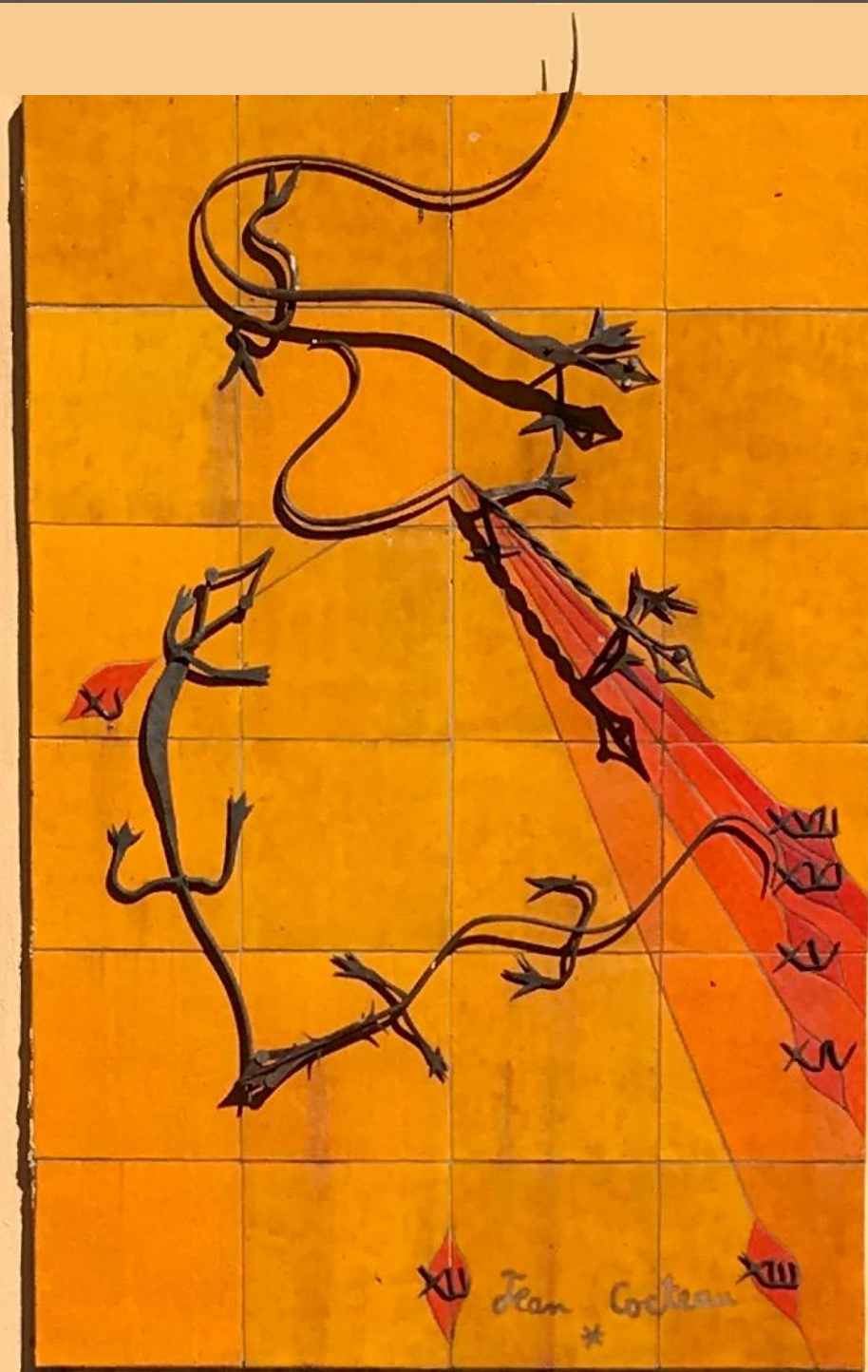
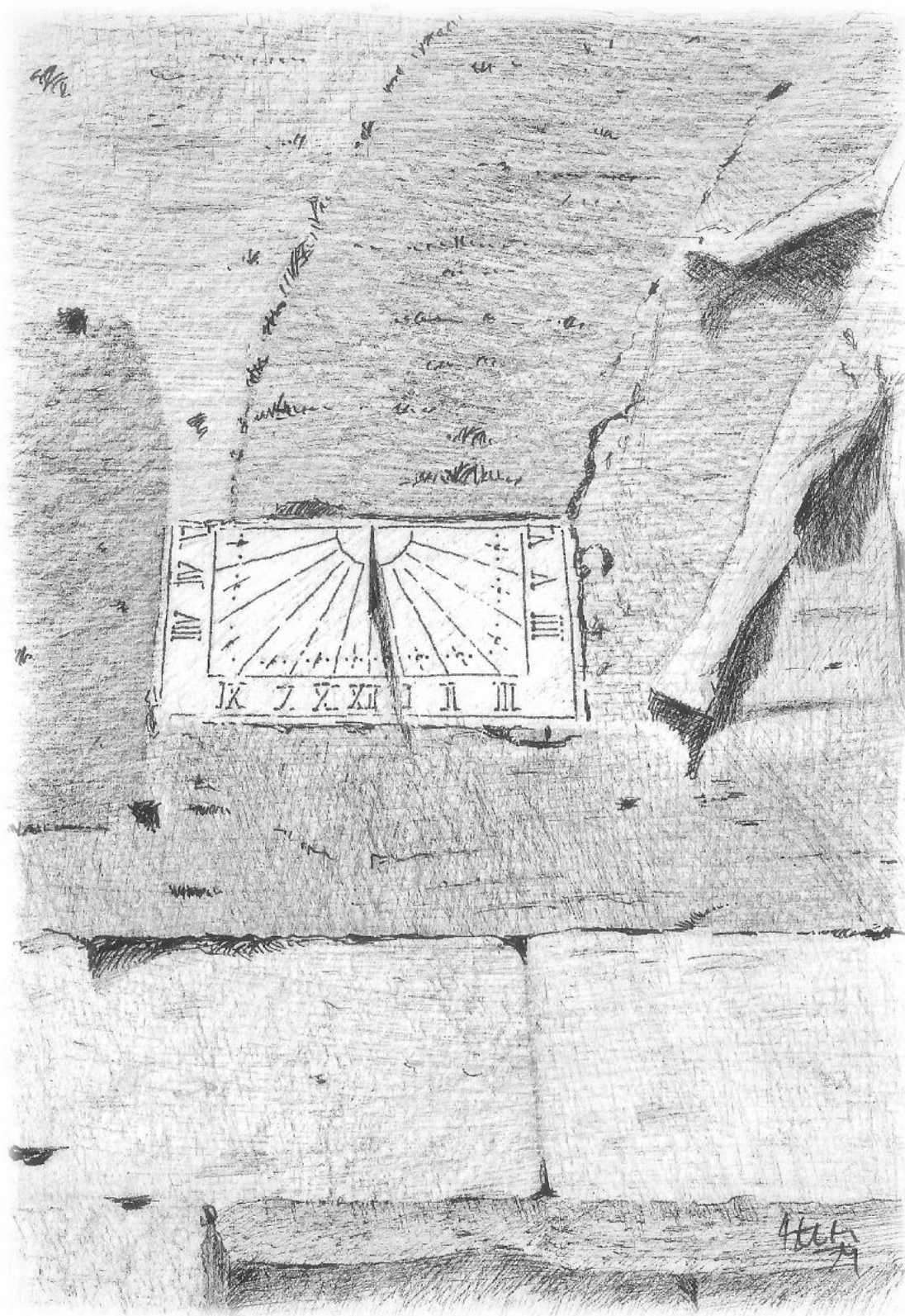


CADRANS SOLAIRES POUR TOUS

Magazine trimestriel - n°21 - Automne 2026 - 15€





COUVERTURE - Un des nombreux cadrans solaires que l'on peut admirer à Coaraze, village médiéval fortifié de l'arrière-pays niçois. Celui-ci, intitulé « Les lézards », est un cadran vertical très déclinant du soir conçu par Jean Cocteau, ornant une façade de la mairie.

CI-DESSUS - Dessin d'Esteban Martínez extrait de son ouvrage « Cadrans solaires historiques - Trésors andalous oubliés » (<https://relojandalusi.org/relojes-de-sol-historicos/>)



SOMMAIRE

4	Contents
5	Éditorial
6	Actualités
8	Le Papophoplon - Christophe Marion
10	Cadran solaire de Leidsche Rijn - Hendrik Hollander
12	Éclairement d'un cadran solaire - Henri Gagnaire
14	Le cadran solaire de la chapelle du Pénity - Jean-Paul Cornec
16	Calcul de la durée du jour - Pierre-Louis Cambefort
18	Le cadran solaire de « l'ancienne villa chinoise » - Maria Luisa Tuscano
20	Réglage d'une horloge astrolabe Hour Lavigne - Jean Pakhomoff
22	Trouver la latitude et la longitude avec un théodolite - Yves Opizzo
24	Là où les lignes des prières Isha et Fajr se croisent - Ferdinando Roveda
26	Gnomonique pour tous - Roger Torrenti
28	Voyage en cartes postales - Alix Loiseleur des Longchamps
30	Pourquoi le Soleil brille ? - Patrice Poyet
32	Faire parler des pierres... Du destin d'un cadran solaire - Roland Müller
34	La trigonométrie sphérique (3) - Yvon Massé
38	L'analemme universel de Ferguson, une maquette astronomique - David Alberto
42	Jeux et énigmes
44	Solutions des jeux et énigmes
46	Moulin Rouge - Claude Gahon
47	Crédits photos et illustrations

Ci-DESSUS - Les anciennes civilisations ont pour la plupart porté un culte au Soleil. Sur cette pièce de monnaie romaine, l'empereur Aurélien est représenté aux côtés de la divinité « Sol invictus ». Dans la Rome polythéiste du III^e siècle, Aurélien instaure en effet, à la fin de son règne, un nouveau culte, celui de Sol invictus (Soleil invaincu), célébrant la victoire, jour après jour, du Soleil sur les ténèbres. Le 25 décembre, considéré alors comme le jour du solstice d'hiver (où le Soleil, invaincu, recommence à s'élever dans le ciel...) sera désormais une fête religieuse, l'empereur Constantin, au IV^e siècle, instaurant même un jour de repos hebdomadaire, le « jour du Soleil » (d'où Sunday en anglais, Sonntag en allemand par exemple). Au V^e siècle, les Chrétiens feront du 25 décembre le jour de la naissance de Jésus, et du jour du Soleil le « jour du Seigneur » (d'où Dimanche en français, Domenica en italien ou Domingo en espagnol par exemple).

CONTENTS

5	Editorial
6	News
8	The Papophoplon - Christophe Marion <i>At the latest Concours Lépine, Christophe Marion's Papophoplon just won a silver medal, a rare award for a gnomonic tool. We thank its creator for presenting his invention to our readers in more detail.</i>
10	Leidsche Rijn Sundial - Henrik Hollander <i>Dutch sundial maker Henrik Hollander has kindly shared with the readers of this magazine the story of the creation of a sundial, made in collaboration with the artist Stefan van den Heuvel. A type of collaboration that can serve as an example.</i>
12	Illumination of a Sundial - Henri Gagnaire <i>A bit of vector geometry, accessible to all, which the author uses to calculate the illumination of a sundial, will allow those who wish to include only useful time markers to refine the design of their sundial.</i>
14	The Sundial of the Pénity Chapel - Jean-Paul Cornec <i>In an article published in 2023, Jean-Paul Cornec and Pierre Labat Ségalen took us on a journey to discover the sundials of Brittany. But in 2025, a new and quite intriguing sundial was discovered in the Pénity Chapel in Locronan (Finistère)...</i>
16	Calculating the Length of the Day - Pierre-Louis Cambefort <i>What is the length of the day? This question has already been addressed in several articles in this magazine, but Pierre-Louis Cambefort has chosen to revisit it here and answer it using formulas familiar to advanced gnomonists...</i>
18	The Sundial in the ancient Chinese villa... - Maria Luisa Tuscano <i>Today, Maria Luisa Tuscano takes us to discover "the ancient Chinese villa" steeped in history in Palermo, Sicily, a city she knows so well. This building houses a sundial that has yet to reveal all its secrets...</i>
20	Adjusting an Hour Lavigne Astrolabe Clock - Jean Pakhomoff <i>If you purchase an astrolabe clock and wish to extend the validity of its accompanying instruction manual, the author offers a computer program... If not, most readers will likely learn a great deal about celestial movements by reading this article!</i>
22	Finding Latitude and Longitude with a Theodolite - Yves Opizzo <i>Yves Opizzo has already discussed, in various articles in this magazine, how to use a theodolite in the field of gnomonics. Today, he explains how to use it to accurately determine the latitude and longitude of a location.</i>
24	Where the Isha and Fajr Prayer Lines Intersect - Ferdinando Roveda <i>Are you familiar with Islamic sundials, also called "prayer sundials"? When an advanced gnomonist notices a curious feature on dial, he will tirelessly study it closely to better understand it... This is precisely the kind of study the author undertakes.</i>
26	Gnomonics for all - Roger Torrenti <i>The author, firmly convinced that gnomonics can and should be accessible to all, will soon release a book, "Gnomonics for all", the first chapter of which is reproduced in this article.</i>
28	A Journey Through Postcards - Alix Loiseleur des Longchamps <i>In the previous issue, the author took us on a journey across France "in the days of the PTT." Today, she continues her "journey through postcards," heading further east to Central Europe—and specifically to Germany.</i>
30	Why does the Sun shine? - Patrice Poyet <i>Ever since humanity began gazing at the sky, the Sun has been one of nature's greatest mysteries and, until the early 20th century, no one could answer the fundamental question: where does its tremendous radiated energy come from?</i>
32	Making stones speak... - Roland Müller <i>The author discovered a unique stone in the tower of the Church of Saint Martin in Sindelfingen and conducted a meticulous investigation. He presents the findings here.</i>
34	Spherical trigonometry (3) - Yvon Massé <i>Here is the third and final part of the "Introduction to spherical trigonometry" that the author has kindly prepared for the magazine's readers. It is somewhat challenging, yet fascinating and highly useful!</i>
38	Ferguson's Universal Analemma: An Astronomical Model - David Alberto <i>The author introduces us to a double astronomical instrument designed in the mid-17th century, explains its detailed operation, and presents the model he built of this instrument, inviting the reader to download the file to realize it.</i>
42	Games and Puzzles
44	Solutions to Games and Puzzles
46	Moulin Rouge - Claude Gahon
47	Photo and illustration credits

ÉDITORIAL

Ce numéro est plus épais qu'aucun numéro de *Cadrans solaires pour tous* paru à ce jour car nous avons la chance que de plus en plus d'autrices et d'auteurs nous confient leurs articles.

C'est donc un nouvel ensemble d'articles variés, tant au niveau des sujets qu'à celui des contenus, que nous vous proposons ici, et nous espérons que chacun de vous, du simple curieux ou amateur aux gnomonistes confirmés, puisse ainsi trouver des articles qui correspondent à ses attentes.

N'hésitez pas à nous écrire pour proposer des articles ou faire part de remarques et suggestions nous permettant de bâtir de prochains numéros encore plus près de vos attentes.

Roger Torrenti
Responsable éditorial

EDITORIAL

This issue is thicker than any previous issue of *Cadrans solaires pour tous* (Sundials for all), thanks to the growing number of authors who are submitting their articles and whom we thank most sincerely.

We are therefore very pleased to offer you, with this issue, a new collection of diverse articles, both in terms of subject matter and content. We thus hope that everyone, from the simply curious to the professional gnomonist, will thus find articles of interest to her / him.

Please feel free to contact us with article suggestions or with comments and suggestions that will help us create future issues that would be even closer to your expectations.

Roger Torrenti
Editorial manager

COMITÉ ÉDITORIAL - EDITORIAL BOARD

contact@cadrans-solaires.info



David Alberto



Jean-Luc Astre



Pierre-Louis Cambefort



Henri Gagnaire



Claude Gahon



Alix Loiseleur
des Longchamps



Yvon Massé



Yves Opizzo



Francis Reymann



Roger Torrenti



Marisa Tuscano

ACTUALITÉS



UN PODCAST

Les podcasts de France Culture constituent une mine de savoir de qualité que l'on a toujours plaisir à explorer. En avril dernier, la collection de podcasts de cette radio s'est enrichie d'un podcast¹ intitulé « Cadrans solaires : Denis Savoie, son œuvre » dans lequel Denis Savoie, l'un des spécialistes les plus éminents de la gnomonique et des cadrans solaires, partage avec brio et clarté ses connaissances dans le domaine.

À écouter sans modération !

¹ <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/la-science-cqfd/cadrans-solaires-denis-savoie-son-oeuvre-5005971>



UNE MÉRIDienne MONUMENTALE

Une méridienne monumentale (13 m de haut, 3,5 m de large) a été inaugurée le 3 juillet dernier sur le site de l'Université Paris Cité, sur le campus des Grands Moulins (esplanade Pierre-Vidal Naquet, Paris 13^e)². Associant des entreprises spécialisées (Multiplast pour la structure en fibre de carbone supportant l'œilleton, cabinet d'architecture Le Moal) et calculée par Denis Savoie (voir l'actualité précédente), elle indique le midi solaire local comme il se doit (ainsi que 12 h 30 et 13 h 30 heure solaire), mais également le midi solaire TU (temps solaire moyen au niveau du méridien de Greenwich), lu sur une courbe en huit. Pour plus de détails, voir les liens ci-après.

² <https://u-paris.fr/meridienne/>

³ <https://www.youtube.com/watch?v=t4sH8lbJabl>



UN CADRAN EN PAPIER

Pour petits et grands !

Fabio Savian propose sur son riche site⁴ de réaliser en quelques clics des cadrans solaires en papier, dont l'un, que l'on peut fixer à sa fenêtre, rend hommage à l'événement annuel World Sundial Day⁵ (WSD). Le logo de l'événement peut être remplacé par toute autre image de votre choix !

⁴ <https://www.world-atlas.net/atlas.php?cmbm=8&subm=3>

⁵ <https://tempus-sol.eu/wsd/>



UNE EXPO

Le Musée d'histoire des sciences de Genève (Suisse) présente, jusqu'au 11 avril 2027, une exposition⁶ intitulée « À l'ombre des découvertes » consacrée au rôle que les ombres ont joué dans les grandes découvertes scientifiques et dans l'histoire des sciences en général. Elle invite petits et grands, par l'observation, l'expérience, la manipulation et des jeux interactifs, à « mieux comprendre le monde ». Une exposition à ne pas manquer si vous passez par la belle ville de Genève, où l'industrie horlogère s'est développée dès le milieu du XVI^e siècle.

⁶ <https://www.loisirs.ch/agenda/expo-a-l-ombre-des-decouvertes-ge/>





ACTUALITÉS

UN RESTAURANT PARTICULIER...



On peut bien entendu, à partir de la connaissance du mouvement apparent du Soleil dans le ciel au cours d'une journée et d'une année, concevoir un cadran solaire. Mais cette connaissance peut aussi inspirer la création d'espaces de vie... C'est ce qu'a fait, avec son « Solstice culinary space¹ » (espace culinaire solstice) la réputée agence d'architecture norvégienne Snøhetta, à la demande du restaurant Solstice² établi à Hong Kong (340 m² répartis en 3 espaces distincts), afin d'en faire « un voyage à travers le temps, symbolisant les rythmes de la nature et célébrant la transformation sous toutes ses formes ».

¹ <https://www.snohetta.com/projects/solstice-culinary-space>

² <https://www.solsticehongkong.com>

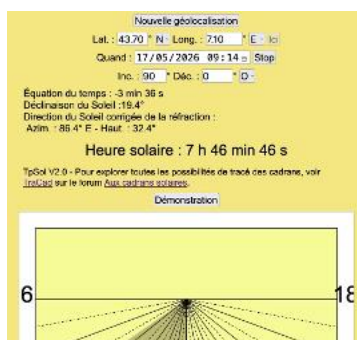
UNE BASE D'INFORMATIONS GRATUITE...



