ne connais pas l'emplacement d'où il provient. Les armes de gauche sont celles des Le Moyne d'Aubermesnil : des gueules à 3 roses d'argent posées 2 et 1 et en chef d'un lion léopardé d'or.

Les armes de droite semblent être celles des Louvel de Janville qui portaient d'Azur au chevron d'argent accompagnées en chef de 2 coquilles d'or et en pointe d'un griffon du



FIGURE 22 – Photo 1.



FIGURE 23 – Photo 2.

même. La devise : *Non Sibi Sed Mundo* peut se traduire par : *Ne demandez pas ce que vous pouvez faire pour vous mais ce que vous pouvez faire pour le monde* ».

- En ce qui concerne le cadran de la figure 23 : « Je souhaiterais connaître l’avis de la commission sur ce cadran 2 que j’ai récupéré. Il serait de Bourgogne. Il est en pierre, apparemment méridional et incliné de 78°. Il pourrait être du XVII ou XVIII^e siècle. Il fait 42 cm de haut et la base 33 cm×16 cm. Le style est décalé de 0,5 cm sur la ligne de midi (vers le bas) et semble avoir été mal positionné ».

Comme à l’accoutumé, des membres de la CCS ont analysé et commenté les cadrans ainsi que leurs anomalies (cadran 2). Cependant en ce qui concerne les tracés, il a été fait appel à notre collègue Yvon Massé et à ses outils RedPer et ParCad, voici les résultats :



FIGURE 24 – Cadran 1.

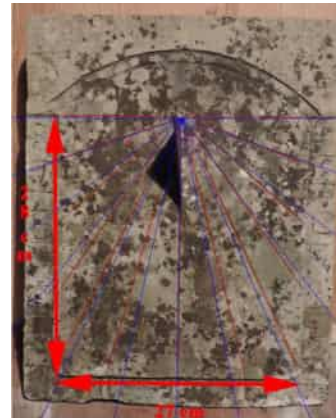


FIGURE 25 – Cadran 2.

Cadran 1. (figure 24) Après redressement de la photo pour la débarrasser de l’effet de perspective avec RedPer, on obtient un cadran horizontal parfaitement tracé pour la latitude de 49,69° N. Les lignes théoriques en bleu se superposent parfaitement aux lignes du cadran renforcées en rouge.

Il a donc été réalisé spécifiquement pour le hameau de Gruchet donné sur Google Earth pour 49° 52' N (49,86° N) et 1° 6' E.

Cadran 2. (figure 25 page précédente) Sur la photo est superposé en bleu le tracé d'un cadran pour la latitude de 27° ayant une inclinaison de 78° et une déclinaison de 0°. Ce tracé est, d'après ParCad, le plus proche de celui du cadran gravé sur la pierre et renforcé en rouge. Outre cette analyse du tracé, les résultats montrent la nécessité d'une étude complète du cadran y compris la position de son style.

À propos des outils d'analyse d'Yvon Massé :

« **L'outil RedPer** a pour but de calculer ou rechercher les paramètres de la prise de vue afin de redresser la photo et supprimer ainsi les déformations dues aux effets de la perspective.

L'outil ParCad permet de rechercher les paramètres d'un cadran pris en photo (sans effet de perspective) en recherchant la correspondance des lignes horaires. Pour cela ParCad dispose d'une fonction qui calcule les lignes horaires à partir des paramètres :

- Latitude, longitude et fuseau horaire ;
- Inclinaison et déclinaison ;
- Rotation et centre du cadran.

Il dispose également d'une fonction qui calcule un niveau d'erreur entre les lignes calculées ci-dessus et les lignes de la photo qu'on lui soumet. Enfin, il possède un algorithme d'optimisation qui modifie les paramètres et recherche par itération ceux qui donnent le niveau d'erreur le plus faible.

RedPer et ParCad fonctionnent sur PC Windows et Mac OS X, ils sont accompagnés d'une notice de 14 et 10 pages donnant des informations détaillées sur les principes et l'utilisation de ces outils : notion de perspective, conseils de prise de vue d'un cadran sans effet de perspective et mode d'emploi étape par étape avec de nombreuses illustrations.

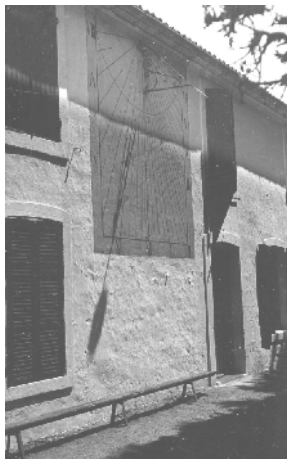
À titre d'exemple, voici ce que Y. Massé a pu obtenir à partir de la numérisation d'une photo de cadran (fig. 26(a) page suivante), prise entre les deux guerres et issue de la collection de M. Willemart (collection léguée à la commission des cadrans solaires en 1978).

Après redressement (fig. 26(b)), les paramètres sont extraits (fig. 26(c)). On trouve : latitude = 46,3° et déclinaison gnomonique = 27,6° Ouest. Il s'agit en effet du cadran historique de St-Pierre d'Oléron situé à la latitude de 45,94° dont la déclinaison (relevée en 2016) est de 26,8°. On peut aisément constater que le cadran était parfaitement tracé à l'exception des lignes de 8 h et 8 h 30. Pour quelle raison ?

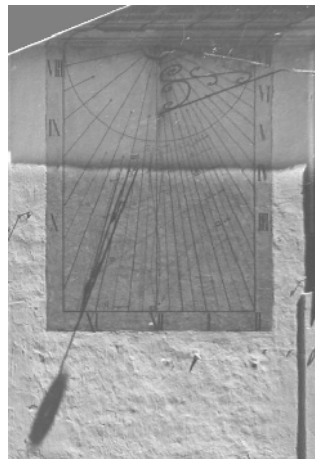
RedPer et ParCad sont disponibles en téléchargement sur le forum *Aux cadrans solaires* dans la partie réservée aux membres de la CCS (inscription au forum nécessaire).