Avez-vous déjà téléchargé³ la compilation de tous les numéros du magazine parus à ce jour, mise à votre disposition ? Un document qui pourra s'avérer bien utile si vous cherchez des informations sur un cadran solaire donné, un type de cadran solaire, un phénomène particulier, une démonstration gnomonique, un gnomoniste ou un cadranier, etc. Vous trouverez probablement (avec l'outil recherche d'Acrobat) la réponse dans les 700 pages de ce document !

³ <https://gnomonique.fr/divers/mag-CSpour-tous-compil.pdf>

TPSOL EN LIGNE



Initialement conçue par Yvon Massé comme une application Android pour téléphone mobile, TpSol est désormais disponible en ligne⁴. Elle donne instantanément (reconnaissant la latitude et la longitude de l'utilisateur) l'heure solaire, l'équation du temps, ainsi que la déclinaison, l'azimut et la hauteur du Soleil. Un cadran vertical méridional (sur la base des paramètres ci-dessus) est automatiquement proposé. Une démonstration invite à découvrir les possibilités (types de cadran et de tracé, orientation et inclinaison, etc.) de l'outil en ligne TraCad⁵, également développé par Yvon Massé.

⁴ <https://gnomonique.fr/forum/viewtopic.php?p=1120#p1120>

⁵ <https://gnomonique.fr/forum/viewtopic.php?t=151>

8 HEURES DE TRAVAIL PAR JOUR...



Un cadran solaire mémoriel, monumental, est en cours d'installation à Melbourne (Australie)⁶. Il a été conçu par l'artiste canadienne Jill Anholt et rend hommage aux travailleurs morts au travail. De conception tubulaire équatoriale, il comporte 8 fentes (8 heures de travail par jour) par lesquelles le Soleil éclaire l'intérieur du tube.

⁶ <https://www.melbourne.vic.gov.au/memorial-to-workers-commission>

Au dernier Concours Lépine <https://www.concours-lepine.com>, le « Papophoplon » de Christophe Marion vient d'obtenir une médaille d'argent, récompense peu fréquente pour un outil gnomonique. Nous remercions son auteur de présenter à nos lecteurs son invention en détail.

Beaucoup de gens passent devant les cadrans solaires sans les voir...

Les plus intéressés regardent le cadran, lisent l'heure et consultent immédiatement leur montre ou leur smartphone, et, bien sûr, « ça ne marche pas ». Certains savent bien qu'il faut ajouter une heure en hiver et deux heures en été (« à moins que ce soit le contraire ? ») et essaient de faire la correction, mais « ça ne marche toujours pas »... Les réactions devant cette situation sont toutes néfastes aux cadrans solaires : soit les gens se disent que les cadrans solaires ne sont pas précis, voire ne servent à rien, soit que tout cela est trop compliqué pour eux.

Les gnomonistes, eux, savent bien pourquoi « ça ne marche pas ». Ils ont tenté plusieurs stratégies pour y remédier. On peut faire en sorte que le cadran donne l'heure légale, mais le cadran perd alors de sa simplicité : double graduation, courbes en huit, etc. Mais surtout, le cadran perd l'heure solaire, un comble ! Autre stratégie, également imparfaite : accompagner le cadran d'un texte explicatif et de données permettant au public de faire lui-même les corrections nécessaires. Mais qui lit les panneaux explicatifs ? Et surtout, qui sait faire de tête des additions et des soustractions dans un mélange de base duodécimale et de base sexagésimale ?

Pour illustrer ce point, nous avons repéré à La Ciotat¹ un bel exemple de table de calcul comprenant une erreur que personne ne semble avoir relevée, preuve que personne n'a lu la table et tenté de faire les calculs, ou que personne n'a réussi !

Pour réconcilier heure solaire et heure légale, nous proposons une approche différente : un instrument qui ne nécessite aucune connaissance gnomonique et une seule addition.

Le Papophoplon est tout simplement une table de passage de l'heure solaire à heure légale, pour tous les jours de l'année, présentée en coordonnées polaires. L'utilisateur n'a qu'à

tourner « l'ostenseur » pour le positionner sur la date du jour pour y lire l'ajustement.

L'instrument est donc d'une extrême simplicité, ce qui le rend très facile à utiliser sans mode d'emploi. De plus, il fait intervenir un sens supplémentaire : le toucher. Jusque-là, le cadran solaire est un instrument que l'on ne « touche que des yeux », ce qui le rend assez distant. Or, il faut toucher le Papophoplon et faire tourner l'ostenseur pour l'utiliser. Manipuler est une façon fondamentale de s'approprier le monde et, pour beaucoup de personnes, sans toucher, difficile de bien comprendre².

Ainsi le Papophoplon peut participer à une meilleure compréhension de la science gnomonique : (1) en permettant au grand public de constater que les cadrans solaires « marchent » et sont précis, et (2) en donnant à ceux qui le souhaitent les moyens d'en savoir plus.

En effet, notre expérience de présentation de l'instrument au grand public permet de constater que ceux qui l'ont utilisé se posent des questions sur les trois ajustements qui permettent de passer de l'heure solaire à l'heure légale.

La plupart des gens ont bien connaissance de l'application de l'heure d'été. Une majorité est consciente qu'il y a un décalage horaire au sein même de la France métropolitaine : presque tout le monde a déjà appelé des amis en Bretagne, qui n'ont pas manqué de signaler qu'« ici, il fait encore jour », alors que leurs interlocuteurs sont déjà plongés dans la nuit.

Cependant, parmi ceux qui ont fait cette expérience, tous n'ont pas nécessairement compris les détails de l'ajustement de longitude et sont heureux de le voir mis en évidence sur le Papophoplon.

Enfin, et sans surprise, très peu ont connaissance de l'équation du temps, elle aussi rendue bien visible sur l'instrument. Directe conséquence de l'obliquité et de l'excentricité de l'orbite terrestre, elle permet d'aborder des notions fondamentales d'astronomie.

¹ Voir Cadran Info n°53 (<https://ccs.saf-astronomie.fr/cadran-info/>).

² Modèle de communication VAKO (Visuel, Auditif, Kinesthésique, Olfactif)

Ainsi, l'installation de Papophoplon près des cadrans solaires accessibles au public pourrait jouer un rôle dans la valorisation de l'exceptionnel patrimoine que constituent les 40 000 cadrans solaires installés en France et dans la diffusion de connaissances astronomiques.

Le Papophoplon est local, tout comme l'heure solaire. Pour les Papophoplon fixes, accompagnant les cadrans exposés au public, ce n'est pas un problème. Pour la version « mobile », il y a deux solutions. La version en bois résout le point comme décrit dans l'image ci-dessous.

La version électronique, quant à elle, permet de paramétrer son Papophoplon pour tous les lieux de la Terre, y compris les régions n'appliquant pas l'heure d'été ou l'appliquant à des dates différentes.

Espérons que la médaille d'argent obtenue au concours Lépine 2026 aide à installer le Papophoplon partout !

Diplômé d'HEC et d'expertise comptable, Christophe Marion (christophe@lecadranier.fr) a fait carrière dans la finance à l'international, tout en suivant plusieurs formations de l'Observatoire de Paris (DUECU, DUSU, DULU). Il s'adonne désormais à sa passion pour la gnomonique (<https://lecadranier.com/>).



Papophoplon (recto)

L'ostenseur permet de lire l'ajustement correspondant à chaque jour de l'année.

Cet exemplaire est réalisé en bois et calculé pour la longitude de Paris.

Papophoplon (verso)

La carte de France, graduée de 5 minutes en 5 minutes, permet de trouver l'ajustement supplémentaire à pratiquer, si l'instrument est utilisé ailleurs qu'à Paris.



CADRAN SOLAIRE DE LEIDSCHÉ RIJN

Hendrik Hollander

Le cadranier néerlandais Henrik Hollander a bien voulu partager avec les lecteurs de ce magazine l'histoire de la création d'un cadran solaire près d'Utrecht, réalisé en collaboration avec l'artiste Stefan van den Heuvel. Un type de collaboration qui peut servir d'exemple !

De temps en temps, j'entre en contact avec des artistes intéressés par les cadrans solaires. J'apprécie toujours ce genre de collaborations car les artistes ont un regard légèrement différent sur le sujet et créent de beaux objets. Ma tâche consiste alors à m'assurer que le résultat final est un cadran solaire fonctionnel, du moins si c'est l'intention du projet. Par exemple, j'ai précédemment collaboré avec Guido Geelen (*Rond-point au cadran solaire de Heesch*) et Katja Mater (*Cadran solaire explosé de Bruxelles*). Cette fois-ci, j'ai été contacté par De Strakke Hand (<https://destrakkehand.nl/>), un groupe de peintres talentueux qui créent des œuvres murales imposantes sur des bâtiments.

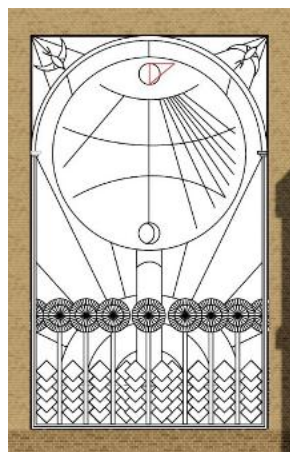
IDÉES INITIALES, ÉTÉ 2021

L'un des designers de De Strakke Hand est Stefan van den Heuvel, qui m'a fait part de ses idées. Le mur qu'il avait repéré, qui mesure approximativement 5 m x 8 m, est orienté ouest-sud-ouest, ce qui signifie qu'un cadran solaire affichera davantage d'heures de l'après-midi que d'heures matinales. Le dessin de De Strakke Hand en rend compte avec précision ; les lignes saisonnières de ce dessin ressemblent davantage à celles d'un cadran méridional, mais l'idée est intéressante et précise.

Pour avoir une bonne appréciation de la situation sur place, je me suis rendu à Leidsche Rijn - le cadran solaire prévu étant situé à Romeinse Muntenlaan près d'Utrecht. C'est plus précisément à l'endroit où l'on entre dans le tunnel sur l'A2 du sud vers le nord, à droite du tunnel. En arrivant à Romeinse Muntenlaan, il s'est avéré malheureusement que Google Maps disait vrai : rien n'avait encore été construit. Cependant, j'ai mesuré sur place l'orientation de la future rue.

En suivant ces constatations initiales, j'ai créé la maquette d'un cadran circulaire qui pourrait fonctionner sur le bâtiment prévu. Stefan van den Heuvel et moi avons discuté de cette maquette autour d'une tasse de thé. Au cours de ces conversations exploratoires, nous avons également discuté de la position des lignes saisonnières, de l'orientation du style et de diverses possibilités de systèmes de temps.

Le design laissait de la place pour un cadran circulaire de diamètre conséquent. La disponibilité de cette vaste zone circulaire offre de plus une marge de manœuvre considérable pour mettre en forme le reste du dessin.



Vue aérienne du site

Projet initial du designer
Stefan van den Heuvel

DESSINS ULTÉRIEURS - DÉBUT 2024

Bien souvent, ces conversations sont suivies d'une phase plus calme du projet, et ce ne fut pas une exception ici. La totalité du quartier devait encore être construite, et le projet pouvait être développé sans mon intervention. En janvier 2024, Stefan reprit contact, quand le mur du cadran solaire devint disponible.

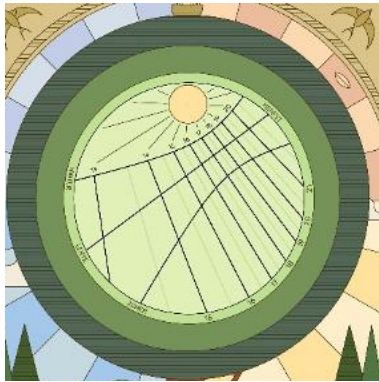
Une seconde tentative de mesure de l'orientation du mur se passa sans problème. J'utilise un théodolite calibré avec le Soleil. Puis je place une règle et un rapporteur horizontalement contre le mur. J'en déduis par calcul l'azimut du mur. J'ai discuté de cette méthode en détail dans un numéro de *Zon & Tijd*, magazine néerlandais consacré aux cadrans solaires.



Mesure du mur
destiné à accueillir le
cadran solaire

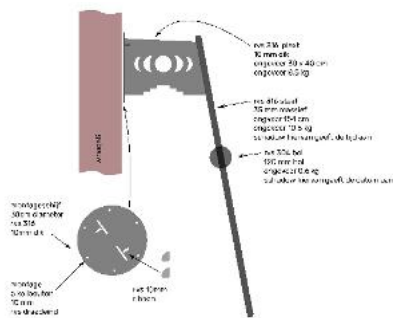
Stefan a également continué à travailler sur le projet, qui avait belle allure. Dans ce genre de collaborations, il est crucial que chacun comprenne l'autre, ce qui ne va pas toujours de soi.

Le cadran solaire indique l'heure d'été et l'heure d'hiver. Les heures d'hiver sont inscrites sur la ligne du solstice d'hiver, tandis que les heures d'été sont inscrites dans le cercle situé aux extrémités des lignes horaires, du côté de la ligne du solstice d'été. Avec la ligne des équinoxes, le cadran solaire indique également le début des saisons.



LE STYLE

Muni de la mesure exacte du cadran (le cercle de diamètre 240 cm du paragraphe précédent), j'ai dessiné le style aux bonnes dimensions. Après consultation de Stefan van den Heuvel, nous avons ajouté de petits dessins de soleils et de lunes sur le style.



En fin de compte, un magnifique projet et un beau résultat !



Le résultat final à environ 16h (heure d'été)



Stefan van den Heuvel et Hendrik Hollander

Hendrik Hollander (hendrik@zonnewijzer.nl) est un cadranier professionnel néerlandais. Plus de détails sur son site <https://www.zonnewijzer.nl/>

ÉCLAIREMENT D'UN CADRAN SOLAIRE

Henri Gagnaire

Un peu de géométrie vectorielle, accessible au plus grand nombre, sur laquelle s'appuie l'auteur pour calculer l'éclairement d'un cadran solaire, ce qui permettra notamment à celles et ceux qui souhaitent ne faire figurer que des marques horaires utiles, de peaufiner le tracé de leur cadran solaire.

Supposons que l'on ait déterminé la déclinaison et l'inclinaison du mur sur lequel on veut installer un cadran¹. Il est important de connaître les conditions dans lesquelles le cadran sera éclairé pour ne tracer que les lignes horaires (ou les plots horaires) utiles. La méthode présentée ici est très facile à mettre en œuvre. Il est nécessaire de connaître les composantes du vecteur unitaire Σ qui est parallèle à chaque instant à la direction du Soleil et dirigé de la Terre vers le Soleil.

Pour que le cadran soit éclairé, au moins deux conditions sont nécessaires :

- le Soleil doit être levé,
- le Soleil doit être devant le cadran.

La première condition est vérifiée si la composante de Σ suivant la verticale est positive, ce qui s'écrit :

$$\Sigma_z = \sin h = \cos \delta \cos \varphi \cos H + \sin \delta \sin \varphi > 0$$

(δ est la déclinaison du Soleil, φ est la latitude du lieu, H est l'angle horaire du Soleil).

Les angles horaires correspondant au lever et au coucher de Soleil vérifient la relation :

$$\cos H_0 = -\tan \delta \tan \varphi$$

La deuxième condition est vérifiée quand la composante de Σ suivant la normale à la table du cadran est positive. Dans un précédent article², les expressions des composantes de Σ suivant le Sud (Σ_s) et l'Est (Σ_e) ont été données. Elles sont rappelées ci-dessous :

$$\begin{aligned}\Sigma_s &= \cos \delta \sin \varphi \cos H - \sin \delta \cos \varphi \\ \Sigma_e &= -\cos \delta \sin H\end{aligned}$$

Si le cadran est horizontal, la normale à celui-ci est verticale. Les deux conditions précédentes se résument à une seule ($\Sigma_z > 0$). Le cadran horizontal est éclairé dès que le Soleil est levé. Si le cadran est vertical plein Sud, il faut alors que $\Sigma_s > 0$. Cette condition est équivalente à $\cos A > 0$ où A est l'azimut du Soleil.

Quand le cadran est vertical mais déclinant d'un angle D (positif si le cadran est tourné vers l'Ouest), la composante de Σ normale au cadran (Σ_m) est donnée par :

$$\Sigma_m = \Sigma_s \cos D - \Sigma_e \sin D$$

On obtient ce résultat en écrivant les vecteurs unitaires s (dirigé vers le Sud) et e (dirigé vers l'Est) en fonction des vecteurs unitaires m (normal au cadran) et j (horizontal dirigé du côté Est) - voir figure 1.

$$\begin{aligned}s &= \cos D m + \sin D j \\ e &= -\sin D m + \cos D j\end{aligned}$$

Il faut reporter ces deux relations dans la relation $\Sigma = \Sigma_s s + \Sigma_e e + \Sigma_z z$ pour faire apparaître Σ_m et Σ_j , composante de Σ suivant j donnée par :

$$\Sigma_j = \Sigma_s \sin D + \Sigma_e \cos D$$

Le cadran vertical déclinant est donc éclairé quand Σ_m est positive. Cette condition est équivalente à $\cos(A-D) > 0$.

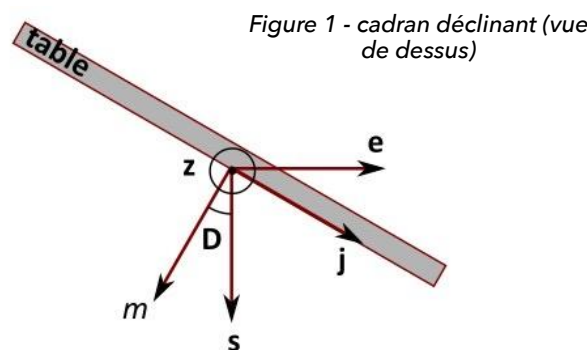
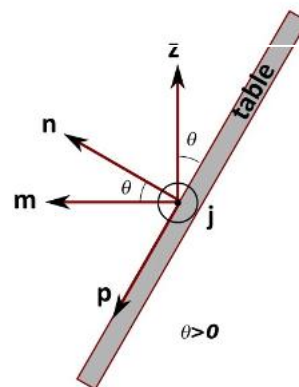


Figure 1 - cadran déclinant (vue de dessus)

Quand le cadran est déclinant et incliné, sa table est pivotée vers l'avant ou vers l'arrière par une rotation autour du vecteur unitaire j .

L'inclinaison du cadran est quantifiée par l'angle θ , nul quand le cadran est vertical et positif quand le cadran est pivoté vers l'arrière - voir figure 2.

Figure 2- cadran déclinant-incliné (vue de côté)



¹ Pour ce faire, on peut utiliser la méthode décrite dans l'article *Détermination de la déclinaison et de l'inclinaison d'un cadran* - H. Gagnaire - *Cadran info* n° 42 - https://ccs.saf-astronomie.fr/wp-content/uploads/Cadran-Info_pdf/Cadran%20Info_42.pdf (le cadran peut être de n'importe quel type, à gnomon droit, à style polaire ou même analemmatique)

² *Quelques calculs relatifs à une méridienne à chambre obscure* - H. Gagnaire - *Cadrans solaires pour tous* n° 20 - https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/05/mag-CSpour tous-n20_H-Gagnaire.pdf

Il faut maintenant écrire les composantes de Σ suivant les trois vecteurs unitaires $\mathbf{p}$ (plus grande pente), $\mathbf{j}$ et $\mathbf{n}$ (normal). On procède de la même manière que précédemment :

$$\begin{aligned}\mathbf{m} &= \cos \theta \mathbf{n} + \sin \theta \mathbf{p} \\ \mathbf{z} &= \sin \theta \mathbf{n} - \cos \theta \mathbf{p} \\ \Sigma_n &= \Sigma_m \cos \theta + \Sigma_z \sin \theta \\ \Sigma_p &= \Sigma_m \sin \theta - \Sigma_z \cos \theta\end{aligned}$$

Le cadran déclinant et incliné est éclairé quand la composante Σ_n est positive. Elle est très facile à calculer pour chaque H et chaque déclinaison du Soleil quand on connaît la déclinaison D et l'inclinaison θ du cadran (calcul de Σ_z , Σ_s et Σ_e , puis calcul de Σ_m et enfin calcul de Σ_n).

Compte tenu de ces résultats, il est très facile de tracer un diagramme qui indique quand le cadran est éclairé au cours d'une année. Pour chaque date (ou déclinaison du Soleil), on calcule pour chaque heure de la journée la valeur de Σ_z . Si celle-ci est positive (le Soleil est levé), on calcule alors la valeur de Σ_n . Si celle-ci est positive, le cadran est éclairé. Il suffit alors, dans un diagramme où les heures (solaires ou TU) sont en abscisse et les dates en ordonnée, de faire une petite croix chaque fois que le cadran est éclairé. On obtient ainsi des diagrammes tels que ceux ci-contre. Les heures de lever et de coucher de Soleil sont indiquées. L'écart entre deux dates est de 5 jours environ et les calculs ont été faits pour tous les quarts d'heure.

Le premier diagramme de la figure ci-contre montre l'éclairement d'un cadran déclinant-incliné. Pour un tel cadran à style polaire à la latitude de 45° , il faudra tracer les lignes horaires de 7h à 19h. Le deuxième diagramme correspond à un cadran septentrional. Il n'est éclairé que lorsque la déclinaison du Soleil est positive, tôt le matin et tard le soir. Le troisième diagramme est relatif à un cadran qui serait situé dans les environs de Tolède en Espagne où la latitude est suffisamment faible pour qu'un choix correct de la déclinaison Ouest du cadran conduise à un éclairement constant d'environ 9h toute l'année.

La méthode qui vient d'être décrite présente un autre (petit) avantage. En effet, la composante Σ_n n'est autre que le cosinus de l'angle entre la normale au cadran et la direction du Soleil. De sa valeur dépend la quantité d'énergie que 1 m^2 de panneau solaire reçoit de la part du Soleil. Faisons l'hypothèse (totalement fautive) que le Soleil envoie sur la Terre toujours le même flux d'énergie, été comme hiver. On peut comparer les sommes de toutes les valeurs de Σ_n pendant une saison ou pendant l'année toute entière, calculées pour différentes inclinaisons du panneau.

Il est alors possible d'avoir une idée de la meilleure inclinaison de ce panneau selon différents critères (chauffage de la maison en hiver, chauffage de la piscine en été ...) - voir tableau 1.

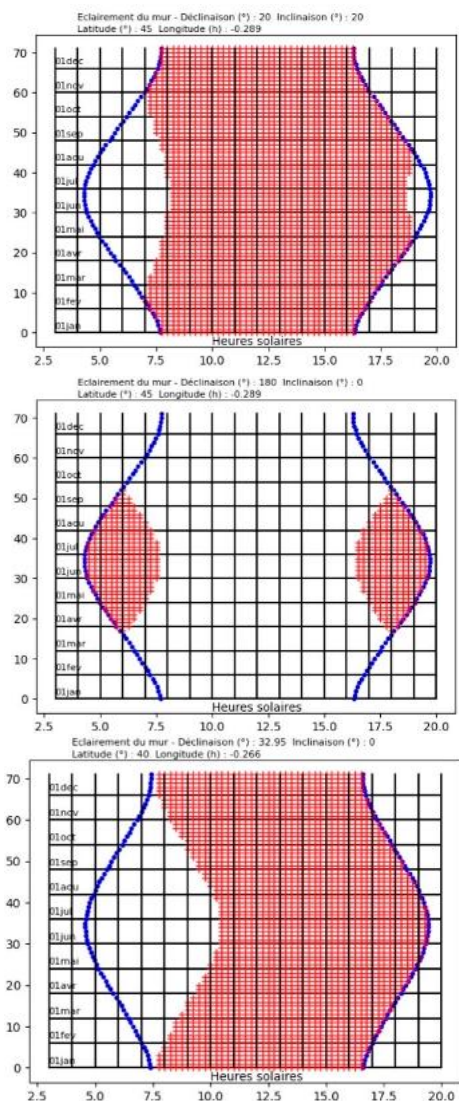


Tableau 1
Latitude : $45,4^\circ$ - déclinaison du mur : 10° - somme des Σ_n

Inclinaison ($^\circ$)	Hiver	Printemps	Été	Automne	Total
0 (vertical)	462	227	258	474	1422
10	499	309	336	505	1649
20	521	384	406	520	1832
30	527	451	467	520	1964
40	517	505	514	504	2040
45	506	528	533	490	2056
50	491	546	548	473	2058
60	450	573	566	427	2016
70	396	584	569	369	1917
80	329	580	556	299	1764
90 (horizontal)	253	562	530	220	1564

Professeur de physique à l'université de Saint-Étienne, Henri Gagnaire henrigagnaire@gmail.com a découvert et s'est passionné pour la gnomonique après sa retraite. Il contribue aujourd'hui activement aux activités de l'association Recherche Midi 42* et à la diffusion des connaissances dans le domaine.

* <https://sites.google.com/view/cherche-midi-42>

LE CADRAN SOLAIRE DE LA CHAPELLE DU PÉNITY

Jean-Paul Cornec

Dans un article paru en 2023, Jean-Paul Cornec et Pierre Labat Ségalen nous avaient emmenés à la rencontre des cadrans solaires de Bretagne. Mais en 2025, un nouveau cadran solaire, bien intrigant, était découvert dans la chapelle du Pénity à Locronan (Finistère)...*

* https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2023/11/mag-CSpour-tous-n10_JP-Cornec.pdf

La place principale de Locronan est dominée par deux édifices accolés : l'église Saint-Ronan et la chapelle du Pénity. L'église a été bâtie au ^{xv}^e siècle (1424-1480), à l'emplacement de l'église romane du prieuré qui existait déjà au début du ^x^e siècle. La pierre est un granite gris à grain fin, extrait de la montagne de Locronan. La chapelle du Pénity (1485-1515), attenante au flanc sud de l'église, communique avec la nef de l'église par deux grandes ouvertures. La tradition veut qu'elle ait été bâtie à l'emplacement de l'ermitage de saint Ronan. Elle renferme le cenotaphe de saint Ronan et un autel à l'extrémité est, surmonté d'une verrière. L'axe général de l'église et de la chapelle déclinent de 5-6° vers l'est.

Tous les six ans se déroule la Grande Troménie, pèlerinage d'une douzaine de kilomètres qui reproduit le trajet que saint Ronan effectuait tous les matins. À cette occasion la chapelle est décorée et illuminée par un « son et lumière » la veille des processions. C'est à cette occasion que H. Le Bihan, tisserand à Locronan, a découvert le cadran, révélé par les éclairages.

Début juillet 2025, H. Le Bihan contactait la Commission des cadrans solaires (<https://ccs.saf-astronomie.fr/>) sollicitant son aide à propos d'un « demi-cercle gradué (un cadran canonial ?) situé à l'intérieur de la chapelle du Pénity ». D. Schneider transférait alors la demande à Pierre Labat de Brest et à moi-même à Lannion.

Une fois sur place, avec seulement l'éclairage naturel ambiant, on peut chercher longtemps le cadran dans la chapelle, sans rien trouver. D'autant que le réflexe du chasseur de cadrans est de regarder en l'air et non à 1 m du sol... J'ai alors contacté Hervé Le Bihan qui m'a proposé d'aller découvrir le cadran. Ce dernier est gravé sur une pierre près du montant droit de la première ouverture de communication avec la nef.

Il voisine avec un long contrefort en avancée. Son tracé est très peu apparent. Comme, la plus grande partie de la journée, il est éclairé de face par les fenêtres du côté sud de la chapelle, la gravure ressort mal, d'autant qu'il voisine avec un tronc et un important présentoir de cartes postales et livrets.



Il faut faire appel à une lumière rasante pour le mettre en valeur. C'est ce rôle qu'avaient joué les illuminations mises en œuvre lors d'une Grande Troménie. Son tracé se révèle être un arc de cercle parfait dont le diamètre est de 25 cm. De cet arc de cercle partent 15 petits traits extérieurs, inégalement répartis. Cette gravure relève d'une démarche très volontaire et réfléchie sur une pierre dure comme ce granite.

Il s'agit manifestement d'un cadran d'esprit « canonial », un genre de cadran relativement courant au Moyen Âge. Issu des monastères où il servait à indiquer les moments des offices, il s'est rapidement diffusé dans la société civile. Il fonctionnait avec un style horizontal marquant les « heures » sur des rayons internes partant du centre. Il sera produit jusqu'au ^{xvi}^e siècle. En Bretagne on n'en connaît qu'une demi-douzaine, les autres éventuels ayant disparu suite au remaniement ou à la reconstruction d'édifices religieux¹.

Ici l'arc de cercle des « heures » couvre environ 150°. Les extrémités de l'arc sont distantes de 24 cm. Ils sont 3-4 cm sous le diamètre du cercle qui passe par le centre. Le centre de ce cercle est à 2 cm sous le milieu du joint en ciment, donc sur la pierre où il n'y a pas de trace d'orifice pour un style. À moins que l'on ne se soit contenté de ficher la tige dans le joint entre deux pierres.

De nombreuses questions se posent au sujet de ce cadran. La position d'abord, qui intrigue par deux aspects. Il est à environ un mètre du sol carrelé de la chapelle. Cela ne semblait pas très judicieux de tracer un cadran à une telle hauteur, canonial ou non. Mais Hervé Le Bihan nous a appris que le sol initial sur lequel la chapelle a été bâtie fut rehaussé d'un bon mètre

avant sa construction, sans doute pour compenser la pente générale du terrain. Cela placerait alors le cadran initialement à une hauteur plus convenable de 2 m ou plus, par rapport au sol de l'époque.

Autre question soulevée : il est situé à droite d'un grand contrefort qui s'avance d'environ 1,5 m par rapport au mur. Ce contrefort rejoint le mur de la chapelle et ne fait qu'un avec lui. Si ce contrefort est contemporain de l'église il plongeait le cadran dans l'ombre dès que midi était passé. Mais alors pourquoi avoir marqué des heures de l'après-midi ? Nous disposons de deux plans de l'église. L'un a été publié par Henri Waquet, historien bien connu de l'architecture et de l'art bretons². L'autre a été établi récemment par les Monuments Historiques³. Il est plus précis en particulier sur la position relative de l'église et de la chapelle et leur orientation. D'après le plan d'H. Waquet, le mur et le contrefort de la chapelle forment un bloc et sont indépendants de ceux de l'église. Ces parties datent du XV^e siècle pour l'église et début XVI^e siècle pour la chapelle.

Cela résoudrait la question du contrefort : celui-ci est donc partie intégrante de la chapelle. Mais quand le cadran a été gravé il n'y avait pas de contrefort trop proéminent pour lui faire de l'ombre, sans doute dans le genre des contreforts de l'extrémité est de la nef. Le plan des Monuments Historiques ne se prononce pas sur l'âge des maçonneries.

Mais la chapelle du Pénity n'est pas collée contre le mur sud de l'église : elle en est séparée par un intervalle, dont le haut est obturé par le caniveau d'évacuation des eaux des deux toitures. Par chance, le mur nord de la chapelle s'arrête peu avant le cadran ; ensuite se trouve un grand vide correspondant à la communication entre l'église et la chapelle. Le cadran aurait pu être caché à jamais si ce mur avait été prolongé et percé par seulement une petite porte de communication entre les deux monuments⁴.

Ce cadran a-t-il été gravé lors de la construction de l'église ? S'il a toujours été sur le mur à ce niveau, l'emplacement était intéressant avant que la chapelle soit construite : c'est la partie du mur sud la plus immédiatement accessible de l'extérieur depuis l'entrée pour consulter les indications du cadran. À condition qu'il n'y ait pas eu de grand contrefort en avancée...

Par ailleurs on ne peut exclure l'éventualité d'une pierre de réemploi issue de l'église du prieuré qui précédait l'église actuelle⁴. Car il est fort probable que les pierres de cet édifice ont été réutilisées. Dans ce cas cela repousserait l'âge du cadran à deux bons siècles en arrière. Pierre déplacée certes, mais, c'est à noter, conservée. Ce réemploi a peut-être eu lieu au moment de l'ouverture du passage entre l'église et la future chapelle. H. Le Bihan a fait remarquer une reprise de maçonnerie dans le mur à ce niveau⁴. Gardons la première hypothèse. Les travaux de la chapelle ont débuté en 1485. Donc le cadran est antérieur à cette date. C'est l'un des deux rares cadrans canoniaux bretons que l'on puisse situer dans le temps même si on n'en connaît pas la date exacte. Celui de Landévant (Morbihan) associé à une inscription de 1480 doit lui être postérieur. J. Scordia⁵ note que si ce canonial est le plus ancien de Bretagne, il est également celui dont le fonctionnement aurait été le plus court : une quarantaine d'années !

Pour quelles indications ? Et pourquoi 15 traits ? Très courts et de plus extérieurs à l'arc de cercle, ce qui est très inhabituel pour un canonial. Gravés à l'intérieur, les traits auraient été convergents et rapprochés. Graver un trait aurait pu faire éclater la pierre jusqu'au trait adjacent. Une gravure extérieure permettait de les écarter et de réduire le risque de dégradation de la pierre. Le granite n'est pas une pierre facile. En bas du cercle aucun des traits n'est vertical. Si on ignore les deux traits extrêmes, plutôt horizontaux, il reste 13 traits et douze intervalles. On peut alors penser à une indication de douze moments dans la journée. Un peu comme les heures temporaires. D'autant que le sixième intervalle correspond au milieu de l'arc de cercle donc à un intervalle autour de midi solaire. Un rapprochement peut être fait avec le cadran canonial de l'église de Lalande-en-Son (60) qui comporte 16 secteurs, mais intérieurs à la couronne, et avec la trace de l'implantation d'un style¹.

Reste la question du style. Était-il fiché à demeure dans le joint des pierres et la marche de son ombre suffisait-il aux gens de l'époque ?

Merci à H. Le Bihan pour avoir signalé ce cadran, pour son accueil, son érudition. Merci à D. Schneider pour avoir relayé cette information, par l'intermédiaire de Ph. Sauvageot, et pour ses commentaires. Merci à J. Scordia pour ses précisions historiques.

Jean-Paul Cornec (jean-paul.cornec@orange.fr) a fait toute sa carrière dans les télécommunications : « Au fond, cela rejoint ma passion des cadrans solaires qui sont conçus pour informer le passant sur l'heure, pour lui transmettre un message par une devise. C'est ainsi que je les côtoie depuis 55 ans... »

¹ D. Schneider : Causes probables de la rareté des cadrans

² H. Waquet : L'église de Locronan. Congrès archéologique de France, LXXXI^e session. 1919

³ P. Bonnet et J.-J. Riou : Bretagne gothique. Éditions Picard, 2010.

⁴ H. Le Bihan : Communication privée.

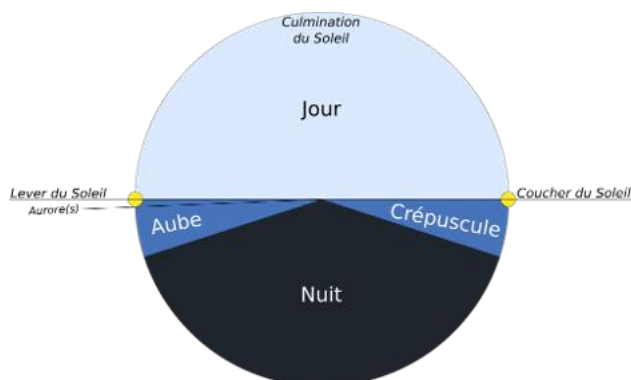
canoniaux bretons. Commission des Cadrans Solaires. Cadran Info n°38, octobre 2018.

⁵ J. Scordia : Communication privée.

CALCUL DE LA DURÉE DU JOUR

Pierre-Louis Cambefort

Quelle est la durée du jour ? Cette question a déjà été abordée dans plusieurs articles de ce magazine mais Pierre-Louis Cambefort a choisi ici de revenir sur la question et d'y répondre en recourant à des formules qui sont familières aux gnomonistes avancés...



Note de l'auteur : les lecteurs intéressés par ce sujet pourront utilement lire ou relire d'autres articles déjà parus dans ce magazine qui l'évoquent ou en approfondissent certains aspects :

- l'article¹ de David Alberto, paru dans le n°10, qui définit un instrument donnant directement la durée du jour,
- celui² de Francis Reymann, paru dans le n°19, qui présente un logiciel permettant, entre autres, de calculer la durée du jour,
- celui³ de Ferdinando Roveda, paru également dans le n°19, qui définit en particulier le crépuscule astronomique.

1 - DIFFÉRENTES FORMULES

La durée du jour est fonction de la date et de la latitude du lieu considéré.

Partons de la formule qui relie la hauteur du Soleil à son angle horaire, en admettant que la déclinaison du Soleil est constante dans la journée (se reporter au paragraphe 4 pour la validité de cette affirmation) :

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta - \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H$$

avec h la hauteur du Soleil, φ la latitude du lieu, δ la déclinaison du Soleil, H l'angle horaire du Soleil.

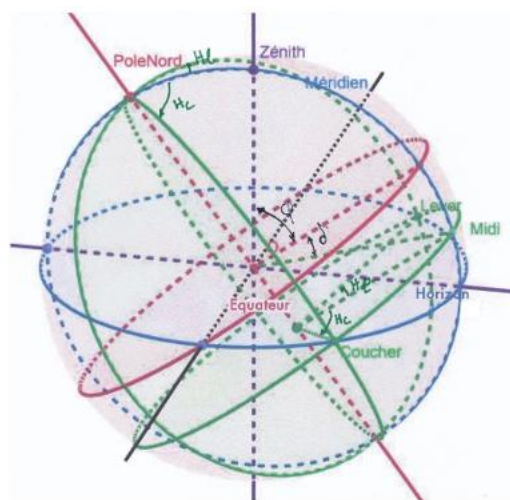
On pourra utiliser, pour les calculs, les éphémérides que je mets chaque année à la disposition des lecteurs de ce magazine, et qui donnent, notamment, la déclinaison du Soleil pour chaque jour de l'année (pour les éphémérides 2026, voir le paragraphe *Actualités* du n°19 du magazine⁴).

Revenant à la formule ci-dessus, si la hauteur du Soleil h est égale à 0 (lever ou coucher du

Soleil), l'arc diurne de la demi-journée s'écrit :

$$\cos H_1 = -\tan \varphi \cdot \tan \delta$$

La durée du jour est alors égale à $2 H_1$ qui est égal bien entendu à $H_c - H_l$ avec H_c l'angle horaire du Soleil à son coucher et H_l l'angle horaire du Soleil à son lever (figure dessous).



Cette formule n'est évidemment valable que lorsque : $|\tan \varphi \cdot \tan \delta| \leq 1$ (en notant $|x|$ la valeur absolue d'une quantité x). L'inégalité devient alors successivement :

$$|\tan \varphi / \tan(90^\circ - \delta)| \leq 1$$

$$|\tan \varphi| \leq |\tan(90^\circ - \delta)|$$

$$\tan|\varphi| \leq \tan(90^\circ - |\delta|)$$

$$\text{soit finalement : } |\varphi| \leq 90^\circ - |\delta|$$

La formule ci-dessus est donc toujours applicable pour les régions situées entre les cercles polaires. Appliquons-la à deux localités de France métropolitaine à la date du 11 mai 2026 (déclinaison du Soleil égale à $17,96^\circ$) :

- La Celle Saint-Cloud (latitude = $48,85^\circ N$) : le calcul de la durée du jour donne dans ce cas 14 h 54 min 9 s.
- Saint-Paul de Vence (latitude = $43,7^\circ N$) : le calcul de la durée du jour donne dans ce cas 14 h 24 min 19 s.

On notera qu'autour du solstice d'été, les durées du jour sont plus élevées dans la partie nord de la France métropolitaine que dans la partie sud, bien qu'il soit courant pour « les gens du Nord » d'aller « chercher le soleil » au Sud en été...