Pour télécharger les logiciels :

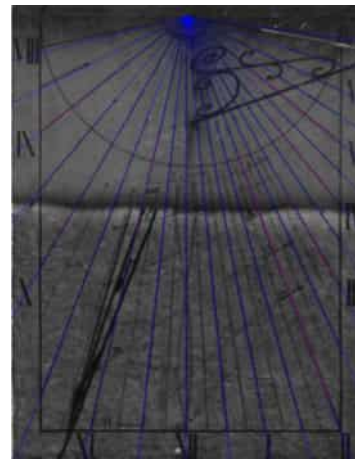
- Aller sur le forum d'Yvon Massé : gnomonique.fr/forum
- Se connecter (entrer votre nom d'utilisateur et votre mot de passe en fin de page),
- Aller sur le forum privé *Le coin de la CCS SAF* (il faut être membre de la Commission des Cadrans Solaires),
- Suivre le fil *Projet ParCad* jusqu'au message #362 afin avoir les dernières adresses de chargement et les consignes d'installation,
- Consulter les messages qui suivent pour avoir les instructions de mise à jour ».



(a) La prise de vue originale est particulièrement oblique



(b) Première étape : redressement de la photo figure 1 avec l'outil RedPer



(c) Deuxième et dernière étape : représentation des tracés théoriques et originaux sur la photo redressée figure 2 avec l'outil ParCad

FIGURE 26 – Cadran à St-Pierre-d'Oléron.

— Retrouver un cadran : Jean-Claude Berçu



FIGURE 27

Jean-Claude nous rappelle les possibilités (encore limitées) de Google pour retrouver l'origine d'une photo. Il faut pour cela que la « photo inconnue » soit présente sur le web ou s'en rapproche particulièrement bien.

Dans ce cas, on peut obtenir des renseignements sur l'objet photographié et contrôler si l'image est affectée ou non de droits d'auteurs pour reproduction sans risque juridique. La démarche peut donc intéresser les chasseurs de cadrans et les auteurs.

Voici pour exemple la recherche de ce cadran solaire (fig. 27), dont on ignore tout.

« Je vais faire une "recherche d'image" sur Google.

(1). J'enregistre cette photo sur mon ordinateur, par exemple sous le nom de « cadran solaire inconnu ». La photo doit être au format jpg. Le fichier est donc « Cadran solaire inconnu.jpg ».

(2). Je vais dans le moteur de recherche "Google Images". Pour cela il faut aller sur la

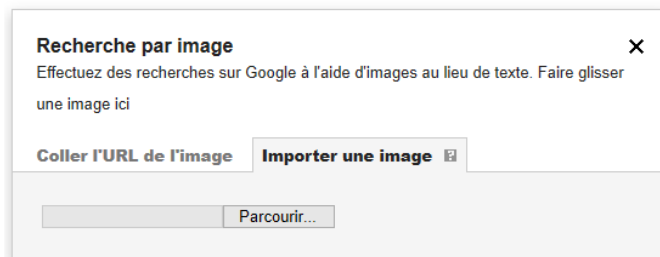
page Google et cliquer sur le mot "images" en haut à droite :



J'obtiens la page :



Je clique sur la représentation de l'appareil photo. J'obtiens l'écran ci-dessous. Après avoir sélectionné : "importer une image", je fais "parcourir" afin de choisir le fichier « Cadran solaire inconnu.jpg ». Je sélectionne mon fichier « Cadran solaire inconnu.jpg » et je l'ouvre comme habituellement pour le charger.



(3). Google après avoir "chargé" ma photo affiche la page suivante :



Et m'offre ainsi 6 résultats (soit directement soit en cliquant sur la photo). Remarque : ne pas s'occuper du texte dans la barre de recherche (ici le mot "statue") car c'est souvent inexact.

Pages contenant des images identiques

fr.wikipedia.org › wiki › Fichier:Palais_de_Justice,_quai_des_Orfèvre...

Fichier:Palais de Justice, quai des Orfèvres, cadran solaire.jpg ...



5523 × 6584 - NOTE : Cette image est un panorama constitué de 3 clichés fusionnés en utilisant un logiciel. En conséquence, cette image a forcément subi une certaine forme ...

fr.wikipedia.org › wiki › Fichier:Palais_de_Justice,_quai_des_Orfèvres,...

Fichier:Palais de Justice, quai des Orfèvres, cadran solaire.jpg ...



5523 × 6584 - En tant que détenteur du droit d'auteur, je publie cette œuvre sous les licences suivantes : GNU head, Vous avez la permission de copier, distribuer et modifier ...

fracademic.com › dic.nsf › frwiki

Liste de cadrans solaires de Paris - Fracademic



5523 × 6584 - Cette liste est incomplète ou mal ordonnée. Votre aide est la bienvenue ! Voici une liste de cadrans solaires parisiens. Sommaire 1 Nombre 2 Liste 2.1.

commons.wikimedia.org › wiki › File:Palais_de_Ju... - Traduire cette page

File:Palais de Justice, quai des Orfèvres, cadran solaire.jpg ...



5523 × 6584 - The following 3 pages use this file:
User:AbdealiJKTravis/logs/Category Male faces - User:Coyau/gallery - File:Quai des Orfèvres, Paris - Sundial of the Palais de ...

Je sais donc que ce cadran est situé sur la Palais de justice de Paris, quai des orfèvres. Effectivement l'inventaire de la CCS me le confirme et m'apporte des renseignements complémentaires.

Je ne relève pas de réserves de droits d'auteurs, je peux publier la photo dans Cadran Info. »

— Cadran J. Ozanam : André Marchal

« Après avoir créé mon instrument universel, j'ai été attiré par le cadran universel de J. Ozanam (fig. 28). Malgré un texte et un graphique succincts j'ai fabriqué et testé ce cadran horizontal assez bizarre avec 3 entrées : Latitude, Heure, Orientation. Avec 2 entrées on a la troisième : LH/O, OL/H. L'heure s'obtient à l'intersection de la droite de latitude sur la table et de l'ombre du style de même valeur ».