¹ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2023/11/mag-CSpour-tous-n10_D-Alberto.pdf

² https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/02/mag-CSpour-tous-n19_F-Reymann.pdf

³ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/02/mag-CSpour-tous-n19_F-Roveda.pdf

⁴ <https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/02/mag-CSpour-tous-n19.pdf>

2 - INFLUENCE DE LA RÉFRACTION ET DU DIAMÈTRE DU SOLEIL

Si nous tenons compte de la réfraction R due à l'atmosphère terrestre (qui « relève les astres ») à l'horizon, cette valeur de réfraction peut être prise égale à $-34'$ (Astronomical Ephemeris) ou à $-36'36''$ (théorie de Radau).

En tenant également compte du rayon apparent du Soleil, que nous pouvons prendre égal à $16'$, la hauteur h_0 du Soleil pour voir son bord supérieur affleurer l'horizon est de $-50'$ et la valeur de l'arc diurne de la demi-journée H_2 vaut alors (formule 3):

$$\cos H_2 = (\sin h_0 - \sin \varphi \cdot \sin \delta) / (\cos \varphi \cdot \cos \delta)$$

Si nous appliquons cette formule aux deux localités choisies précédemment, toujours pour la date du 11 mai 2026, nous obtenons pour la durée du jour :

- La Celle Saint-Cloud : 15 h 5 min 36 s
- Saint-Paul de Vence : 14 h 34 min 29 s

Une autre méthode peut être utilisée afin d'évaluer l'augmentation de la durée du jour pour une petite variation de h autour de l'horizon. Dérivons en effet la première équation considérée :

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

Si $h=0$ et δ est considéré comme constante, on obtient :

$$\begin{aligned} dh &= -\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin H \cdot dH \\ \text{soit } dH &= -dh / (\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin H) \\ &\text{ou encore} \end{aligned}$$

$$dH = -dh / (\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sqrt{1 - \cos^2 H})$$

et en utilisant la formule déjà donnée pour $\cos H$

$$dH = -dh / (\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sqrt{1 - (-\tan \varphi \cdot \tan \delta)^2})$$

ce qui donne après quelques manipulations :

$$dH = -dh / \sqrt{\cos(\varphi + \delta) \cdot \cos(\varphi - \delta)} \quad (4)$$

dh étant égal à $dh_1 = R$ suite à la réfraction, augmenté de $dh_2 = -16'$ due au rayon apparent du Soleil, l'augmentation de la durée du jour s'écrit alors :

$$2 \cdot dH_2 = -2 (dh_1 + dh_2) / \sqrt{\cos(\varphi + \delta) \cdot \cos(\varphi - \delta)}$$

Si nous appliquons cette formule aux deux localités déjà choisies, toujours pour la date du 11 mai 2026, nous obtenons :

- La Celle Saint-Cloud : la durée du jour est égale à 15 h 5 min 32 s.
- Saint-Paul de Vence : la durée du jour est égale à 14 h 34 min 26 s.

3 - CRÉPUSCULE CIVIL

En rajoutant l'aube et le crépuscule civils correspondant à une hauteur du Soleil sous l'horizon de -6° (cette hauteur n'est pas concernée par la réfraction), la durée du jour s'écrit, par application de la formule (3) (l'utilisation de la formule (4) conduirait à une erreur de quelques minutes) :

$$\cos H_3 = (\sin(-6^\circ) - \sin \varphi \cdot \sin \delta) / (\cos \varphi \cdot \cos \delta)$$

Rappelons, à toutes fins utiles, les définitions des crépuscules :

- crépuscule civil : -6° (éclairages des véhicules nécessaires),
- crépuscule nautique : -12° ,
- crépuscule astronomique : -18° .

Nous parlons de crépuscules civils, car à Paris, notamment, il n'y a pas de crépuscule astronomique au solstice d'été. Dans l'hémisphère nord la hauteur du Soleil la plus basse dans une journée est :

$$h = \varphi - 90^\circ + \delta$$

Pour qu'elle soit inférieure à -18° quand la déclinaison est maximale ($\delta = 23,44^\circ$), il faut :

$$\varphi - 90 + 23,44 < -18$$

$$\varphi < 90 - 23,44 - 18$$

$$\varphi < 48,56^\circ.$$

À Paris, le Soleil n'atteint donc pas la hauteur de -18° , sous l'horizon, au solstice d'été.

Si nous reprenons nos deux localités, toujours pour le 11 mai 2026, nous obtenons en appliquant la formule ci-dessus :

- La Celle Saint-Cloud : durée du jour + crépuscules civils = 16 h 20 min 18 s.
- Saint-Paul de Vence, durée du jour + crépuscules civils = 15 h 39 min 58 s.

4 - CONSTANCE DE LA DÉCLINAISON DU SOLEIL SUR LA JOURNÉE EN GNOMONIQUE

En gnomonique, il est admis que la déclinaison du Soleil soit considérée comme constante dans la journée et prise égale à la valeur calculée à 12 h TU. Cette déclinaison varie en fonction des jours de l'année, de $24'$ par jour environ aux équinoxes à une valeur proche de $0'$ par jour aux solstices.

Si nous considérons un cadran horizontal, avec un gnomon de 30 cm, la variation de la longueur de l'ombre à midi (longueur minimale) pour $24'$ par jour (équinoxes) est de 0,37 cm, valeur que nous pouvons considérer comme négligeable.

Pierre-Louis Cambefort est ingénieur, artiste et gnomoniste (pierre-louis.cambefort@orange.fr). Un portrait détaillé lui a été consacré dans le numéro 1 du magazine

LE CADRAN SOLAIRE DE « L'ANCIENNE VILLA CHINOISE »

Maria Luisa Tuscano

Maria Luisa Tuscano nous emmène aujourd'hui à la découverte de « l'ancienne Villa chinoise », un bâtiment chargé d'histoire, à Palerme en Sicile, ville qu'elle connaît si bien. Un bâtiment qui renferme un cadran solaire qui n'a pas encore livré tous ses secrets...



La Palazzina cinese de Palerme

La Palazzina cinese (« La villa chinoise » en français) est certainement la plus originale parmi les anciennes villas que l'on rencontre en sortant du centre de Palerme et en se dirigeant vers la Piana dei Colli, qui s'étend au pied du mont Pellegrino, le promontoire que Goethe a décrit comme le plus beau du monde...

La zone est aujourd'hui en partie englobée dans les quartiers modernes de la ville, mais à la fin du XVIII^e siècle, elle était toute florissante. Ses demeures étaient dotées de vastes jardins où les nobles et les riches aimaient passer leurs vacances d'été.

C'est ainsi que la Palazzina cinese fut découverte par le roi Ferdinand IV de Bourbon qui, pour des motifs politiques avait dû quitter Naples en 1798 et s'installer à Palerme avec sa famille.

Les appartements royaux du palais des Normands étaient somptueux, mais le roi préféra acheter une villa déjà construite dans ce lieu selon les goûts chinois, très appréciés de la reine Marie-Caroline. Le bâtiment fut cependant agrandi selon le projet de l'architecte Venanzio Marvuglia et décoré à l'intérieur par d'importants peintres, selon le style oriental et, sur demande de la reine, avec des symboles maçonniques.

Les riches propriétaires des villas voisines ont fait don à Ferdinand IV de grandes parties de leurs jardins et il fut alors possible de créer le Parc de la Favorita pour les parties de chasse.

Ainsi naquit la résidence royale de la Palazzina cinese avec trois étages, un sous-sol et deux façades principales, surmontée d'une tourelle octogonale, nommée la « Salle des vents » ou la Specola, pour observer le ciel nocturne.

Dans la façade sud-est de la villa, un double escalier à deux volées permet d'accéder à un vestibule à colonnes. Sur la balustrade entre deux colonnes, il y a une structure métallique en forme de pagode à plan rectangulaire. Il s'agit d'un couvercle posé sur une dalle de marbre où est gravé le dessin d'un cadran solaire horizontal.



Une inscription près du bord le plus saillant décrit les particularités de cet instrument :

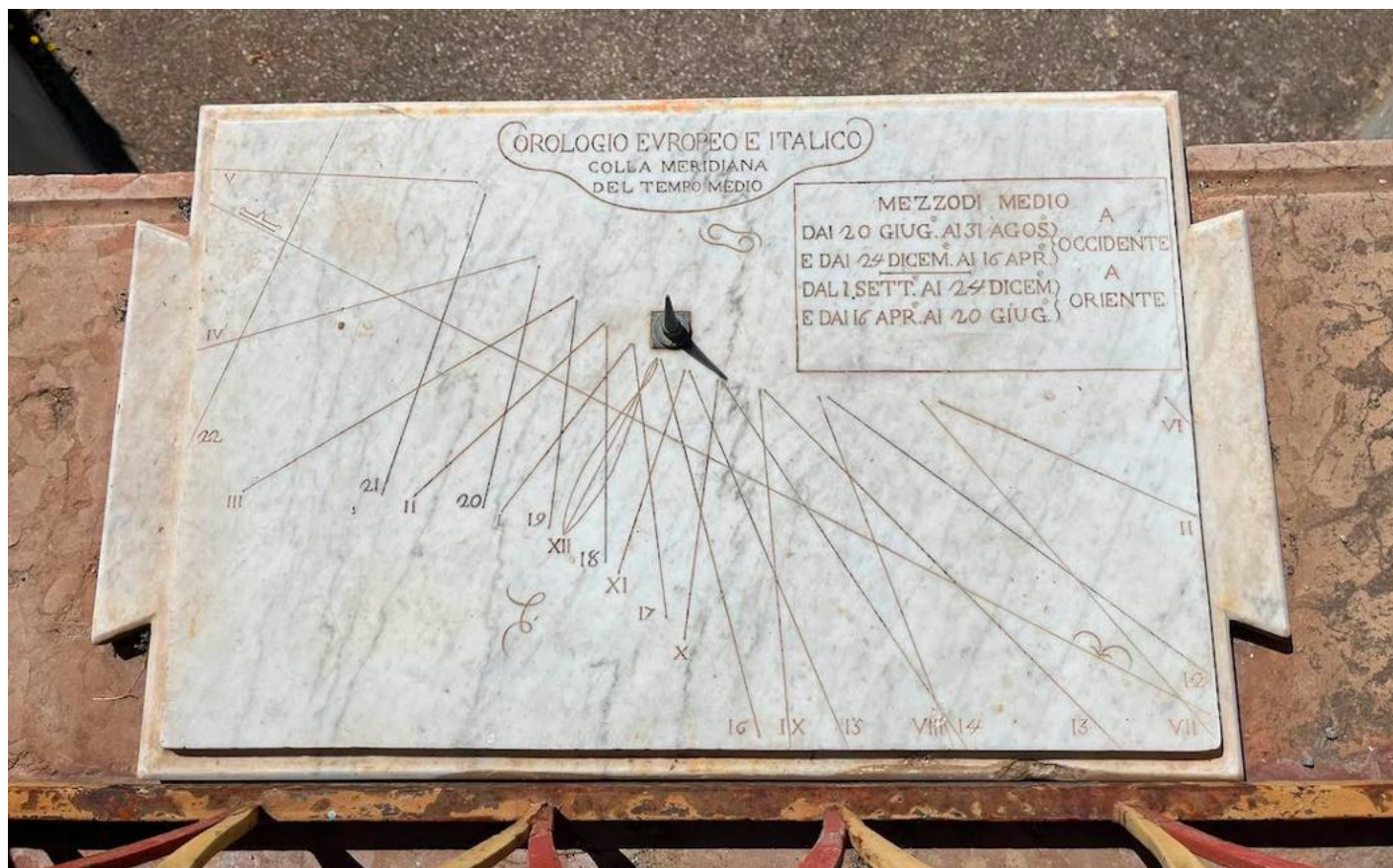
OROLOGIO EUROPEO E ITALICO
colla meridiana del tempo medio.

Cette formulation conduit déjà à quelques considérations préliminaires.

Le cadran solaire confirme son antiquité par la présence de l'heure italienne, qui sera progressivement abandonnée au cours du XIX^e siècle, mais il intègre et met en évidence l'analemme correspondant à l'heure moyenne. Les travaux de restauration de la villa ont été réalisés entre 1800 et 1806 et cet instrument serait donc contemporain de la méridienne de Giuseppe Piazzi dans la cathédrale de Palerme, inaugurée en 1801.

L'astronome souhaitait, grâce à cette méridienne, introduire à Palerme l'heure européenne et aussi le temps moyen, adopté uniquement en Angleterre et à Genève, comme il l'a écrit lui-même dans son livre *Sull'orologio italiano, ed europeo. Riflessioni di Giuseppe Piazzi - Direttore della Specola*.

Ce projet ne s'est toutefois concrétisé qu'avec l'introduction de l'heure européenne, en raison des occupations auxquelles Piazzi a dû se



*Le cadran solaire de la Palazzina cinese
(placée aujourd'hui sous l'égide de la Surintendance régionale de Sicile)*

consacrer après la découverte, en 1801, de l'astéroïde Cérès, aujourd'hui reclassé en planète naine. La présence de l'analemme dans son dessin laisse donc supposer que le cadran de la Palazzina cinese est le premier en Italie à utiliser le temps moyen.

La pointe de l'ombre de son gnomon vertical indique l'heure selon les deux systèmes horaires. Les heures européennes sont marquées par des chiffres romains, pour le matin et l'après-midi ; les chiffres arabes sont attribués aux heures du système horaire civil italien, qui fait commencer la journée une demi-heure après le coucher du Soleil. Un espace est réservé aux indications pour la lecture de l'analemme pendant l'année.

Mais ce cadran invite à une nouvelle réflexion. Les cadrans utilisant l'angle horaire du Soleil, qui sont horizontaux et destinés à être utilisés à l'extérieur, ont les mêmes limites d'ensoleillement que le plan de l'horizon où ils se trouvent : leur ligne sous-styloire est la ligne méridienne.

Les cadrans verticaux et inclinés présentent toutefois un ensoleillement lié à leur orientation. Ils apparaissent comme des horizons

secondaires où, chaque jour, le Soleil se lève, culmine sur leur ligne sous-styloire spécifique et se couche.

Étant réalisé sur une dalle horizontale mais fixé à la façade, le cadran de la Palazzina cinese présente un état hybride car ses indications horaires sont aussi soumises aux restrictions liées à l'orientation du bâtiment.

En effet, la façade où se trouve le cadran est orientée sud-est et cela signifie qu'elle n'est pas exposée au Soleil quelques heures de l'après-midi de certaines périodes de l'année.

Ces limitations se retrouvent également dans les indications horaires du cadran horizontal, ce qui est insolite au regard de ce qui a été écrit auparavant.

À l'heure actuelle, le nom de l'auteur n'est pas connu, n'étant d'ailleurs pas gravé sur la dalle.

Espérons que cela pourra être obtenu grâce à de futures recherches archivistiques, d'autant plus qu'il n'est pas exclu que cet instrument ait été conçu par Giuseppe Piazzi, dont on célèbre cette année le bicentenaire de la mort.

Maria Luisa Tuscano mltuscano@gmail.com est née à Palerme où elle a enseigné les sciences naturelles à l'Institut supérieur Ettore Majorana et s'est installée à Turin depuis quelques années. Depuis 1988, elle s'intéresse à la gnomonique, conduisant de nombreuses études, travaillant sur des projets de cadrans solaires, et publiant des ouvrages. Associée à l'INAF - OAPa, elle continue à partager ses connaissances par le biais d'articles et de conférences.

RÉGLAGE D'UNE HORLOGE ASTROLABE HOUR LAVIGNE

Jean Pakhomoff

Si vous faites l'acquisition d'une horloge astrolabe et souhaitez étendre la validité du mode d'utilisation qui l'accompagne, l'auteur propose un programme informatique... Si ce n'est pas le cas, la plupart des lecteurs apprendront probablement beaucoup sur les mouvements célestes en lisant cet article !



Au début des années 1980 je suivais assidûment les cours d'astronomie de M. Georges Faure à la Société scientifique Flammarion à Marseille. Je fis alors l'acquisition d'une horloge astrolabe de la célèbre marque Hour Lavigne. J'étais, et suis toujours, émerveillé par le génie de ceux qui l'ont imaginée et réalisée.

Les paramètres de réglage au jour le jour étaient fournis par le vendeur mais seulement pour les années 1982 à 1991. J'eus donc l'idée de réaliser un programme écrit en basic pour retrouver rapidement ces valeurs pour chaque jour des années 1985 à 2099.

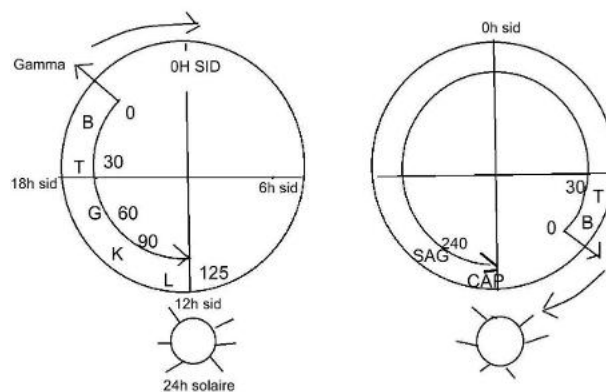
PRÉAMBULE

Les heures utilisées pour le réglage sont des heures sidérales comptées de 0 à 24 h (rappelons que l'heure sidérale est l'heure locale correspondant à l'angle horaire du point vernal : il est 0 h sidérale quand le point vernal est dans le demi-plan du méridien local).

Leur origine sera le midi solaire (XII supérieur). Le VI à droite marquera la 6^e heure sidérale, le XII inférieur la 12^e heure sidérale, le VI à gauche la 18^e heure sidérale, le XII supérieur à la fois le midi solaire et la 24^e heure (ou 0 h) sidérale.

Le réglage débute en plaçant le Soleil à minuit (12^e heure sidérale). On recherche alors les longitudes écliptiques du Soleil, de la Lune et de la tête de l'aiguille du dragon : celle-ci représente les intersections de l'orbite lunaire avec le plan de l'écliptique (zodiaque). Le programme informatique donnera la valeur de ces longitudes.

Le Soleil étant placé à minuit, sa longitude permet de placer sur le cadran le point gamma ou point vernal (intersection de l'équateur céleste avec l'écliptique) qui est l'origine des longitudes. Celles-ci croissant en sens inverse des aiguilles d'une montre, on trouvera ce point gamma en portant alors la valeur de la longitude solaire en la comptant dans le sens des aiguilles d'une montre. Ainsi, si à minuit solaire la longitude du Soleil est de 120° on placera gamma à 12 h + 120/15 = 20 h sidérale (VIII gauche sur le cadran). On procède de même à partir de gamma pour trouver les positions de la Lune et du dragon.



Sur la figure ci-dessus, à gauche, le Soleil est en Lion à minuit solaire : sa longitude est de 125°. Gamma est dans la partie gauche correspondant aux heures sidérales de 12 à 24 (ou 0). L'heure indiquée sera $12 + 125/15 = 20$ h 20 sidérale (ou 8 h 20 solaire). On soustrait enfin la longitude de la Lune divisée par 15 pour avoir l'heure correspondante à l'emplacement de la Lune (si l'heure est négative on ajoute 24). Même procédé pour l'aiguille du dragon.

Sur la figure ci-dessus, à droite, le Soleil est en Capricorne à minuit solaire. Sa longitude est par exemple de 275°. Étant supérieure à 180°, gamma se trouve dans la partie droite correspondant aux heures sidérales de 0 à 12.

L'heure correspondant à gamma sera alors de $275/15 - 12 = 6$ h 20 sidérale (ou 18 h 20 solaire). De même, on déduit les longitudes de la Lune et du dragon pour avoir leurs positions (si le résultat négatif on ajoute 24). Connaissant les longitudes de la Lune et du dragon on soustraira leurs valeurs en heures du temps sidéral trouvé. Si ce nombre est négatif on ajoutera 24 et on pourra ainsi placer la lune et le dragon à leur heure correspondante.

NB - Les graduations en heures conviennent à la fois aux heures solaires et sidérales leurs valeurs angulaires étant quasiment égales : 1 h sidérale égale 0,997268 h solaire, le point gamma fait un tour du cadran en 23 h 56 min 4 s pendant que le Soleil fait ce même tour en 24 h.

Le programme informatique développé, que l'on peut télécharger¹ est conçu pour fonctionner du 01/01/1985 au 31/12/2099.

DÉTERMINATION DE LA LONGITUDE DU SOLEIL À UNE DATE FIXÉE

On compte l'origine des longitudes à partir de la valeur qu'elle avait le 1er janvier 1900. Cette valeur était alors de $281^{\circ} 13' 7,32''$.

Du fait principalement de la précession des équinoxes, la longitude du périhélie augmente de $61,717''$ par an (appelée « peri » dans le programme basic proposé).

Journellement on compte une augmentation moyenne de $0,985647^{\circ}$ appelée moyen mouvement en rapport avec le déplacement relatif du Soleil dans le zodiaque. Notons enfin une troisième cause de variation de la longitude appelée « équation du centre » dont la valeur entre pour partie dans la valeur de l'équation du temps figurant sur les cadrans solaires et s'obtient par la relation $EQC = 1,91666 \sin(n.t)$

où 1,91666 est la valeur maximum (en degrés) de EQC, n le nombre de jours depuis le 1er janvier et t le moyen mouvement du Soleil sur l'écliptique, égal à $0,985647^{\circ}$.

Cette valeur passe par un maximum de $1,91666^{\circ}$ le 1er avril, un minimum de $-1,91666^{\circ}$ le 1er octobre.

Tous calculs faits cette longitude étant égale à $280,51583^{\circ}$ le 1/1/1985, la relation donnant la longitude du Soleil est :

$$S = 280,51583 + \text{PERI} + N \cdot 0,985647 + \text{EQC}$$

LONGITUDE DE LA LUNE À UNE DATE FIXÉE

Sa valeur ne pourra pas avoir la même précision que celle de la longitude solaire. En effet le mouvement de la Lune est soumis à de nombreux facteurs nécessitant des connaissances mathématiques poussées allant bien au-delà de ma culture mathématique.

On peut cependant en avoir une appréciation moyenne et bien suffisante pour la lecture de l'horloge astrolabe. Son expression est donnée par la relation $L = 30,56 + N \cdot 13,176389$ où 30,56 est sa valeur au 1er janvier 1985, N le nombre de jours depuis cette date et 13,176389 l'avance journalière moyenne de la longitude de la Lune (moyen mouvement sidéral).

LONGITUDE DU NŒUD ASCENDANT

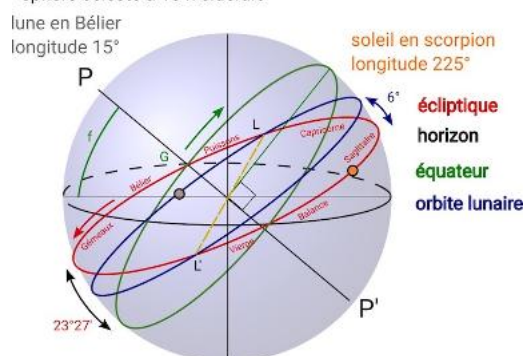
C'est la longitude de la tête du dragon, extrémité de l'aiguille du dragon qui représente la droite reliant les deux intersections de l'orbite lunaire avec l'écliptique. C'est la ligne des nœuds ou ligne du dragon. Lorsque le Soleil et la Lune se trouvent sur cette aiguille il y a éclipse : de Soleil quand confondus, de Lune quand opposés. La longitude de cette aiguille diminue chaque jour d'une valeur de $0,052996^{\circ}$. Sa valeur étant de $56,58333^{\circ}$ le 1/1/1985. On en a une représentation satisfaisante par la relation :

$$D = 56,58333 - N \cdot 0,052996$$

Notons que cette ligne des nœuds fait le tour de l'écliptique en $360/0,052996 = 6793,5209$ jours ou 18,61 ans.

Il est enfin tenu compte dans le programme informatique du cas des années bissextiles. Une année bissextile ne se verra ajouter un jour qu'à compter du premier mars.

sphère céleste à 18 h sidérale



Montrons ci-dessus pour terminer une sphère céleste à 18 h sidérale pour un horizon de latitude f égale à 40° N. L'écliptique (zodiaque) est en rouge, l'équateur céleste en vert, l'orbite de la Lune en bleu, et la ligne des nœuds LL' en jaune. Le Bélier se lève, le Capricorne pointe au milieu du ciel, la balance se couche et le Cancer pointe au fond du ciel. Le Soleil est ici en Scorpion à la longitude 225° et la Lune en Bélier à la longitude de 15° .

Jean Pakhomoff (jeanpakhomoff@gmail.com) est l'un des cadransiers-gnomonistes français les plus prolifiques et les plus respectés. Son site <https://www.pakhomoff.net/> est une mine d'or pour les amateurs de cadrans solaires et les gnomonistes.

¹ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/08/Annexe-Article_J-Pakhomoff-CSPT21.pdf

TROUVER LA LATITUDE ET LA LONGITUDE AVEC UN THÉODOLITE

Yves Opizzo

Yves Opizzo a déjà évoqué, dans différents articles de ce magazine, comment utiliser un théodolite dans le domaine de la gnomonique. Aujourd'hui, il explique comment utiliser cet instrument pour déterminer avec précision la latitude et la longitude d'un lieu.



Un théodolite

Qui a déjà utilisé un tel instrument sera immédiatement intéressé par ce qui suit. J'ai déjà largement évoqué les possibilités qu'un tel objet possède intrinsèquement, en liaison avec notre art-science, mais son côté didactique est encore plus fascinant, peut-être.

En effet, de nos jours, quoi de plus facile que de connaître la latitude et la longitude d'un lieu quelconque, avec Google Earth ou un smartphone ?

Mais sincèrement, soyons clair, où y a-t-il de la pédagogie dans le fait d'obtenir une réponse sans comprendre le problème ? La solution d'un problème, quel qu'il soit, N'EST PAS une mesure de la culture ! C'est la compréhension de la difficulté qui peut servir à cette mesure.

Or un théodolite, un « théo » comme il se doit, permet de mesurer des angles horizontaux et verticaux avec une très grande précision. Mon T2 de la marque Wild, obtenu sur un marché d'art en Allemagne il y a une vingtaine d'années et vieux d'environ 60 ans, entièrement mécanique, atteint la seconde d'arc. Quant au T4 de la même marque, sa précision est d'un dixième de seconde d'arc, et il est lui aussi purement mécanique.

Le grand rapporteur qui fut expliqué dans ces colonnes¹ devrait permettre d'atteindre facilement la minute d'arc, ce qui sera bien suffisant pour notre objet du jour.

Donc, nous voulons tenter de déterminer la latitude et la longitude du lieu en nous servant seulement d'une montre précise et bien réglée, d'un théo lui aussi précis et correct, et de diverses connaissances plus ou moins livresques, de base.

Nous avons déjà vu comment trouver le nord géographique à partir de la formule de l'azimut du Soleil redonnée ici :

$$\tan Az = \sin AH / (\sin \varphi \cdot \cos AH - \cos \varphi \cdot \tan \delta)$$

avec

AH l'angle Horaire du Soleil, φ la latitude du lieu, δ la déclinaison du Soleil, . le signe de multiplication.

L'azimut est la première coordonnée dite locale d'un astre, dépendant donc de la latitude et de la longitude du lieu. La deuxième de ces coordonnées est la hauteur h donnée par la formule :

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos AH$$

Or, cette formule se réduit pour $AH = 0^\circ$ (midi TVL) à : $h = 90^\circ - \varphi + \delta$, déjà entrevue dans ce magazine. Aux équinoxes (voir mon article² *Une Éclipse de Soleil deux fois par an dans votre jardin*), il ne reste donc que $h = 90^\circ - \varphi$ et la latitude est alors égale à $90^\circ - h$.

Il faut, pour pouvoir mesurer cette valeur, correctement attendre midi TVL, et il n'est pas nécessaire de le faire aux équinoxes. Il suffit de connaître la déclinaison solaire, donnée une fois par jour (ce sera bien suffisant) dans tous les almanachs sérieux, ou les Éphémérides annuelles. Alors, comment procéder ?

Il faut d'abord mettre son théo en station, donc bien à l'horizontale. Une boussole vous donnera une bonne idée du méridien local. Attention à la déclinaison magnétique locale importune : une ligne électrique souterraine peut suffire pour dévier l'aiguille aimantée.

Il existe des théodolites mécaniques munis d'un système gyroscopique se calant de lui-même sur le méridien local. Merveilleux, mais délicat !

Le plus difficile arrive maintenant. Je ne dirai jamais trop souvent qu'il est « définitivement dangereux » et même catastrophique d'observer le Soleil au travers de quelque instrument d'optique que ce soit sans une

¹ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2024/03/mag-CSpour-tous-n11_Y-Opizzo.pdf

² https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2025/09/mag-CSpourtous-n17_Yves-Opizzo.pdf

protection parfaite placée DEVANT l'objectif et en AUCUN cas derrière l'oculaire comme - hélas ! - nombre de firmes proposent. Un filtre au cent millième (1 / 100.000) est nécessaire. L'observation du Soleil sera ainsi agréable et totalement sans danger. Vous verrez les éventuelles taches solaires.

Lorsque le Soleil se rapprochera du méridien donné par la boussole, visez-le avec la lunette du théo et placez-le en plein centre, grâce aux boutons d'azimut et de hauteur. Il va monter dans le ciel, très lentement - et c'est LE problème de la méthode, qui n'est pas d'une très grande précision, car le Soleil reste presque à la même hauteur plusieurs minutes - et vous devez le suivre.

Lorsqu'il ne montera plus, il sera presque dans le méridien. Notez l'heure de votre montre et l'azimut du théo, et attendez que le Soleil redescende légèrement. Notez à nouveau l'heure et l'azimut, et calculez facilement les deux moyennes. Avec un peu d'expérience, vous trouverez le moment correct et le sud avec moins de 30 secondes d'erreur.

Le midi TVL est donné par la formule suivante :

$$\text{TVL} = \text{TEC} - \text{Diflong} - \text{Eqt} - \text{Heure d'été}$$

avec

TEC le Temps de l'Europe Centrale, donc légal, TVL le Temps Vrai Local, Diflong la différence de longitude avec le méridien de référence (Görlitz pour le TEC) et Eqt l'équation du temps.

Il est très important de laisser le théo à l'ombre d'un parasol ! Un théo mécanique chauffe bien davantage du côté ensoleillé et son horizontalité se perd vite. Un électronique possède une compensation automatique, ce qui est vraiment très agréable.

Notez alors la moyenne des deux hauteurs relevées mais aussi des deux azimuts. Cette dernière vous donnera l'axe sud-nord avec une bonne précision, pour tracer le méridien au sol, voire une rose des vents.

Alors un exemple pratique devrait satisfaire tous les lecteurs, en appliquant les valeurs trouvées dans les formules données.

Tout d'abord, regardons sous un autre angle le temps légal. En France, c'est le méridien de Greenwich plus une heure en hiver et deux heures en été qui sert de référence. En Allemagne c'est le méridien de Görlitz plus une heure en été. Mais c'est exactement la même chose, simplement plus complexe en France. En vérité c'est dans les deux pays (en fait dans presque toute l'Europe), que le TEC - Temps de l'Europe Centrale - est la référence. Je préfère donc raisonner à partir du méridien de Görlitz, aussi parce que j'habite de ce côté du Rhin.

Quoi qu'il en soit, vous avez procédé à tout ce qui précède et votre théo est parfaitement réglé, tout comme votre montre. Nous sommes le 6 janvier, les Rois mages se promènent autour de vous avec des couronnes aux fruits confits, avec une fève ET un sujet qui gagnera la couronne en papier doré (la fève donne le droit de concocter soi-même le prochain gâteau !).

La déclinaison solaire est de $-22^{\circ} 25' 45''$, l'équation du temps vaut 5 min 57 s et vous avez trouvé le méridien du lieu. Vous notez rapidement l'heure légale : il est exactement 12 h 36 min 50 s, en régime d'hiver.

Donc les 36 min et 50 s proviennent de l'équation du temps et de la différence de longitude.

Cette dernière est donc égale à 30 min 53 s par rapport au méridien de Görlitz (-15°), soit $7^{\circ} 43'$ plus à l'ouest ($1^{\circ} = 4 \text{ min}$), ce qui nous donne la longitude du lieu : $-15^{\circ} + 7^{\circ} 43'$ soit $-7^{\circ} 17'$. La hauteur dans le théo vaut $23^{\circ} 52'$. Vous en déduisez la latitude du lieu : $43^{\circ} 42'$.

Ça alors, vous êtes au pied du Château, à Nice !



La colline du Château de Nice (ville chère à l'auteur...) vue depuis le parc de Cimiez

Yves Opizzo yves@opizzo.de a réalisé de très nombreux cadrans solaires et remporté à trois reprises un premier prix international pour ses réalisations. Il est l'auteur d'une quinzaine de livres et est membre du comité éditorial de ce magazine. Il est également professeur d'Aïkido (6^e dan). Pour en savoir plus, visiter son site <http://opizzo.de/>

LÀ OÙ LES LIGNES DES PRIÈRES ISHA ET FAJR SE CROISENT

Ferdinando Roveda

Connaissez-vous les cadrans islamiques, aussi appelés « cadrans solaires de prière » ? Lorsqu'un gnomoniste avancé note sur un tel cadran une particularité curieuse, il n'a de cesse d'étudier le cadran de près pour mieux la comprendre... C'est à un tel exercice que se livre Ferdinando Roveda.

Un ancien article de G. Ferrari¹ décrit un cadran de prière islamique² construit par Reinhold Kriegler à Brême (Allemagne). La curiosité de mieux comprendre ce cadran m'a poussé à le recalculer : la seule différence par rapport à l'original était de superposer un tracé avec des lignes horaires modernes (très souvent absentes des cadrans islamiques, qui ont pour seule tâche d'indiquer les moments de prières). Le résultat est présenté à la figure 1.

Cette opération a encore accentué mon intérêt, car elle a mis en évidence que les lignes indiquant « 6 h pour Isha » et « 14 h pour Fajr » se croisent à 14 h (heure locale vraie). Et la question était : est-ce une coïncidence ou est-ce une caractéristique de ces deux lignes ? Évidemment, la question a été suivie d'une étude.

Pour celle-ci nous établissons quelques paramètres de départ et quelques concepts généraux :

- le cadran solaire de Brême place les moments Isha et Fajr à la même hauteur solaire sous l'horizon de -18° , mais nous discuterons du cas de hauteurs égales mais quelconques,
- le cadran solaire lui-même est construit pour indiquer « 6 h pour Isha » et « 14 h pour Fajr », mais, encore une fois, afin d'élargir la discussion à d'autres cas, nous gardons ces références sous une forme plus générique, c'est-à-dire « i h pour Isha » et « f h pour Fajr »,
- rappelez-vous que le mouvement du Soleil est symétrique par rapport à minuit, donc si les hauteurs solaires sont égales pour les deux moments, le moment d'Isha se produira y heures avant minuit, tandis que celui de Fajr aura lieu y heures après minuit.

Cela dit, nous pouvons construire la figure 2, dans laquelle le point A représente l'heure d'intersection de ces deux lignes, et le point M indique minuit (24 h).

Les autres paramètres ont été insérés de manière cohérente avec les hypothèses précédentes (en considérant les hauteurs solaires quelconques).

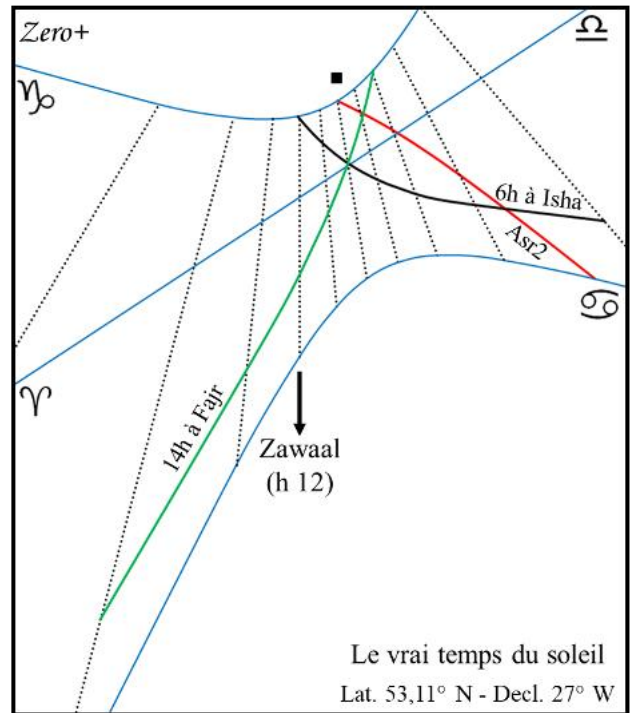


Figure 1

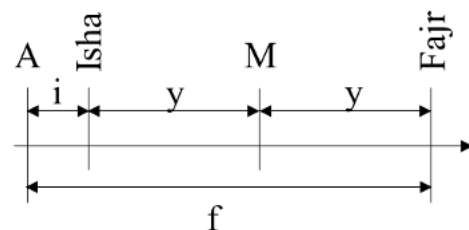


Figure 2

En analysant la figure 2 on peut alors dire que le temps de croisement de ces deux lignes (point A) peut être obtenu, soit en analysant la courbe d'Isha : $H_A = M - y - i$, soit en analysant la courbe Fajr : $H_A = M + y - f$

Ces deux équations doivent évidemment conduire au même résultat (on cherche le point de croisement de ces deux droites), on peut donc écrire : $M - y - i = M + y - f$, d'où l'on obtient : $y = (f - i) / 2$.

En insérant ce résultat dans l'une des équations précédentes on aura alors : $H_A = M - y - i = M - i - (f - i) / 2$ ou encore :

$$H_A = M - (f + i) / 2 \quad (1.1)$$

¹ <https://www.oro-logisolari.eu/download/GnomonicaItaliana22.pdf> - Gnomonica Italiana - N°22 - Novembre 2010

² <https://www.sundialatlas.eu/atlas.php?sun=DE000043>

Cette équation, avec les paramètres utilisés pour le cadran de Brême devient :

$$H_A = 24 - (14 + 6) / 2 = 14 \text{ h}$$

À noter que la latitude et les hauteurs solaires n'ont jamais joué dans notre raisonnement : donc l'intersection de ces deux lignes, si les hauteurs solaires sont égales, se fera toujours à 14 h, où que nous soyons dans le monde.

Nous prévoyons seulement que dans certains cas l'intersection des deux lignes se fera en dehors de la plage de fonctionnement du cadran solaire, c'est-à-dire au-delà des solstices, *mais toujours sur l'extension de la ligne horaire de 14 h*. Bref, le point de passage est toujours là mais dans certains cas on ne le voit pas.

La formule trouvée (1.1) permet également de calculer l'heure d'intersection de ces deux lignes si l'on voulait conserver la ligne « 14 h jusqu'à Fajr » mais tracer, par exemple, la ligne « 4 h jusqu'à Isha » (intersection à 15 h) ou la ligne « 3 h jusqu'à Isha » (intersection à 15 h 30).

La deuxième question est : pourquoi ces deux lignes se croisent-elles juste au-dessus de l'équinoxe ? Pour y répondre, recherchons, pour n'importe quel endroit, à quelle déclinaison solaire δ ces deux lignes se croiseront. Revenons à la formule qui nous donne la hauteur du Soleil : $\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta$ et considérons :

- $\theta = 120^\circ$ (correspondant au moment d'Isha, fixé, comme nous l'avons vu dans cet exemple, 6 h après 14 h, soit l'heure à laquelle la ligne « 6 h jusqu'à Isha » coupe la ligne « 14 h jusqu'à Fajr » :
 $\theta = 15 \cdot (6 + 14 - 12) = 120^\circ$,
- $h = -18^\circ$ (hauteur d'Isha et Fajr), comme pour le cadran solaire de Brême.