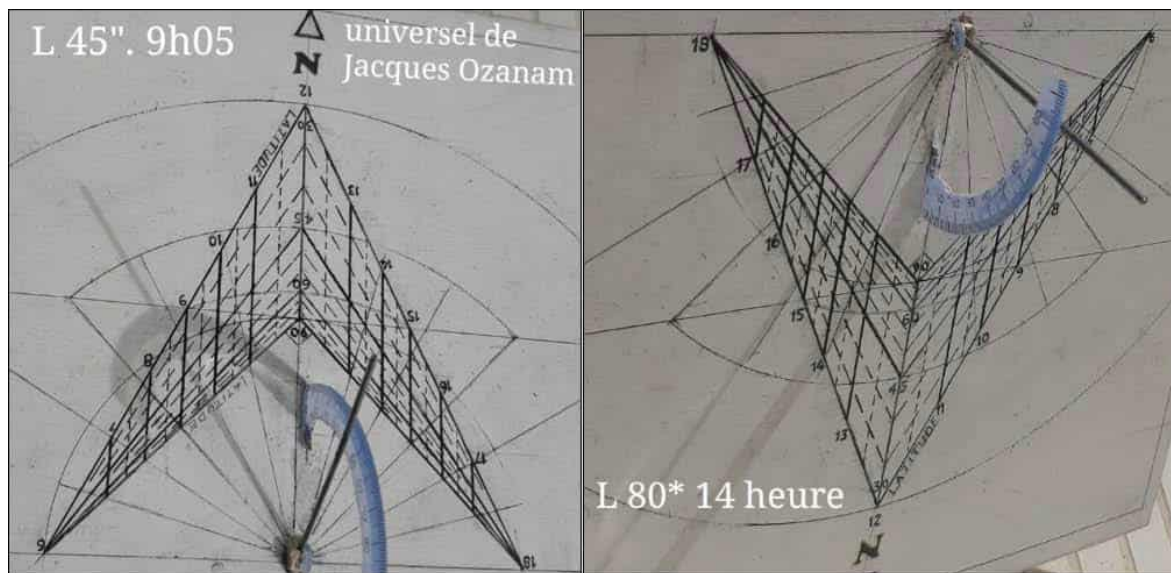


FIGURE 28 – Cadran universel d'Ozanam.

— Le jour et l'heure par une ombre : Pierre-Louis Cambefort



Notre secrétaire Pierre-Louis a lancé un quizz dans sa lettre CCS n° 10. Le quizz a été également mis en ligne sur notre site. La question était : en fonction de l'ombre de la tour Eiffel, quel jour et quelle heure la photo a-t-elle été prise ?

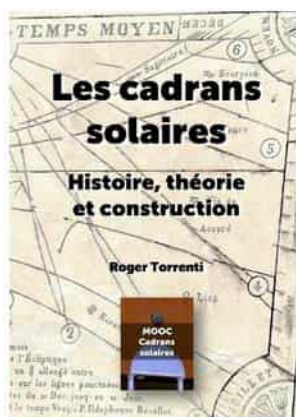
Dans le cadre de notre thème « Position du soleil » de notre revue, il a semblé intéressant de présenter la démarche suivie par Pierre-Louis et celle de Paul Gagnaire qui est notre gagnant.

En annexe de la version numérique :

Vous trouverez le détail des calculs dans le fichier :

- solution A.pdf

3 Les derniers livres

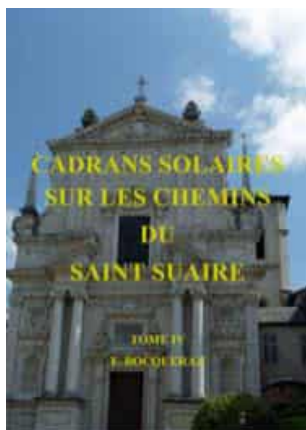


Le "MOOC cadrans solaires" (formation en ligne gratuite à la gnomonique), n'est plus à présenter. Vous le trouverez sur le site de la Commission des Cadrans Solaires ou à l'adresse directe : www.cadrans-solaires.info/

Fin 2019, Roger Torrenti, membre de la CCS et auteur de ce MOOC, a écrit un livre abordant l'histoire, la théorie et la construction des cadrans. Ce livre de 210 pages peut se lire indépendamment de la formation. Il permet également de profiter des cours dans de nouvelles conditions.

Pour commander le livre (12 euros HT) en ligne : www.lulu.com/shop/http://www.lulu.com/shop/roger-torrenti/les-cadrans-solaires-histoire-theorie-et-construction/paperback/product-24312195.html.

ou directement à R. Torrenti : roger@torrenti.net.



Après : *Cadrans solaires de Paris, Cadrans solaires et méridiennes disparus de Paris, Cadrans solaires sur les chemins de Compostelle*, François Bocqueraz, membre de la CCS présente son quatrième volume : *Cadrans solaires sur les chemins du Saint Suaire*.

Ce livre DVD est en vente auprès de l'auteur :

F. Bocqueraz : 924, route des Essarts, 73 420 Viviers-du-Lac (firstsave@gmail.com) ou directement à l'adresse : cadranssolaires.com/cadrans-solaires-a-propos.

Prix : 20 €, franco de port, (membres de la Société Astronomique de France) ou 25 € pour les autres lecteurs. Sur le site de l'auteur cadranssolaires.com/, présentation des différents livres en cliquant sur l'image.



Le « petit dernier » de Michel Steiner se nomme : *Le cadran solaire sans calculs*, (160 pages et 13 chapitres).

Le titre indique l'intention de l'auteur : « réaliser n'importe quel cadran solaire sans effort et sans calculs ! » Ce sont des balades tranquilles, sans embûches mathématiques, où chacun, initié ou néophyte, peut prendre le plus grand plaisir.

- Le livre (14,35 €) est disponible exclusivement sur Amazon : www.amazon.fr/cadran-solaire-sans-calculs/dp/B0858TYKKC ;
- Présentation des deux livres de M. Steiner : sites.google.com/site/cadransolairemichelsteiner/home ;
- Contact avec l'auteur : cadranssolaires52@gmail.com.

4 Gnomonique du monde



www.gnomonica.at/

La *Gnomonicae Societas Austriaca* (GSA) est en deuil !