Pour le paramètre φ (latitude) on peut mettre la valeur qui nous intéresse le plus (j'utilise presque toujours la latitude de Turin, soit 45°N). En saisissant ces données la formule deviendra alors :

$\sin(-18) = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos(120)$
 que nous devons résoudre, en appliquant les formules trigonométriques habituelles, et en discutant de manière appropriée les résultats, pour obtenir la valeur de déclinaison solaire souhaitée.

Le tableau ci-après présente un résumé des résultats pour certaines latitudes.

On remarque immédiatement que :

- le point d'intersection se déplace en fonction de la latitude,

Latitude	Déclinaison solaire de l'intersection
66,56°	-6,99°
51,83°	0°
45°	3,56°
23,44°	18,48°
18,467°	23,44°
0°	+51,83°
-18,467°	-23,44°
-23,44°	-18,48°
-45°	-3,56°
-51,83°	0°
-66,56°	6,99°

- dans l'hémisphère nord, à mesure que la latitude augmente, ce point se déplace vers des déclinaisons solaires « hivernales » plus basses,
- dans l'hémisphère sud, le phénomène est (évidemment) inversé (à mesure que la valeur absolue de la latitude augmente la déclinaison solaire se déplace vers les valeurs estivales, l'été évidemment pour l'hémisphère nord),
- à l'équateur, la valeur obtenue « semble impossible », car hors du champ des déclinaisons solaires, mais en réalité ce résultat nous indique seulement que les deux lignes de prière se rejoignent sur le prolongement de la ligne horaire de 14 h en dehors de la plage de fonctionnement du cadran solaire,
- par conséquent le dernier point de passage entrant dans la plage de fonctionnement du cadran solaire est obtenu à la latitude de $18,467^\circ$, et se trouvera, pour l'hémisphère Nord, au solstice d'été ($\delta = 23,44^\circ$),
- le phénomène s'inverse à nouveau pour l'hémisphère Sud (intersection à $\varphi = -18,467^\circ$ avec $\delta = -23,44^\circ$).

Évidemment, il est également possible de faire le chemin inverse, c'est-à-dire de définir une déclinaison solaire souhaitée comme valeur de départ, et par conséquent d'obtenir la latitude à laquelle l'intersection de ces deux lignes est obtenue.

Le lecteur souhaitant en savoir plus peut télécharger³ cet article en version beaucoup plus détaillée, où une discussion est notamment développée sur les hauteurs solaires d'Isha différentes de celles de Fajr.

Ferdinando Roveda protokyte21@protonmail.com est ingénieur, passionné de gnomonique depuis son plus jeune âge : à 4 ans il fut attiré pour la première fois par un cadran solaire... Il se consacre aujourd'hui, à Turin, à l'étude de la gnomonique.

³ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/06/Annexe-article_F_Roveda-CSPT-n21.pdf

GNOMONIQUE POUR TOUS Roger Torrenti

Fermement convaincu que la gnomonique peut et doit s'adresser à tous, après avoir développé un cours en ligne (MOOC) pour tous¹, lancé avec un groupe d'amis passionnés le magazine Cadrans solaires pour tous, l'auteur sortira prochainement un ouvrage « La gnomonique à la portée de tous », dont le premier chapitre est reproduit ici, et que vous pourrez télécharger (gratuitement) à sa sortie.

OBJECTIFS DE L'OUVRAGE

Le gnomon (ou « style ») d'un cadran solaire désigne la tige dont l'ombre (ou celle d'une partie de cette tige, son extrémité par exemple) permet de lire l'heure sur la « table » du cadran, où sont tracées des lignes horaires, des courbes diurnes, etc.

On emploie également le terme gnomon pour désigner un simple bâton ou mât placé verticalement dans un sol horizontal, dont l'ombre permet de déduire l'heure ou une direction (nord-sud par exemple).



Sur le sol lunaire, le gnomon emporté par la mission Apollo 17.
(Document Wikimedia Commons - Domaine public)

« La gnomonique (...) est l'art de construire, c'est-à-dire concevoir, calculer et tracer des cadrans solaires » (Wikipédia). Bien entendu « art » ne doit pas être compris ici au sens « artistique », même si de nombreux cadrans solaires ont des qualités artistiques indéniables, mais comme « l'ensemble des procédés, des connaissances et des règles intéressant l'exercice d'une activité » (Larousse).

Pour éviter toute confusion, nous définirons donc plutôt la gnomonique comme une science, un ensemble de connaissances, permettant de connaître le mouvement précis de la Terre autour du Soleil, afin d'en déduire la position du Soleil dans le ciel à tout instant et, in fine, de relier cette position (par l'ombre d'un gnomon) à l'heure légale (celle de nos montres).

Et l'on ne peut que saluer les initiatives, qui se multiplient, d'enseignants (soutenus notamment par le CLEA²) et de clubs d'astronomie, qui utilisent la gnomonique comme une approche pertinente de notions de base d'astronomie.

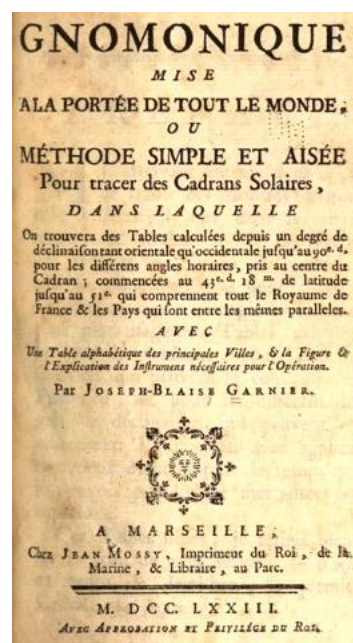
Ainsi définie, la gnomonique est la partie, se focalisant sur la position du Soleil, de « l'astronomie de position » (ou « astrométrie »), cette branche de l'astronomie s'intéressant à la position des objets célestes dans le ciel (étoiles, constellations, Lune, planètes, Soleil, etc.), qui a été si utile, depuis tant de siècles, à la navigation maritime, et même terrestre.

Ces définitions étant données (on pourra télécharger un glossaire assez exhaustif de la gnomonique et des cadrans solaires à l'adresse <https://bit.ly/3uamF4k>), pourquoi vouloir mettre la gnomonique à la portée de tous ?

« Nous avons sur la gnomonique plusieurs ouvrages très savants, mais longs et difficiles (...). L'objet de celui-ci est d'être court, simple et d'une pratique si aisée qu'elle est à la portée de ceux qui ne savent que lire, et un peu d'arithmétique ».

C'est ainsi que Joseph-Blaise Garnier explique, en 1773, sa démarche dans la préface de son ouvrage « Gnomonique mise à la portée de tout le monde », ouvrage constitué en fait de tableaux de données permettant de tracer rapidement des cadrans solaires verticaux (les « montres solaires » d'alors), et ce pour diverses latitudes du « Royaume de France » et diverses orientations du mur sur lequel sera réalisé le cadran.

Couverture de l'ouvrage de Joseph-Blaise Garnier (ouvrage disponible en téléchargement sur <https://books.google.fr>)



¹ <https://www.cadrans-solaires.info/le-mooc/>

² <http://clea-astro.eu/>

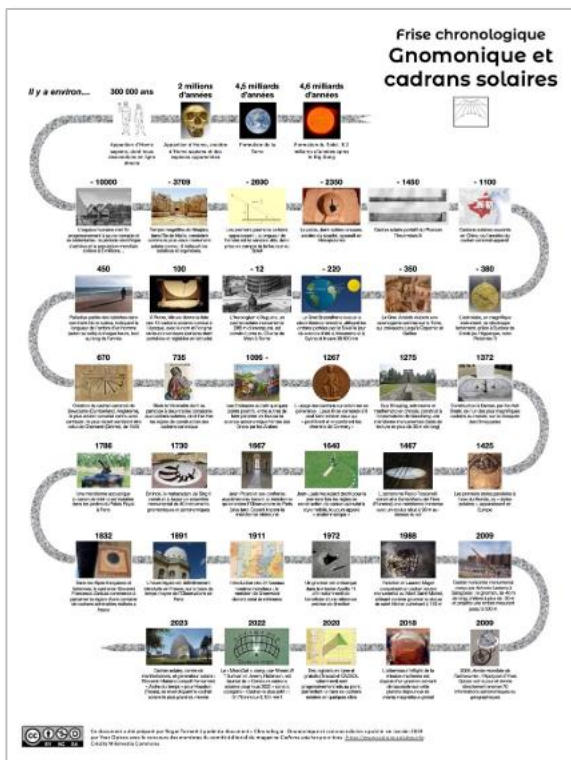
Le présent ouvrage s'inscrit résolument dans la lignée de l'ouvrage de Joseph-Blaise Garnier, et souhaite mettre la gnomonique réellement à la portée de tous, jeunes et moins jeunes, ne disposant pas nécessairement de bagage astronomique ou mathématique conséquent.

Des notions de bases de géométrie (qui s'intéresse au plan et à l'espace) et de trigonométrie (qui s'intéresse aux triangles) peuvent cependant s'avérer utiles pour mieux comprendre certains schémas ou concepts. Ces notions sont rappelées en annexe.

Après avoir parcouru cet ouvrage (ne pas s'inquiéter de l'épaisseur du livre : il y a beaucoup d'illustrations et d'annexes !), vous devriez comprendre le principe de conception de divers cadrans solaires, et être prêt à vous lancer, si vous le souhaitez, dans la réalisation d'un cadran solaire.

Vous pourrez ainsi rejoindre la grande famille des gnomonistes (qui calculent) et des cadraniers (qui réalisent), remontant à la Haute Antiquité et encore active pour concevoir les cadrans qui ornent bâtiments et espaces publics, qui sont utilisés en classe dans les cours d'astronomie ou... qui sont embarqués dans les missions lunaires et martiennes.

Quelques mots, pour conclure sur cette « grande famille », au sujet de l'histoire de la gnomonique et des cadrans solaires, qu'illustre la frise chronologique ci-dessous, un « poster » téléchargeable depuis <https://bit.ly/43Nuhra> (une chronologie complète peut également être téléchargée depuis <https://bit.ly/3u088bW>).



Le Soleil, qui conditionne et rythme la vie sur notre planète, a logiquement suscité l'attention (et souvent l'adoration) des humains depuis les temps les plus reculés.

Les cadrans solaires ont connu leur apogée du XVII^e au XIX^e siècle, sous l'effet des progrès en astronomie, des développements scientifiques nécessaires aux explorations maritimes et de la nécessité accrue de connaître l'heure et de mesurer le temps dans une vie économique et sociale de plus en plus organisée.

Dans la seconde partie du XIX^e siècle, en pleine révolution industrielle, la nécessité de mesurer le temps de façon plus précise et les progrès de l'horlogerie vont progressivement réduire l'utilité des cadrans solaires.

Aujourd'hui, à l'heure du numérique et de la nanoseconde, les cadrans solaires ne sont cependant pas à ranger au rayon des objets désuets et inutiles, ou d'un patrimoine figé. Ils demeurent des objets au fort potentiel pédagogique, peuvent être simples et précis, et continuer à orner utilement des bâtiments et à enrichir l'espace urbain.

Un dernier mot : l'auteur est conscient que le domaine de la gnomonique et des cadrans solaires, comme tout domaine de connaissances, est bien entendu ouvert aussi bien aux (filles et) femmes qu'aux (garçons et) hommes, même si la double flexion, le point médian et toute autre forme d'écriture inclusive ne sont pas systématiquement utilisés dans cet ouvrage.

Hypatie d'Alexandrie, philosophe, mathématicienne, astronome et gnomoniste de la fin du IV^e siècle, imaginée ici par Jules Maurice Gaspard en 1908. (Document Wikimedia Commons - Domaine public)



Roger Torrenti roger@torrenti.net est ingénieur de formation et s'intéresse depuis longtemps à la gnomonique et aux cadrans solaires. Il est le responsable de publication du présent magazine et l'auteur du MOOC *cadrans solaires*. Pour plus de détails voir <https://www.cadrans-solaires.info>.

VOYAGE EN CARTES POSTALES

Alix Loiseleur des Longchamps

Alix Loiseleur des Longchamps nous avait déjà emmenés, dans le précédent numéro dans un voyage en France « au temps des PTT ». Elle poursuit aujourd'hui son « voyage en cartes postales », dans un voyage plus à l'est, en Europe centrale, et plus précisément en Allemagne.

La France, comme évoqué dans le n°20 du magazine, est riche en cadrans solaires mais n'est bien entendu pas le seul pays à avoir installé et conservé des cadrans solaires. Dans le lot de cartes postales que j'ai découvert se trouvait une belle collection représentant des cadrans solaires situés en Allemagne, mais également en République tchèque, en Angleterre, etc. Je me limiterai dans cet article à quelques cadrans solaires allemands, les plus nombreux du lot de cartes postales.

Commençons donc ce parcours par Francfort-sur-le-Main et son imposant cadran équatorial armillaire (photo 1), avec 200 localités gravées sur son anneau. Érigé après la Deuxième Guerre mondiale, dans un quartier de la ville nommé Nizza (Nice !), il fut restauré en 2004 et déplacé sur les bords du Main. Je renvoie au bel article¹ de François Pineau pour découvrir son histoire...

De là, on voyage aussi dans le temps, en s'arrêtant dans les stations thermales de Bavière ou de Rhénanie, certaines actives depuis plus de 250 ans. Elles proposaient des bains minéraux, de tourbe, ou même les propriétés curatives de la saumure... et leurs bâtiments possédaient de beaux cadrans installés dans les parcs et allées des cures. C'était le cas à Bad Brückenau avec un cadran horizontal sur socle en pierre (photo 2), encore visible dans les années 1940.

Le temps des cures est matérialisé par l'aspect stable, répété mais paisible, du cadran solaire...

Plus au nord, à Bad-Sooden, dans la vallée de la Werra, une carte datée du 4 juin 1916, montre une porte-tour ornée d'un magnifique cadran mural (photo 3), avec un soleil rayonnant comme base du style, et surmonté d'une horloge. Deux instruments de mesures proches, le cadran pouvant servir à régler l'heure de l'horloge pour le gardien de la porte.

Une autre carte postale (très « années 70 »...) nous conduit près de la mer Baltique, loin des précédents cadrans baroques et classiques aux chiffres romains et ornements, avec un cadran horizontal monumental installé sur un pavage de galets (photo 4).

Pour rester dans les années 60-70, à Bernburg, dans la Saxe, se trouvait un grand cadran équatorial armillaire, au centre de la place Marx-Engels (photo 5).

Plus vers l'est, une pause à Leipzig, la ville de Bach, Mendelssohn, Schumann, entre autres... Sur la Ringstrasse, trônait un coq sur un cadran vertical de cuivre (photo 6), avec une inscription en lettres cyrilliques indiquant "Apatity", une ville située dans la péninsule de Kola, dans le nord de la Russie. Un ancien jumelage ?

En Rhénanie-Palatinat, à Neuwied, autre station thermale, au dos d'un courrier daté du 22 avril 1940, on peut apercevoir un cadran horizontal sur socle (photo 7) dans le parc Carmen Sylva, surnom de la princesse Élisabeth de Wied (1843-1916) qui épousa en 1869 le prince Karl de Hohenzollern, roi de Roumanie de 1866 à 1914 et devint connue pour son engagement social. Le parc existe encore aujourd'hui mais le cadran n'est plus...

On peut également, sur ces cartes postales d'Allemagne, trouver des devises intéressantes accompagnant les cadrans solaires ou la photo. Ainsi sur une carte postale de Stadt Stolberg (Harz), quartier de la commune de Südharz, en Saxe-Anhalt, on peut voir le cadran mural de la mairie, orné de quelques vers en latin toujours visibles sur le mur d'un bâtiment joliment entretenu et coloré :

*Une heureuse harmonie demeure
Si nous allons ensemble
Si Phébus montre les heures
Si Minerve enseigne les langues
Et si Thémis instruit les citoyens dans les lois
anciennes*

Une autre carte postale, provenant de la ville de Beckum en Rhénanie-du-Nord-Westphalie, montre le cadran solaire de la mairie, avec pour devise :

Pouvez-vous me dire quelle heure il est ?"

Avant de conclure, je souhaite partager une ravissante carte de vœux fleuris et parfumés (photo 8), datée de 1899, incluant la charmante devise :

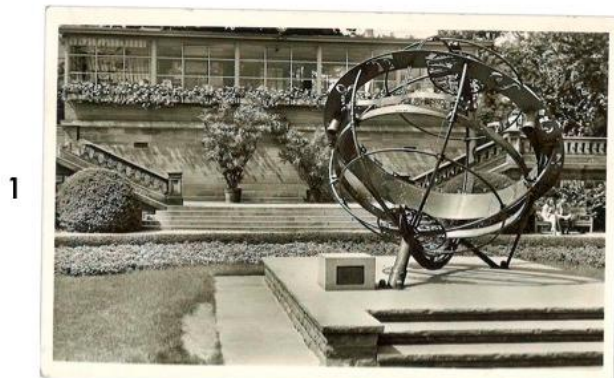
*Fais comme le cadran solaire
Ne compte que les heures ensoleillées.*

¹ <http://www.francoispineau.fr/monde/francfort/francfort.html>

Toutes ces images qui nous sont parvenues, et encore admirables, complètent l'histoire de cette science du temps qui nous passionne. Même si les détails concernant les cadrans solaires en eux-mêmes sont peu accessibles et

peu précis sur ces cartes postales, on y trouve toujours des indications de localisation, d'utilisation et cela répond sans faille à notre curiosité en restant une matière documentaire inestimable.

Après des études de lettres modernes (jusqu'à une thèse ébauchée concernant Paul Meurice), diplômée de l'INTD-CNAM, Alix Loiseleur des Longchamps alixloiseleurdl@yahoo.com est « assez occupée par le merveilleux métier de libraire depuis plus de 30 ans ». Amatrice d'expositions, de broderies, de cuisine, parfois de photos, et de « curiosités » tels que les cadrans solaires, des objets qui la captivent « tout en restant toujours bien énigmatiques ».



POURQUOI LE SOLEIL BRILLE ?

Patrice Poyet

Depuis que l'humanité contemple le ciel, le Soleil constitue l'un des plus grands mystères de la nature. Sans lui, il n'y aurait ni lumière, ni chaleur, ni vie sur Terre. Pourtant, jusqu'au début du XX^e siècle, personne ne savait répondre à la question : d'où provient l'énergie prodigieuse que le Soleil rayonne ?

Aujourd'hui, la réponse paraît presque évidente : le Soleil est une gigantesque centrale à fusion nucléaire. Chaque seconde, près de 600 millions de tonnes d'hydrogène sont transformées en hélium. Au cours de cette réaction, environ 4 millions de tonnes de matière disparaissent et sont converties en énergie conformément à la célèbre relation d'Einstein $E = mc^2$. Cette énergie migre lentement vers la surface avant d'être rayonnée dans l'espace sous forme de lumière et de chaleur.

Cette explication est pourtant l'aboutissement de plusieurs décennies de découvertes qui comptent parmi les plus belles réussites de la physique moderne.

UN MYSTÈRE DU XIX^e SIÈCLE

Au XIX^e siècle, les physiciens ne connaissaient aucune source d'énergie capable d'alimenter le Soleil pendant les immenses durées exigées par la géologie et la théorie de l'évolution de Darwin. Lord Kelvin proposa que le Soleil brillait grâce à sa contraction gravitationnelle, mais ce mécanisme ne lui accordait qu'une durée de vie de quelques dizaines de millions d'années.

Avec les connaissances de son époque, Kelvin ne s'était pas trompé : il lui manquait simplement une physique qui n'existait pas encore.

LA DÉCOUVERTE DE LA FUSION NUCLÉAIRE

Le premier tournant survint en 1905 avec la relativité restreinte d'Einstein, qui établit l'équivalence entre la masse et l'énergie. Quelques années plus tard, Arthur Eddington (1920) proposa que les étoiles tirent leur énergie de la transformation de l'hydrogène en hélium. Restait cependant une difficulté fondamentale : deux noyaux d'hydrogène, tous deux chargés positivement, se repoussent fortement. Comment pouvaient-ils fusionner au cœur des étoiles ?