Kurt Descovich, rédacteur de la Revue *Sonne+Zeit* de l'*Osterreichische Astronomical Society* nous a fait part du décès de Karl Schwarzingger. Ancien président de la *Gnomonicae Societas Austriaca* (GSA), il nous a quitté le 26 janvier 2020 à l'âge de 92 ans.

« De 1990 à 2000, il s'était occupé des affaires de l'association, rédigeant les courriers pour les membres, publiant le catalogue des cadrans solaires Autrichiens. Il entretenait de nombreux contacts avec les autres associations gnomoniques. Tout cela le rendait irremplaçable pour le Groupe de travail des cadrans solaires. Au mois de juin, lui sera consacrée une notice nécrologique dans *Sonne+Zeit* ».

Auteur de nombreuses études et d'inventaires, il était fidèle lecteur de notre revue *Cadran Info*. Il ne manquait jamais de remercier à la réception de celle-ci. Par ses connaissances et sa bienveillance, il a marqué durant de longues années le monde de la gnomonique.

La Commission des Cadrans Solaires présente ses sincères condoléances à sa famille, ses amis et à tous les membres de la société autrichienne de gnomonique.

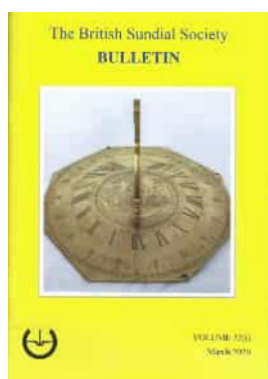
Sommaires des dernières revues ou bulletins :



BULLETIN, Volume 31, N° 4, Décembre 2019 (sur papier) de **THE BRITISH SUNDIAL SOCIETY, BSS**

[\[sundialsoc.org.uk\]](http://sundialsoc.org.uk)

1. Editorial. 2. Restoration of a Painted Stone Sundial near Prestatyn – *John Davis, Harriet James and Kevin Karney*. 9. Postcard Potpourri 49. The Woodlands School, Burgess Hill, Hampstead – *Peter Ransom*. 10. Dizzy's Dia! – *Graham Stapleton*. 11. Newbury 2019 : the Speakers – *Mike Shaw*. 12. The Voss Obelisk "Time for Evermore" – *Mark Lennox-Boyd and Ben Jones*. 16. Lunchtime at Newbury 2019 – *Martins Gills*. 17. Cord Sundial in 's-Graveland – *Peter de Groot*. 22. An Instrument for Diallysts? – *Sue Manston*. 24. A Helical Equinoctial Dial – *Mike Cowham*. 26. In the Footsteps of Thomas Ross. Part 29 : Some Midlothian Sundials — *Dennis Cowan*. 31. Obituary — Andrew James, FRSA HonMBHI – *Joanna A. Migdal*. 32. A Sundial Delineated inside a Cone – *John Arioni*. 37. Marking Time with Oak Leaves – *Alastair Hunter*. 38. More on the Standard Time of Sunrise and Sunset – *Kevin Karney*. 39. Newbury One-Day Meeting, 21 September 2019.



BULLETIN, Volume 32, N° 1, Mars 2020 (sur papier) de **THE BRITISH SUNDIAL SOCIETY, BSS**

[sundialsoc.org.uk]

1. Editorial. 2. Restoration of the Drummond Castle Obelisk Sundial. Part 1 : History and Reinstatement Ceremony — *Alastair Hunter*. 9. Postcard Potpourri 50. St Mary's Priory, Hurley, Berkshire — *Peter Ransom*. 10. Wonky Sundials : Our Heritage — Safe in their Hands? — *John Wilson*. 11. Peter Ransom MBE — *JD*. 12. A Sundial for the Old School House at Durgan, Cornwall — *Camlyn Martin* and *Ben Jones*. 14. A Long Way from Home : A Dia! for Glamis Castle now in New Zealand — *John Davis* and *Rosaleen Robertson*. 21. Dial Dealings 2019 — *Mike Cowham*. 23. A New Sundial for Central London — *Piers Nicholson*. 26. In the Footsteps of Thomas Ross. Part 30 : *Christine Northeast*. Neidpath Castle — *Dennis Cowan*. 29. Gerald Dunn, Polymath and Sundial Maker — *Jan Butson*. 33. The Transit of Venus Sundial, Campbell Town, Tasmania — 36. New Sundial at the Old School, Wiggshall St Mary Magdalen, Norfolk — *David Payne*. 38. A Mass Dial at Auction — *John Davis*. 40. New Book : Biographical Index of British Sundial Makers from the Seventh Century to 1920 by Jill Wilson (Third Edition) — *CHN*. 40. Joanna Migdal : Master of the Worshipful Company of Clockmakers — *FHK*. 41. Trustees' Annual Report 2019. 47. BSS Accounts for the Year Ended 31 December 2019, with associated reports.



La BUSCA de PAPER N° 94, hiver 2019 (sur papier et CD) de la **SOCIETAT CATALANA DE GNOMONICA, SCG**

[www.gnomonica.cat]

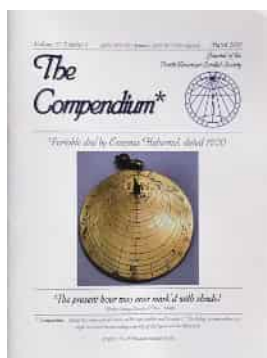
Reflexions, per Oriol Pi de Cabanyes, p. 3. Editorial, p. 3. Buenaventura Suárez (1679–1750), per *R. Krieglery* y *M. Villegas*, p. 4. Taller per a nens a la UdG, per *L. FERIA* i *M. Porta*, p. 7. Calendari compensat a un quadrant equatorial tòric, per *R. Soler Gayà*, p. 8. Els rellotges de sol d'Ancils (Osca), per *P. Novella*, p. 10. Racó Poètic : "El rellotge de sol", per *M. Pujadó*, p. 11. Els rellotges dels astronautes (II), per *E. Farré*, p. 12. Taller de bricolatge (14). Rellotges de sol helicoidals, per *F. Clarà*, p. 18. El manuscrit CR-165 sobre rellotges de sol, per *E. Farré*, p. 20. El quadrant nord de la Torre dels Vents, per *J. Elorz*, p. 24. El misteriós rellotge de sol de Porrera, per *P. Novella*, p. 27. English Abstracts, p. 29. Resúmenes en español, p. 30. Filatelia IV, de la col·lecció F. Rocha, Eivissa, p. 31.



THE COMPENDIUM, Vol. 26, N° 4, déc. 2019 (sur papier et CD) de la **NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY, NASS**

[www.sundials.org]

Sundials for Starters : What Makes an Elegant Gnomon?, *Robert L. Kellogg*, p. 1. Polar Envelope Gnomons, *Fred Sawyer*, p. 5. The Honey Bee Haven dial — an analemmatic sundial using ceramics, *Rick Williams*, p. 15. Sundial Sightings : A Close Look at a Vertical Dial, *Robert L. Kellogg*, p. 19. Sabotage (Puzzle), p. 21. Elia Barchetti's Sundial, *A. Denoth & K. Descovich*, p. 22. Book Review : Time of Our Lives : Sundials of the Adler Planetarium / by Sara J. Schechner. *Hal Brandmaier*, p. 27. NASS Photography Competition 2020, p. 28. 3-D Design and Printing Sundials, Part 1, *Bill Gottesman*, p. 29. The Podere Terravera Sundial, *Silvio Magnani*, p. 33. An Unexpected Problem, *Don Petrie*, p. 38. The Tove's Nest - Digital Bonus — In Memoriam, p. 40. Front cover : *Sawyer Polar Envelope dial*; Concept : *F. Sawyer*; 3D modelling and photo : *Steve Lelievre*. Inside back cover : *Horizontal Dial at the Blaylock Mansion*, Nelson, BC. NASS Registry #966.



THE COMPENDIUM, Vol. 27, N° 1, mars 2020 (sur papier et CD) de la **NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY, NASS** [www.sundials.org]

Sundials for Starters – When a Dial Goes Bad, *Robert L. Kellogg*, p. 1. Solar Decliners, *Fred Sawyer*, p. 6. Quiz answer - Sabotage Steve Lelievre; Rolf Wieland 16 Maker's Marks – Request for Information, *Steve Lelievre*, p. 18. History of Portable Sundials, *Helmut Sonderegger*, p. 19. Photography Compétition, p. 35. OpenSCAD Tutorial Series – A Simple Gnomon, *Robert L. Kellogg*, p. 36. Digital Bonus; The Tove's Nest, p. 37. Methods of Finding a True Meridian Line, &c. (1795) [facsimile], *William Jones*, Mathematical Instrument Maker, p. 38.



OROLOGI SOLARI N° 20, décembre 2019, de la **CGI – Coordinamento Gnomonico Italiano** à télécharger sur le site : [www.orelogisolari.eu]

P. 7 : Gli orologi solari conici dell'Antichità. Generalità – Parte I, *Albéri Auber Paolo*. P. 15 : Lapidari e orologi solari romani – Aggiornamenti (2a parte), del *Favero Enrico*. P. 24 : Petrus Apianus e il Torquetum, *Gunella Alessandro*. P. 26 : L'orologio Ab Ortu di Norimberga, *Gunella Alessandro*. P. 29 : Tre metodi di Andrea Schöner per tracciare un orologio orizzontale ed estensione all'orologio declinante, *Gunella Alessandro*. P. 35 : Mario Tebenghi, gnomonista d'altri tempi, la vita e le opere, *Mesturini Giorgio, Tonello Guido*. P. 43 : I Bonus digitali dei primi 20 numeri di Orologi Solari, *Redazione di Orologi Solari*. P. 46 : Una Meridiana a Riflessione nel Convento dei Frati Cappuccini

di Monterotondo (Roma), *Severino Nicola*.

RUBRICHE : p. 58 : Itinerari gnomonici. P. 64 : Rassegna riviste di gnomonica. P. 72 : Notizie gnomoniche. P ; 76 : Gnomonica nel web. P. 77 : Pubblicazioni. P. 78 : Quiz. P. 80 : Effemeridi.



SONNE + ZEIT n° 58, décembre 2019 (sur papier) du **Groupe de travail pour les cadrans solaires de l'OSTERREICHISCHE ASTRONOMICAL SOCIETY**

P. 4 — *Phebilabium*. Ein 500 Jahre alter mittelalterlicher Zeitmesser, Ratgeber und Wegweiser; *Armin Denoth, Kurt Descovich* und *Gerold Porsche*. P. 13 — *Eine Äquatorial-Sonnenuhr in Wiener Neustadt*. Der Autor hat eine schmiedeeiserne Sonnenuhr, die einem Umbau für die Nieder österreichische Landesausstellung zum Opfer gefallen war, wieder zu neuem Leben erweckt; *Wilhelm Weninger*. P. 14 — *Zum Nachdenken*. Oktober mit 32 Tagen, November mit 31?; *Kurt Descovich*. P. 14 — *Lösung der letzten Nachdenkaufgabe*. Die Frage war : Wann und wo ist es morgen doppelt so lange hell wie heute?; *Kurt Descovich*. P. 15. *Die gemeinsame DGC-GSA-Tagung in Passau*. Zur Jahrestagung fanden sich diesmal die deutsche und die österreichische Gruppe der Sonnenuhrfreunde in der Grenzstadt Passau ein. *Peter Lindner, Walter Hofmann* und *Kurt Oescovich*.

GSA-Jahrestagung 2020. „Der Kaiser ladet ein“, vom 25. bis 26. September 2020, im Hotel Royal Thermenhotel (***) superior in Bad Ischl, Oberösterreich). Organisation : *Peter Husty* und *Günter Brucker*. Einladung und Programm bekommen Sie zeitgerecht zugesandt.