La réponse fut apportée en 1928 par George Gamow. Grâce à la mécanique quantique, il montra qu'une particule peut franchir une barrière d'énergie qu'elle serait incapable de surmonter selon la physique classique : c'est l'effet tunnel. Ce mécanisme rend possibles les réactions de fusion aux températures régnant au

centre des étoiles. Dès l'année suivante, Atkinson et Houtermans (1929) appliquèrent cette idée aux réactions nucléaires stellaires. La théorie moderne fut finalement établie en 1939 par Hans Bethe.

Il démontra que le Soleil produit son énergie principalement par la chaîne proton-proton, tandis que les étoiles plus massives utilisent essentiellement le cycle carbone-azote-oxygène (CNO). Ces travaux constituent encore aujourd'hui le fondement de l'astrophysique stellaire.

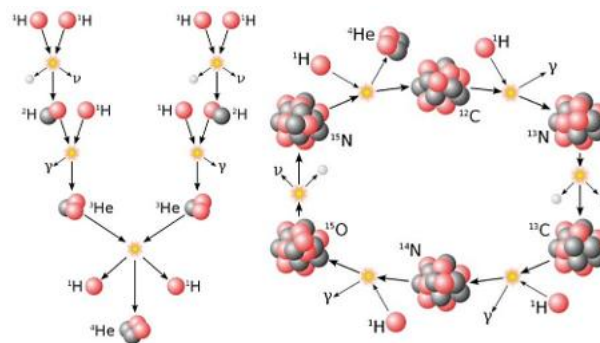


Fig. 1. Les deux principaux mécanismes de production d'énergie dans les étoiles : la chaîne proton-proton, dominante dans le Soleil, et le cycle CNO, prédominant dans les étoiles plus massives.

COMMENT LE SOLEIL PRODUIT SON ÉNERGIE

Au centre du Soleil, où la température atteint environ 15 millions de kelvins, la gravitation tend à comprimer l'étoile tandis que l'énergie produite par la fusion nucléaire exerce une pression qui s'oppose à cet effondrement. Cet équilibre hydrostatique maintient le Soleil remarquablement stable depuis près de 4,6 milliards d'années.

Chaque seconde, environ 600 millions de tonnes d'hydrogène sont converties en 596 millions de tonnes d'hélium. Les quatre millions de tonnes « manquantes » sont transformées en énergie sous forme de photons et de neutrinos, produisant la luminosité solaire de $3,8 \times 10^{26}$ watts environ.

Pendant plusieurs décennies, les astronomes furent confrontés au « problème des neutrinos solaires » : les détecteurs en observaient moins que ne le prédisaient les modèles. La solution vint de la physique des particules : les neutrinos changent de saveur durant leur trajet entre le

Soleil et la Terre. Les observations modernes, l'héliosismologie et les mesures de neutrinos confirment aujourd'hui avec une remarquable précision notre compréhension de l'intérieur solaire (Christensen-Dalsgaard, 2021).

LE DESTIN DU SOLEIL

Le Soleil continuera à produire son énergie de cette manière pendant environ cinq milliards d'années encore. Lorsque son hydrogène central sera épuisé, il se dilatera pour devenir une géante rouge avant d'éjecter progressivement ses couches externes dans l'espace sous la forme d'une nébuleuse planétaire.



NGC 6553 (M27), Nébuleuse de l'Haltère, photographiée par l'auteur le 30/07/2008 - T620 F/D 4,5 (43°44'878 6°56'202) à 1 145 m.

Nébuleuse planétaire située à environ 1 360 années-lumière, son rayon de 1,01 année-lumière implique un âge cinématique de 9 800 ans. On estime que la naine blanche centrale, à l'origine de la nébuleuse, a un rayon de $0,055 \pm 0,02 R_{\odot}$ (0,13 seconde-lumière) et une masse estimée à $0,56 \pm 0,01 M_{\odot}$.

(avec $R_{\odot}$ l'unité de mesure astronomique « rayon solaire » et $M_{\odot}$ l'unité de mesure astronomique « masse solaire »).

Dans environ cinq milliards d'années, le Soleil formera lui aussi une nébuleuse planétaire avant de laisser subsister une naine blanche en son centre.

L'explication de l'énergie solaire constitue l'une des plus belles victoires de la physique moderne. En moins d'un demi-siècle, la relativité, la mécanique quantique et la physique nucléaire ont permis de résoudre une énigme qui avait résisté à plusieurs générations de scientifiques.

Ce qui apparaissait autrefois comme un mystère

remarquables de la puissance explicative de la science.

Chaque rayon de soleil qui atteint notre planète est ainsi le témoin d'une réaction nucléaire commencée au cœur de l'étoile il y a des dizaines de milliers d'années. Comprendre pourquoi le Soleil brille, c'est finalement comprendre l'origine de presque toute l'énergie qui fait vivre la Terre.

"Je n'ai fait celle-ci plus longue que parce que je n'ai pas eu le loisir de la faire plus courte" Blaise Pascal (1656).

Version intégrale de l'article

Une version longue de cet article est disponible à l'adresse¹ ; elle est une adaptation à partir du livre du même auteur "Stairway to Heaven - Cosmos and Life" §3.3-3-4 p. 133-141, ouvrage qui est librement téléchargeable ici².

Références

- Atkinson, R. d'Escourt, & Houtermans, F. G. (1929). Zur Frage der Aufbaumöglichkeit der Elemente in Sternen. Zeitschrift für Physik, 54, 656-665.
- Bethe, H. A. (1939). Energy Production in Stars. Physical Review, 55(1), 103-103.
- Burbidge, E. M., Burbidge, G. R., Fowler, W. A., & Hoyle, F. (1957). Synthesis of the Elements in Stars. Reviews of Modern Physics, 29(4), 547-650.
- Christensen-Dalsgaard, J. (2021). Solar structure and evolution. Living Reviews in Solar Physics, 18(1), 2.
- Eddington, A. S. (1920). The Internal Constitution of the Stars. The Scientific Monthly, 11(4), 297-303.
- Gamow, G. (1928). Zur Quantentheorie des Atomkernes. Zeitschrift für Physik, 51, 204-212.

Patrice Poyet, patricepoyet@yahoo.com est Docteur ès Sciences (1986) et s'est passionné pour la géologie, la planétologie, l'astronomie, l'informatique et la finance.

Pour plus de détails voir son profil et ses publications sur ResearchGate³ et ORCID⁴.

¹ https://www.researchgate.net/publication/408306013_POURQUOI_LE_SOLEIL_BRILLE

² https://www.researchgate.net/publication/403387930_Stairway_to_Heaven-Cosmos_and_Life

³ <https://www.researchgate.net/profile/Patrice-Poyet>

⁴ <https://orcid.org/0000-0001-8792-6874>

FAIRE PARLER DES PIERRES...

DU DESTIN D'UN CADRAN SOLAIRE

Roland Müller

L'auteur a repéré une pierre singulière dans la tour de l'église Saint-Martin de Sindelfingen et a mené une enquête minutieuse dont il nous livre les résultats, dans un texte traduit de l'allemand par Yves Opizzo et parsemé de brefs poèmes, sur le modèle d'haïkus japonais, prisés par l'auteur.

*Tendre une oreille
À vieille pierre taillée
Gnomoniquement*

La plus ancienne église de la ville où je réside, Sindelfingen, dans le sud-ouest de l'Allemagne, est l'église Saint-Martin. Sa construction commença en 1069 et fut achevée en 1135 avec une tour isolée. Auparavant, se trouvait à cet endroit un monastère occupé par des membres de l'ordre bénédictin.

Celui-ci avait été dissous afin de permettre l'édification d'une nouvelle et grande église, financée par des nobles.

La brochure des responsables de l'église mentionne un cadran canonial sur le côté sud de la tour, à 1,70 m de hauteur. Le style aurait disparu, dit-on, mais le trou serait encore visible. En réalité, l'un des blocs de pierre montre des rainures gravées qui peuvent être interprétées comme caractéristiques d'un cadran canonial. Pourtant, à l'endroit où devrait se trouver le trou du gnomon, n'est visible que le joint de mortier menant au bloc supérieur. Dans la pierre voisine, un trou est bien visible, mais sa position ne peut en aucun cas correspondre au cadran solaire.



*L'église Saint-Martin de
Sindelfingen*



*Une pierre
singulière de la
tour*

En soi, une telle découverte sur une ancienne église romane n'a rien d'inhabituel. Rien qu'en Angleterre, on connaît des milliers de ces « mass dials ». Ce qui m'intéressait pourtant, c'était de savoir qui utilisait cette « horloge de la tour » et à quelle époque. Les historiens locaux n'ont pu m'apprendre que ceci : de 1069 à 1477, l'église fut dirigée par des chanoines séculiers, puis par des chanoines augustins, et depuis 1536 elle est protestante.

Les chanoines séculiers avaient-ils besoin d'un cadran solaire à cet endroit ? Les augustins, à la fin du ^{xv}e siècle, utilisaient-ils encore un cadran canonial ? Le doute s'est installé... Certes, aujourd'hui encore, en plaçant une tige horizontalement au point du compas du demi-cercle gradué, les heures de prière de Prime à Vêpres se lisent parfaitement. Mais la liturgie correspondante était plutôt typique des communautés monastiques soumises à une règle. Et puis, pourquoi un cadran solaire à hauteur d'homme, et non pas bien visible, au centre du mur ? Sur une tour de 42 m de haut et 7 m de large, il y aurait eu largement de la place pour un tel instrument.

Un autre élément déroutant : en plus des rainures correspondant aux heures des prières, on aperçoit d'autres traces de travail humain : deux lignes, l'une brisée entre Prime et Tierce, l'autre entre None et Vêpres, un V et un O. Mais surtout, on remarque que le demi-cercle de l'échelle semble étrangement aplati. En mesurant la longueur des rainures, il est aisé de constater que la ligne verticale de midi est légèrement plus courte que les autres, et que les rainures horizontales de Prime et de Vêpres disparaissent presque dans le joint supérieur du mur.

J'ai consulté à ce sujet des spécialistes des cadrans solaires ainsi qu'un tailleur de pierre ayant une expérience historique. Pour les rainures et signes supplémentaires, aucune explication vraiment convaincante n'a pu être trouvée. Il est possible que l'on ait tenté, alors que le cadran était déjà en usage, d'affiner ultérieurement son tracé ou de l'adapter à des heures de prière modifiées. Mais ces essais, si tant est qu'ils aient eu lieu, doivent être

considérés comme des échecs. Nous ignorons ce qui était réellement envisagé.

Le tailleur de pierre m'a toutefois signalé une particularité de la construction des églises au Moyen Âge : les murs en maçonnerie étaient symboliquement perçus comme la communauté de tous les fidèles. Les pierres étaient choisies avec le plus grand soin, taillées, et posées couche après couche avec leur plus belle face tournée vers l'extérieur. Le joint de mortier entre les assises devait idéalement être horizontal et d'épaisseur régulière. Si une pierre ne s'ajustait pas parfaitement, c'était elle que l'on adaptait au joint, et non l'inverse.

La maçonnerie de l'église Saint-Martin de Sindelfingen présente des pierres de tailles et de natures différentes. Presque toutes sont en grès, de couleur jaune, blanche, grise ou rouge. Cela laisse supposer des lieux d'extraction variés dans un rayon d'environ 20 km. À cette époque, il devait être extrêmement laborieux d'extraire, transporter et façonner plusieurs milliers de pierres de ce type selon les besoins du chantier. Mais il existait une « carrière » juste à côté du site de construction : les blocs déjà taillés de l'ancien monastère ! Réutiliser un tel trésor est une pratique courante depuis de nombreux siècles, chaque fois que cela est possible.

Il est donc très probable que, lors de la construction de l'église Saint-Martin et de sa tour, des pierres aient été réemployées. Et l'un de ces blocs déjà équarris a pu s'insérer parfaitement dans l'une des assises du côté sud de la tour. Toutefois, il était légèrement trop haut pour le joint de mortier supérieur. Pour les tailleurs de pierre, ce n'était pas un problème : ils ont simplement retiré quelques centimètres sur la partie supérieure, détruisant ainsi la portion supérieure du bloc qui se trouvait auparavant sur un mur du monastère et qui était... un cadran canonial !

Les choses ont pu se passer ainsi. Le cadran solaire est devenu un simple bloc de maçonnerie, en quelque sorte mis hors service. Heureusement, il en subsiste assez pour que son visage révèle sans ambiguïté la fonction monastique qu'il remplissait à l'origine.

*Le temps, un enfant
Céleste père, Soleil
Terrestre mère*

J'ai eu l'occasion de présenter cette interprétation à un groupe de personnes intéressées lors de la fête estivale de l'église, devant la tour, et de la démontrer directement

sur l'objet incrusté dans la maçonnerie.

Malheureusement, une activité prévue un peu plus tard pour des écoliers n'a pas pu être réalisée. J'avais envisagé d'y aborder une question posée par Roger Torrenti dans le numéro 20 de ce magazine¹ « Que se passerait-il si, à la suite d'une catastrophe, soudainement aucune horloge au monde ne fonctionnait ? ». Le chemin vers la solution aurait notamment conduit à un cadran canonial, comme celui que suggère l'église Saint-Martin de Sindelfingen.

Ce cadran pourrait être remis en état de fonctionnement sans difficulté : un trou dans le joint et une tige horizontale suffiraient. Mais les spécialistes déconseillent une telle intervention, car l'objet original encore visible possède une valeur historique bien supérieure.

L'un des pasteurs responsables a eu l'idée de faire revivre, durant une journée entière, les heures de prière telles que « l'horloge de la tour » les indique lorsqu'on y place une petite baguette. Peut-être ce projet verra-t-il le jour.

Peut-être une activité pour enfants sera-t-elle finalement organisée. Une plaque d'information a également été suggérée, afin d'attirer l'attention des visiteurs de l'église et des passants sur cette pierre tout à fait singulière dans la tour.

Et je serais très heureux de contribuer, de cette manière, à rendre hommage à ce cadeau gnomonique venu du Moyen Âge, qui mérite sans aucun doute d'être honoré.

Mais en regard de la question évoquée plus haut par Roger Torrenti, une chose est certaine : tant que la Terre en rotation poursuivra son voyage autour du Soleil, les cadrans solaires fonctionneront.

Même un petit bâton ramassé sous l'arbre près de l'église peut devenir une baguette magique, une langue qui fait parler la pierre de la tour. Alors, le temps glisse lentement d'une rainure à l'autre, comme il le faisait déjà il y a près de mille ans, afin que soit accompli l'ordre biblique de s'arrêter cinq fois entre le lever et le coucher du Soleil pour louer Dieu : Prime, Tierce, Sexte, None et Vêpres.

*Le temps glisse
Lentement, comme une ombre
Dans la lumière*

Roland Müller (familie.mueller@t-online.de) est un passionné bien connu de la gnomonique et des cadrans solaires en Allemagne, et l'un des 5 lauréats de notre concours 2024 (voir le n° 14 du magazine²)

¹ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/05/maq-CSpour tous-n20_R-Torrenti.pdf

² https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2024/12/maq-CSpour tous-n14_resultats-concours-2024.pdf

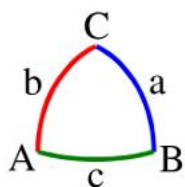
LA TRIGONOMETRIE SPHÉRIQUE - 3

Yvon Massé

Voici le troisième et dernier volet (avant un exemple d'application dans le prochain numéro) de « l'introduction à la trigonométrie sphérique » que l'auteur a bien voulu préparer à l'intention des lectrices et lecteurs de ce magazine. Un peu ardu mais passionnant et très utile !

Dans cette dernière partie nous aborderons la résolution des triangles sphériques quelconques en utilisant le minimum de relations nécessaires. Ce ne seront pas obligatoirement celles que vous retrouverez dans les anciens traités de trigonométrie, disons antérieurs aux années 1970, car avant cette époque il y avait une contrainte supplémentaire : les seuls outils de calcul précis et disponibles étaient les tables de fonctions trigonométriques et de logarithmes. Aussi le formulaire proposé était orienté vers des relations où les opérateurs entre les fonctions trigonométriques n'étaient que multiplication, division et racine carrée. Aujourd'hui où le plus simple appareil numérique permet de faire les calculs les plus complexes avec des précisions bien supérieures au besoin, cette contrainte n'a plus raison d'être.

Avant tout, rappelons qu'un triangle sphérique est déterminé par six grandeurs, trois angles aux sommets et trois côtés dont les longueurs sont aussi des angles. Toutes ces grandeurs sont comprises entre 0 et 180°. La trigonométrie sphérique démontre que pour résoudre un triangle il faut au moins connaître trois grandeurs quelconques, côté ou angle. Un petit recensement montre qu'il n'y a que 6 configurations de 3 grandeurs connues. Enfin les propriétés du triangle polaire que nous avons abordées à la partie précédente¹ permettent de regrouper ces configurations deux par deux et obtenir ainsi 3 groupes qui partagent des modes de résolution similaires. Pour chaque groupe nous détaillerons la première configuration et aborderons rapidement le formulaire de la seconde.



Commençons par la configuration où tous les côtés sont connus. Il est possible de résoudre le triangle avec un seul type de relation qui découle d'une formule importante car elle est dite **fondamentale**.

On la retrouve aussi sous l'appellation **formule du cosinus des côtés** et elle constitue un groupe de 3 relations, les voici :

$$\begin{aligned}\cos a &= \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \\ \cos b &= \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B \\ \cos c &= \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C\end{aligned}$$

En les remaniant elles permettent de calculer chaque angle indépendamment des autres :

$$\begin{aligned}\cos A &= \frac{\cos a - \cos b \cdot \cos c}{\sin b \cdot \sin c} \\ \cos B &= \frac{\cos b - \cos a \cdot \cos c}{\sin a \cdot \sin c} \\ \cos C &= \frac{\cos c - \cos a \cdot \cos b}{\sin a \cdot \sin b}\end{aligned}$$

Il se peut toutefois qu'avec trois valeurs de côté il ne soit pas possible de construire un triangle sphérique. C'est le cas notamment quand le troisième côté est supérieur à la somme des deux premiers. On peut le détecter dès le premier calcul de la fraction qui donne le cosinus d'un angle, que ce soit A, B ou C : le résultat est dans ce cas hors de l'intervalle -1 à 1.

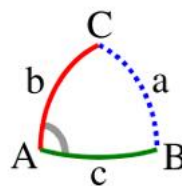
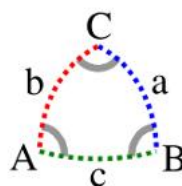
La seconde configuration où tous les angles sont connus peut se ramener à la première en considérant, comme nous l'avons indiqué en introduction, le triangle polaire du triangle à résoudre. Les équations nécessaires pour effectuer la résolution sont donc les relations duales des précédentes qui s'obtiennent en utilisant les formules de passage entre angle et côté. On obtient :

$$\begin{aligned}\cos a &= \frac{\cos A + \cos B \cdot \cos C}{\sin B \cdot \sin C} \\ \cos b &= \frac{\cos B + \cos A \cdot \cos C}{\sin A \cdot \sin C} \\ \cos c &= \frac{\cos C + \cos A \cdot \cos B}{\sin A \cdot \sin B}\end{aligned}$$

Ici encore, 3 angles donnés peuvent ne pas pouvoir constituer un triangle sphérique (par exemple : leur somme doit être supérieure à 180°). On s'en rendra compte par le calcul d'une des 3 fractions qui donnera un résultat hors de l'intervalle -1 à 1.

La troisième configuration est plus simple car il y a toujours une solution et elle est unique. C'est celle où deux côté et l'angle formé par ceux-ci sont connus, associons ces grandeurs aux lettres repères A, b et c. Nous pouvons déjà calculer le troisième côté avec la formule fondamentale :

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A$$



Ayant ainsi tous les côtés, on peut finaliser la résolution en se reportant à la première configuration, mais on peut aussi souhaiter calculer directement les angles B et C.