Bulletin 2019.4, n° 131, décembre 2019 (sur papier) de la **Nederlandse Zonnewijzerkring** et de la **Zonnewijzerkring Vlaanderen**

Editorial, p. 3. From the NL Board – *Secretariat*, p. 4. Additions and corrections – *Editors*, p. 4. How to move a sundial from Egypt – *Frans Maes*, p. 5. Construction of sundials at "Het Rhedens" comprehensive school – *Hans Schipper*, p. 6. Sunshine where one wants it — using a heliostat – *Frans Maes*, p. 8. From local solar time to (atomic) clock time – *Willy Ory & Eric Daled*, p. 12. The sundials of W.6. ten Houte de Lange – part. 3. W.G. and the Zeiss Planetarium in The Hague – *Frans Maes*, p. 16. Analemmatic sundial using 'standard' paving stones – *Lou Güse*, p. 20. Puzzle : Eise Eisinga and the Duke of Parma – *Frans Maes*, p. 23. Report of the workshop "How to measure wall declination" – *Hans Schipper*, p. 24. Report of the meeting of 28 September in Tricht – *Karine van Drunen & Ruud Hooijenga*, p. 26. Report of the 25th AGM of the Flemish Sundial Society, 26 October in Kortrijk – *Eric Daled*, p. 28. Contents of this issue – *Editors*, p. 32. Table of equation of time and dedination for 2020 – *Thijs de Vries*, p. 32. Information on the Netherlands' and Flemish Sundial Societies, p. 35.



Bulletin 2020.1, n° 132, Mars 2020 (sur papier) de la **Nederlandse Zonnewijzerkring** et de la **Zonnewijzerkring Vlaanderen**

Bijeenkomsten, *Secretariaat*, p. 2. Voorwoord, *Redactie*, p. 3. Van het NL-bestuur, *Secretariaat*, p. 4. Kringleven 51° N, *Secretariaat*, p. 5. Pleidooi voor orde op zaken in de Europese tijd, *Willy Leenders*, p. 5. De zonnewijzers van W.G. ten Houte de Lange — Deel 4 : De zonnewijzer aan boord van het m.s. Oranje, *Frans Maes*, p. 7. Verticale zonnewijzer met twee poolstijlen, *André Reekmans*, p. 12. Helix-zonnewijzers, *Frans Maes*, p. 14. Gnomonica en filatelie — Deel 1 : De Benelux, *Eric Daled*, p. 18. De oude puzzel : Kerst in Maastricht, en de Paasdatum, *Frans Maes*, p. 22. De nieuwe puzzel : de Münchner heliostaat, *Frans Maes*, p. 26. Op vakantie gezien : Romeinse draagbare zonnewijzer, *Frans Maes*, p. 27. Verslag van de bijeenkomst op 25 januari in Tricht, *Ruud Hooijenga*, p. 28. Aanvullingen en verbeteringen, *Redactie*, p. 30. Jaarverslag 2019 van de Zonnewijzerkring, *John Souverijn*, p. 31. Toelichting bij de jaarstukken 2019-2020, *Peter de Groot*, p. 32. Contents of this issue, *Redactie*, p. 34.

↷ → Toutes les sociétés gnomoniques étrangères peuvent faire paraître des informations dans cette rubrique. ← ↶

This heading is open at every gnomonic society

Pour utilisation personnelle, des articles peuvent être numérisés et envoyés à nos membres par mails, téléchargement ou par courrier (prix de la page au tarif de la SAF + frais d'envoi suivant le poids.)

Réalisation : **Dominique Collin** (mise en forme & traitement L^AT_EX) et **Philippe Sauvageot**.

Informations arrêtées en avril 2020.

Liste des articles prévus pour Cadran Info n° 42 d'octobre 2020 :

- *Mario Tebenghi, gnomoniste d'autrefois, la vie et les oeuvres*, par Giorgio Mesturini.
- *Détermination de la déclinaison et de l'inclinaison d'un cadran* par Henri Gagnaire.
- *Cadran place Albert Guillestre (05)*, par Michel Lalos
- *Les cadrans solaires à réfraction* par Denis Savoie.
- *Un canonal du XXI^e siècle expertisé!* par Denis Schneider.
- *Un antique horologe, astronome, scribe (XIV^e siècle avant notre ère)*, par Jean Scordia.



Cadran Info est disponible par téléchargement (5€ adhérents, 7€ pour les non membres), sur CD (6€ / 8€). Frais d'envoi : CD 3,50€.

Commande à la SAF : 01.42.24.13.74, secretariat@saf-astronomie.fr

Site de la Commission des Cadrans Solaires

www.commission-cadrans-solaires.fr/

- Retrouvez la liste des 793 titres parus dans la revue Cadran Info (classement possible par type d'instrument, thème ...)
- Découvrez :
 - Des informations mises à jour en permanence.
 - Près de 4000 titres d'ouvrages anciens ou récents de gnomonique.
 - Des logiciels et/ou des méthodes pour réaliser votre cadran solaire.
 - Une présentation par vidéos des cadrans solaires.
 - Une formation en ligne à la gnomonique.
 - Les éphémérides.
 - Les info-mails.
 - Les statistiques des inventaires des cadrans solaires depuis 1984.
 - etc

CADRAN INFO

publié par la Commission des Cadrons Solaires (CCS) de la Société Astronomique de France (SAF) est une revue spécialisée dans l'étude et la présentation des instruments de mesure du temps tel que : les cadrans solaires, les astrolabes et nocturlabes.

CADRAN INFO regroupe la majorité des présentations faites lors des deux réunions annuelles de la CCS ainsi que des articles reçus en cours d'année. La revue est adressée gracieusement aux associations gnomoniques avec lesquelles nous sommes en relation en Allemagne, Angleterre, Autriche, Belgique, Canada, Espagne, Hollande, Italie, Japon, USA, Suisse.

CADRAN INFO est devenu au cours des années UNE référence en matière d'études, de techniques, de méthodes, pour certaines totalement inédites. La liste des articles publiés depuis l'origine est fournie sur demande.

CADRAN INFO paraît en mai et en octobre sous forme : papier (N&B ou en couleurs), numérique avec annexes en bonus (CD ou téléchargement).

Pour toute commande, abonnement. . . si vous êtes membre de la CCS contacter Ph. Sauvageot sinon adressez-vous au secrétariat de la SAF :

secretariat@saf-astronomie.fr

Ph. Sauvageot

Président de la commission des cadrans solaires

- ◆ Les articles sont présentés par ordre alphabétique des auteurs (ou en fonction de la composition du bulletin). Le contenu est sous la responsabilité de l'auteur.
- ◆ Les auteurs qui souhaiteraient que leurs articles soient réservés exclusivement aux revues *L'Astronomie* ou *Observations & Travaux* devront le préciser dans leur envoi.
- ◆ Les auteurs doivent obligatoirement indiquer leurs sources ou références si le sujet a déjà fait l'objet d'articles ou de communications récents.
- ◆ Toute reproduction totale ou partielle des présents articles ne peut se faire qu'avec l'accord des auteurs.
- ◆ Les articles, documents, photos. . . ne sont pas retournés après publication.
- ◆ Les articles³ sont à envoyer à Ph. Sauvageot par mail ou sur CD-Rom/DVD PC (sous format : .doc, .docx, .odt, Excel *ET* sous PDF), éventuellement sur papier.

3. Police : « **Times New Roman** », taille : 12, interligne : simple, marges : 2,5 cm avec en-tête et pied de page. Pour les formules ne pas utiliser « symbole » mais insertion « caractères spéciaux » sous Times New Roman.

-
- SAF : Société Astronomique de France, 124
- ACC : Astro Club du Calaisis, 133
- BSS : British Sundial Society, 187
- CCS : Commission des Cadrons Solaires, 119, 123, 130
- CLEA : Comité de Liaison Enseignant Astronome, 205
- GPS : Global Positioning System, 54
- GSA : Gnomonicae Societas Austriaca, 214
- IGN : Institut Géographique de National, 109
- IMCCE : Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides, 131
- MOOC : Massive Open Online Course, 128
- SAT : Société Astronomique de Touraine, 44, 52
- USB : Universal Serial Bus, 55
- ASSP : Association Sciences en Seine et Patrimoine, 204
- Almucantarats, 23
- Ansel, Jean-michel, 80
- Astrolabe
- de Gemma Frisius, 20–38
 - de la Hire, 23
 - de Rojas, 23
 - planisphérique, 20
 - universel, 20
- Berçu, Jean-Claude, 210
- Berthon, André, 41
- Bion, Nicolas (1652–1733), 20–38
- Blateyron, François, 32, 50, 125, 131, 147
- Bocqueraz, François, 213
- Bonnin, Jérôme, 99, 166
- Bordes, Guillaume des, 158
- Boussole solaire, *voir* Compas solaire
- Boyer, Régis, 191
- Bullant, Jean (1515?–1578), 90, 100, 102
- Burt, William Austin, 184
- Busto, César, 131
- Cadran solaire
- à Streptogramme horophile, 50
 - Analemmatique, 50, 110, 183
 - Anneau astronomique, 69
 - Antique, 166–179
 - Cadran d’Apian, 69
 - Cadran d’azimut, 184
 - Cadran de Berger, 69
 - Cadran de Berger plan, 63
 - Cadran de hauteur, 60–71
 - Cadran de Jamnitzer, 60, 61, 65, 69
 - Cadran de Régiomontanus, 69
 - Capucin de Saint-Rigaud, 69
 - Chartreuse du Reposoir (Haute Savoie, 2017), 130
 - Coniques, 172
 - de Hauteur cylindrique, 178
 - de la cathédrale de Ratisbonne (1487), 69
 - Horizontal, 110, 174
 - Navicula, 159
 - Nocturlabe, 99, 100
 - Portable à double limbe, 158–165
 - Quadrant, 69
 - Scaphé, 98
 - Scaphée de Carthage, 171
 - Sphérique
 - à œilleton zénithal, 171
 - à gnomon central, 168
 - à gnomon non central, 171
 - Vertical, 51, 176
 - Vertical type *Pellicinum*, 178
- Calendrier
- Grégorien, 73
 - Julien, 74
- Cambefort, Pierre-Louis, 212
- Causeret, Pierre, 110, 183
- Cercle
- d’azimut, 23
 - de hauteur, *voir* Almucantarats
 - hindous, 111, 123
- Clavius, Christophorus (1538–1612), 82, 84
- Collin, Dominique, 19, 68, 115, 117, 119
- Compas à verge, 23
- Compas solaire, 184
- Armstead, 184
 - Bagnold, 184
 - Cole, 184
- Cowham, Mike, 187
- Cyriaque d’Ancône (1392?–1452), 99
- Dallet, Pierre-Joseph, 120
- Déclinaison
- du Soleil, 59, 111, 113, 115, 118, 124, 129
 - gnomonique, 106–142, 176
 - magnétique, 108, 109, 126
- Descovich, Kurt, 214
- Doucet, Michel (SAT), 44
- Drummel, Pierre, 133
- Dubreuil Chambardel, Louis (1879–1927), 42, 44
- Dutarte, Philippe, 87
- Écliptique, 23, 31, 36, 38
- Équation
- du Centre, 72
 - du Temps, 52, 57, 61, 71, 72, 119, 147
- Ératosthène, 204, 206
- Fantoni, Girolamo, 159
- Fine, Oronce (1494–1555), 81–105, 158–160
- Folkard, Margaret, 187
- Fort, Jean, 156
- Frisius, Gemma (1508–1555), 20–38
- Fuseaux horaires, 155
- Gagnaire, Henri, 123, 218
- Gagnaire, Paul, 125, 212
- Gahon, Claude, 195–198, 200, 201
- Gavet, Jean-Claude, 179
- Gazin, Jean-François, 191
- Gnomon, 184, 185
- Gunella, Alessandro, 160
- Hans Holbein le Jeune (1497–1543), 159
- Hauguel, Véronique, 203
- Herjólfsson, Bjarni, 191
- Heure
- équinoxiale, 176
 - légale, 184
 - sidérale, 54, 58, 59

- solaire locale moyenne, [57](#)
solaire vraie locale, [57](#), [184](#)
temporaire, [66](#), [174](#)
Hire, Philippe de la (1640–1718), [21](#)
- Jamnitzer, Wenzel (1507–1585), [60](#)
Jour Julien, [57](#), [59](#)
- Karney, Kevin, [72](#)
Knox-Johnston, Robin, [187](#)
Königsberg, Johannes Müller von (1436–1476), [99](#)
- Labrosse, Gérard, [120](#), [121](#)
Lalos, Michel, [125](#), [131](#), [218](#)
Langlet, Philippe, [122](#)
Latitude, [152](#)
Llyod, Steven A., [158](#)
Logiciels
Gimp, [137](#)
Paint, [137](#)
Shadows, [147](#)
Calcad, [125](#), [132](#)
DraftSight, [32](#)
Excel, [122](#), [125](#), [129](#), [135](#)
GeoGebra, [32](#), [135](#), [137](#)
Gnomic-Photo, [65](#), [124](#), [131](#)
Graphic Converter, [127](#)
LunaSolCal, [131](#)
ParCad, [208](#), [209](#)
RedPer, [208](#), [209](#)
Shadows Pro, [40](#), [44](#), [50](#)
Shadows, [32](#), [117](#), [125](#), [126](#)
Sol Et Umbra, [131](#)
Solar Info, [112](#), [131](#)
Stellarium, [131](#)
TpSol, [131](#)
eCdT, [135](#)
- Longitude, [152](#)
- Münster, Sébastian (1488–1552), [81](#), [82](#),
[84](#), [86](#), [87](#), [94](#), [98–100](#), [102](#)
- Magat, Michel, [40](#)
Malassiné, Serge, [126](#)
Marchal, André, [212](#)
Massé, Yvon, [132](#), [209](#)
May, W. E., [186](#)
Mazziotti, Tony, [120](#)
Meeus, Jean, [74](#), [129](#)
Mercier, Éric, [126](#)
Méridien, [23](#), [30](#), [152](#)
Méridienne
de Rouen, [203](#)
Mesme, Jean-Pierre de, [158](#)
Mesturini, Giorgio, [218](#)
- Méthode des bissectrices, *voir* cercles hindous
- Musée
de Copenhague, [187](#)
de l'Alhambra (Grenade), [189](#)
de la vie Wallone, [63](#)
de Skogar (Islande), [189](#)
des sciences de Florence, [165](#)
Galileo, Florence, [159](#)
National Maritime Museum (Greenwich), [186](#)
- Nielbock, Markus, [192](#)
Nunes, Pedro (1502–1578), [81–84](#), [89–91](#),
[99](#), [102](#)
- Obliquité de l'écliptique, [73](#), [74](#), [161](#),
[167–169](#), [172](#)
- Observatoire
de Tauxigny (SAT), [39](#)
Éilleton, [203](#)
- Ombres solaires égales, *voir* cercle hindous
- Oughtred, William (1574–1660), [98](#)
- Pakhomoff, Jean, [131](#)
Peurbach, Georg von (1423–1461) (ou aussi Peuerbach), [83](#), [95](#)
Pillault, Henry Nicolas (Abbé) (1756–1832), [42](#), [44](#), [46](#)
Protomathesis, [81–105](#)
- Ramskoury, Thorkild, [188](#)
Regiomontanus, *voir* Johannes Müller von Königsberg
- Revue
BBS, vol. 31 : n° 4, [214](#)
BBS, vol. 32 : n° I, [215](#)
Cadran Info, n° 32, [48](#)
Cadran Info, n° 39, [116](#)
Cadran Info, n° 40, [137](#)
Gnomonica Italiana, VII, n° 22, [2010](#), [160](#)
L'Astronomie, n° 102, [116](#)
La Busca de Paper, n° 94, [215](#)
Orologi Solari, n° 20, [216](#)
Revue d'Achéométrie, [171](#)
Sonne+Zeit, n° 58, [216](#)
The Compendium, vol. 26 : n° 4, [215](#)
The Compendium, vol. 27 : n° 1, [216](#)
Zon & Tijd, 2019.4 : n° 131, [217](#)
Zon & Tijd, 2020.1 : n° 132, [217](#)
Astrociel, n° 23, n° 24, 1989, [50](#)
Astronomie en Touraine et Centre-Ouest, [50](#)
- Cadran Info, n° 10, [121](#), [122](#)
Cadran Info, n° 1, [119](#)
Cadran Info, n° 27, [123](#)
Cadran Info, n° 31, [121](#), [192](#)
Cadran Info, n° 32, [58](#), [122](#)
Cadran Info, n° 36, [65](#)
Cadran Info, n° 39, [106](#), [129](#)
Cadran Info, n° 6, [119](#), [120](#)
Cadran Info, n° 7, [119](#)
Cadran Info, n° 9, [120](#)
Pour La Science, Juillet 1981, [50](#)
Pour La Science, février 1981, [50](#)
- Robic, Joël, [128](#), [131](#), [198](#)
Rocher, Patrick, [74](#)
Roslund, Curt, [186](#)
Rouge, Érik le, [191](#)
- Sacrobosco, Joannes de (1195–1256?), [83](#)
Sagot, Robert (1910–2006), [116](#), [133](#)
Savoie, Denis, [66](#), [78](#), [108](#), [111–114](#), [116](#),
[119](#), [124](#), [130](#), [218](#)
Schneider, Denis, [218](#)
Scordia, Jean, [218](#)
Solver, Carl V., [186](#)
Spath d'Islande, [188](#)
Stöffler, Johannes (1452–1531), [158](#)
Steiner, Michel, [213](#)
Sun compass, *voir* Compas solaire
Swarzinger, Karl (†), [214](#)
- Temps
GMT, [155](#)
civil, [154](#)
des éphémérides (TE), [155](#)
solaire moyen, [154](#)
universel, [71](#), [155](#)
Thirslund, Søren, [187](#)
Torrenti, Roger, [128](#), [213](#)
- Ugon, Michel, [123](#)
- Vebæk, Christen Leif, [186](#)
Vercasson, Michel, [122](#)
Vieira, Jorge, [197](#)
Vincent, Gilbert, [129](#)
Volckmer, Tobias (1586–1659), [159](#), [165](#)
- Walker, Jearl, [50](#)
Ward, John, [187](#)
Willemart, [209](#)
- Zénith, [207](#)
Zodiaque, [160](#)



Photo fournie par D. Savoie

Cadran solaire trouvé à Delos (Grèce)