Il faut dans ce cas utiliser une autre formule dite **des cotangentes** ou **des quatre éléments se faisant suite**. Ces éléments sont pris dans l'ordre sur le triangle à partir d'un côté, en parcourant le triangle soit dans un sens soit dans l'autre. En numérotant les éléments de 1 à 4, la formule s'écrit :

$$\cos 2 \cdot \cos 3 = \cot 1 \cdot \sin 3 - \cot 4 \cdot \sin 2$$

et elle constitue un groupe de 6 relations. Les deux qui nous intéressent sont :

$$\cos A \cdot \cos c = \cot b \cdot \sin c - \cot B \cdot \sin A$$

$$\cos A \cdot \cos b = \cot c \cdot \sin b - \cot C \cdot \sin A$$

d'où l'on tire :

$$\cot B = \frac{\cot b \cdot \sin c - \cos A \cdot \cos c}{\sin A}$$

$$\cot C = \frac{\cot c \cdot \sin b - \cos A \cdot \cos b}{\sin A}$$

L'utilisation de la cotangente se prête bien à l'obtention des angles (ou des côtés) car ils sont compris entre 0 et 180°, ce qui correspond de façon unique à toutes les valeurs que peut prendre une cotangente. Malheureusement la fonction cotangente et son inverse sont rarement implantés dans les applications numériques ou les langages de programmation. Pour y palier, l'inversion des fractions pour utiliser les fonctions tan() et atan() présente l'inconvénient d'avoir un passage à l'infini pour 90° et de devoir effectuer un changement de quadrant pour les valeurs négatives.

La meilleure façon de s'en sortir est d'utiliser, si elle est disponible, la fonction atan2() qui prend 2 arguments. Comme dans la majorité des langages de programmation, nous considérerons que le premier argument est l'ordonnée du cercle trigonométrique, le second l'abscisse (attention, l'ordre utilisé dans les tableurs est généralement l'inverse). En réorganisant les relations ci-dessus on obtient :

$$\tan B = \frac{\sin b \cdot \sin A}{\cos b \cdot \sin c - \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A}$$

$$\tan C = \frac{\sin c \cdot \sin A}{\cos c \cdot \sin b - \sin c \cdot \cos b \cdot \cos A}$$

Ce qui peut alors se coder, par exemple en Python au bas de cette page, et fournir ainsi directement les angles recherchés.

La quatrième configuration est celle où deux

angles B et C ainsi que le côté commun a sont connus. Ici encore les relations à utiliser sont les relations duales de la configuration précédente :

$$\cos A = -\cos B \cdot \cos C + \sin B \cdot \sin C \cdot \cos a$$

$$\cot b = \frac{\cot B \cdot \sin C + \cos a \cdot \cos C}{\sin a}$$

$$\cot c = \frac{\cot C \cdot \sin B - \cos a \cdot \cos B}{\sin a}$$

La cinquième configuration concerne le cas où deux côtés et un angle externe sont connus, ils seront désignés par a, b et A. C'est la configuration la plus complexe à résoudre car elle comprend un nombre conséquent de cas particuliers et elle aboutit à un nombre variable de solutions. Par ailleurs, elle ne permet pas d'obtenir directement un angle, la résolution se fait d'abord en calculant l'angle intermédiaire B avant de pouvoir déterminer les valeurs restantes.

Éliminons d'abord les cas particuliers quand les côtés a et b sont identiques. S'ils sont différents de 90°, il ne peut y avoir de solution que si A et a sont tous les deux ou aigus ou obtus. Si cette condition est remplie, comme le triangle est isocèle, l'angle B prend donc la valeur de A et les valeurs restantes sont données par les relations :

$$\tan \frac{c}{2} = \tan a \cdot \cos A \text{ et } \tan \frac{C}{2} = \frac{1}{\cos a \cdot \tan A}$$

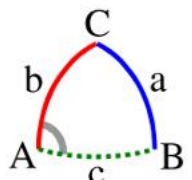
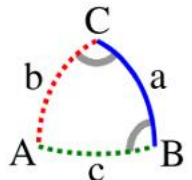
Si a et b font 90°, il n'y a de solution que si A est aussi égal à 90° et comme B doit à son tour être égal à 90°, le seul triangle possible est alors birectangle. Les angles c et C doivent donc être identiques et il y a une infinité de solution car on peut choisir ces deux angles dans l'intervalle de 0 à 180°.

Pour tous les autres cas, on s'assure d'abord qu'il soit possible d'obtenir une valeur de B par la formule des sinus², ce qui donne la condition :

$$\frac{\sin A}{\sin a} \sin b \leq 1$$

Si elle n'est pas remplie, il n'y a pas de solution. Sinon B peut prendre les deux valeurs suivantes :

$$B_1 = \arcsin\left(\frac{\sin A}{\sin a} \sin b\right) \text{ et } B_2 = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{\sin A}{\sin a} \sin b\right)$$



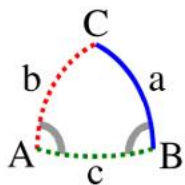
```
B = atan2(sin(b)*sin(A), cos(b)*sin(c) - sin(b)*cos(c)*cos(A))
C = atan2(sin(c)*sin(A), cos(c)*sin(b) - sin(c)*cos(b)*cos(A))
```

Il y a donc potentiellement deux solutions possibles mais c'est à la prochaine étape qu'elles seront validées, quand une des deux relations suivantes, appelées **analogies de Neper**, sera calculée avec B_1 puis B_2 :

$$\tan \frac{c}{2} = \frac{\tan \frac{a-b}{2} \cdot \sin \frac{A+B}{2}}{\sin \frac{A-B}{2}} \quad \text{et} \quad \tan \frac{C}{2} = \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\tan \frac{A-B}{2} \cdot \sin \frac{a+b}{2}}$$

Pour que la solution découlant de B_1 ou B_2 soit valide, il suffit que le résultat de la fraction soit positif (s'il est positif pour une fraction, il le sera pour l'autre) et on peut alors finaliser la résolution du triangle. Une dernière condition, qui relève du cas particulier, peut aussi invalider une solution : quand B_1 ou B_2 est égal à A , ce qui se produit quand a est le complément de b à 180° .

Tous les cas de figure peuvent donc se présenter : 2 solutions avec B_1 et B_2 , une seule solution avec B_1 ou B_2 , et aucune solution, c'est-à-dire qu'on ne peut pas établir de triangle sphérique avec les valeurs connues.



La sixième et dernière configuration, celle où deux angles A et B ainsi que le côté externe a sont connus, est très similaire à la cinquième car après avoir déterminé l'angle du côté b , on se retrouve avec les mêmes grandeurs que dans la seconde partie de la résolution précédente.

Considérons d'abord les cas particuliers où A et B sont égaux mais différents de 90° . Pour que le triangle puisse exister il faut que les angles A et a soient tous les deux ou aigus ou obtus. Si c'est le cas, la symétrie impose que $b = a$ et les angles restants se calculent avec les relations :

$$\tan \frac{c}{2} = \tan a \cdot \cos A \quad \text{et} \quad \tan \frac{C}{2} = \frac{1}{\cos a \cdot \tan A}$$

Si A et B sont des angles droits, le triangle ne peut exister que si $a = 90^\circ$ et par suite $b = 90^\circ$. Dans ce cas il y a une infinité de solutions avec $C = c$.

Dans le cas général, l'obtention de la grandeur du côté b dépend de la condition :

$$\frac{\sin a}{\sin A} \sin B \leq 1$$

Si elle n'est pas remplie, il n'y a pas de solution. Sinon il faut calculer les valeurs suivantes :

$$b_1 = \arcsin \left(\frac{\sin a}{\sin A} \sin B \right) \quad \text{et} \quad b_2 = 180^\circ - \arcsin \left(\frac{\sin a}{\sin A} \sin B \right)$$

puis valider les solutions qui en découlent potentiellement en remplaçant b par b_1 puis b_2 dans une des fractions suivantes. Si le résultat

est positif, la solution est valide et les valeurs de c et C peuvent être déterminées.

$$\tan \frac{c}{2} = \frac{\tan \frac{a-b}{2} \cdot \sin \frac{A+B}{2}}{\sin \frac{A-B}{2}} \quad \text{et} \quad \tan \frac{C}{2} = \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\tan \frac{A-B}{2} \cdot \sin \frac{a+b}{2}}$$

Enfin, si A est le complément de B à 180° , il faut aussi invalider le cas où a est égal à b_1 ou b_2 .

Proposons-nous, maintenant que le formulaire est entièrement établi, de l'appliquer à nos préoccupations gnomoniques. Auparavant nous ferons une observation qui a toute son importance dans ce passage de la théorie à la pratique. Comme nous l'avons vu, les angles comme les côtés d'un triangle sphérique sont toujours compris entre 0 et 180° , ce qui ne permet d'atteindre, en taille maximale, que la moitié d'une sphère... Et nous voulons pouvoir couvrir la sphère entière ! Pour cela, il suffit d'associer deux triangles différents et, par exemple, dans le cadre de la sphère céleste en gnomonique ce seront les deux hémisphères oriental et occidental. Pour les distinguer, les azimuts et angles horaires sont comptés négativement pour la partie orientale, positivement pour l'occidentale.

Considérons à présent le triangle de position représenté à la figure ci-dessus et gardons bien à l'esprit que, lorsque angle horaire et azimut ne sont pas connus, sa résolution dans le cadre général nécessite de considérer aussi son triangle miroir par rapport au plan du méridien. Recherchons maintenant la hauteur du Soleil en connaissant sa déclinaison, la latitude du lieu et l'angle horaire. On a donc la troisième configuration et nous recherchons le dernier coté du triangle qui s'obtient par la formule fondamentale :

$$\cos(90^\circ - h) = \cos(90^\circ - \varphi) \cdot \cos(90^\circ - \delta) + \sin(90^\circ - \varphi) \cdot \sin(90^\circ - \delta) \cdot \cos H$$

ce qui donne la relation bien connue :

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

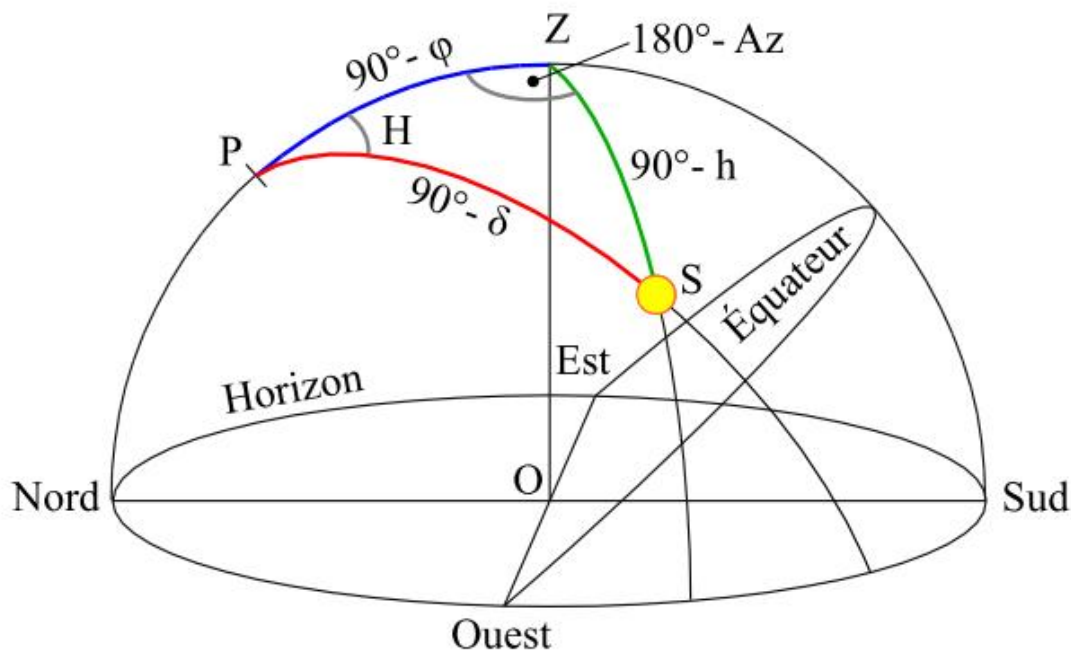
Si maintenant nous voulons calculer l'azimut Az du Soleil à partir de ces mêmes grandeurs, il faut utiliser la relation :

$$\cot(180^\circ - Az) = \frac{\cot(90^\circ - \delta) \cdot \sin(90^\circ - \varphi) - \cos H \cdot \cos(90^\circ - \varphi)}{\sin H}$$

que l'on présente souvent sous la forme :

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

Comme nous l'avons vu précédemment, elle présente l'inconvénient d'avoir un infini quand l'azimut est de 90° , c'est-à-dire quand le Soleil est soit plein est soit plein ouest, et d'avoir à reprendre le quadrant de l'azimut quand le



résultat de la fraction est négatif.

Terminons par la recherche de l'angle horaire en connaissant l'azimut du Soleil, sa déclinaison et la latitude avec les valeurs suivantes :

$$Az = 107^\circ$$

$$\delta = 20^\circ$$

$$\varphi = 15^\circ$$

Nous avons donc la cinquième configuration et pour faciliter nos calculs, donnons dès maintenant les valeurs aux lettres repères utilisées dans le principe de la résolution :

$$a = 90^\circ - \delta = 70^\circ$$

$$b = 90^\circ - \varphi = 75^\circ$$

$$A = 180^\circ - Az = 73^\circ$$

et recherchons l'angle horaire qui est désigné par C.

N'étant pas dans le cadre des cas particuliers, il nous faut maintenant vérifier que les angles

intermédiaires B_1 et B_2 existent et calculer leurs valeurs :

$$\sin B_1 = \frac{\sin A}{\sin a} \sin b = 0,983$$

Le résultat indique que nous pouvons bien poursuivre notre investigation avec les valeurs

$B_1 = 79,42^\circ$ et $B_2 = 100,58^\circ$. Introduisons-les dans l'analogie de Neper qui détermine l'angle C.

Nous obtenons les valeurs suivantes :

$$\tan \frac{C}{2} = \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\tan \frac{A-B_1}{2} \cdot \sin \frac{a+b}{2}} = 0,8155$$

et

$$\tan \frac{C}{2} = \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\tan \frac{A-B_2}{2} \cdot \sin \frac{a+b}{2}} = 0,1863$$

Elles sont toutes les deux positives, ce qui signifie qu'il faut bien considérer les deux solutions qui correspondent respectivement à $78,39^\circ$ et $21,11^\circ$, ou encore 17 h 14 et 13 h 25. En effet, vous l'aviez peut-être déjà remarqué, les valeurs d'entrée répondent à la condition de rétrogradation de l'ombre qui a été abordée dans notre numéro 12³. C'est le constat de cette double solution qui a conduit Nunes à affirmer l'existence de ce phénomène.

Dans le prochain article, à titre d'illustration de la résolution des triangles sphériques quelconques, nous aborderons une application spécifique qui a historiquement permis de tracer des méridiennes intérieures.

Yvon Massé yvasse2@wanadoo.fr a été présenté dans le n°2 de ce magazine⁴. Il développe notamment le site <https://gnomonique.fr/> et anime le dynamique forum gnomonique qui lui est associé.

¹ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/05/mag-CSpour-tous-n20_Y-Masse.pdf

² Voir la première partie https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/02/mag-CSpour-tous-n19_Y-Masse.pdf

³ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2024/05/mag-CSpour-tous-n12_Y-Masse.pdf

⁴ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2022/04/mag-CSPT-n2-Y_Masse.pdf

L'ANALEMME UNIVERSEL DE FERGUSON, UNE MAQUETTE ASTRONOMIQUE

David Alberto

L'auteur nous fait découvrir le double instrument astronomique que James Ferguson a conçu au milieu du XVIII^e siècle, nous en explique le mode d'emploi détaillé et présente la maquette qu'il a bâtie de cet instrument, invitant le lecteur à télécharger le fichier permettant de le réaliser.

À PROPOS DE JAMES FERGUSON

L'Écossais James Ferguson (1710-1776), astronome autodidacte né dans une modeste famille de fermiers, s'est rendu célèbre en Grande-Bretagne pour ses conférences, maquettes, articles et ouvrages de vulgarisation dans les domaines de l'astronomie, de la mécanique et de l'électricité. Il devient membre de la Royal Society en 1763.

Ses principales réalisations astronomiques sont des horloges et des planétaires, mais son *Astronomical Rotula*, une maquette de papier destinée aux éclipses, connaît un certain succès en Grande-Bretagne dès les années 1740. Plus tard il conçoit le *New Astronomical Instrument*, dédié à la détermination des heures de lever et coucher du Soleil, de la Lune et des étoiles. Nous présentons ici une double maquette en papier visible sur le site internet du *History of Science Museum* d'Oxford.

DESCRIPTION DE LA MAQUETTE

Au recto se trouve un analemme, projection de la sphère céleste avec les parallèles de déclinaison solaire et les courbes horaires. Au verso : un nocturlabe, qui sera présenté dans un prochain article.

Au bas de l'analemme Ferguson a placé un calendrier doublé d'une échelle de déclinaison du Soleil (fig.2).

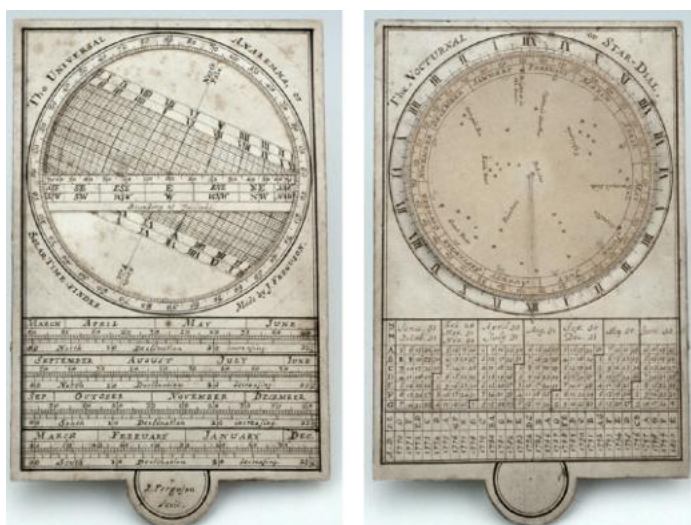
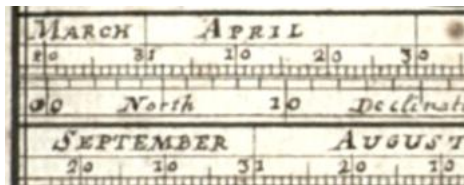


Fig.1. Une maquette double face comportant deux instruments de Ferguson (1775).

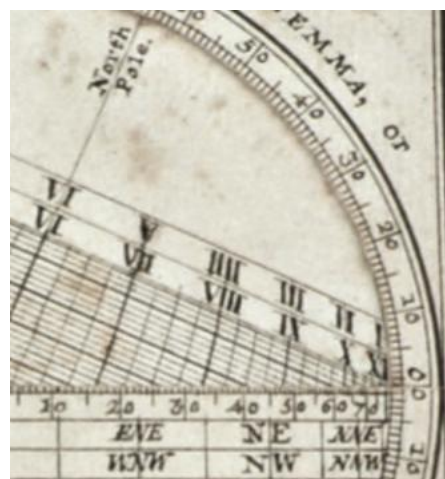
À gauche : *Universal analemma*, à droite : *Nocturnal*.

Fig.2. L'échelle indique pour chaque date de l'année la déclinaison du Soleil.



Les arcs d'ellipses sont les méridiens horaires, gradués en chiffres romains selon une graduation en double sens, aussi bien au nord qu'au sud de la sphère. L'axe des pôles de la sphère céleste est clairement matérialisé et légendé ; ses extrémités pointent sur le limbe gradué, indiquant ainsi la hauteur du pôle sur l'horizon, c'est-à-dire la latitude d'utilisation. Cet instrument est donc réglable pour toute latitude, d'où la qualification d'universel.

Fig.3. Zoom sur l'analemme, avec l'axe des pôles, les parallèles de déclinaison et les courbes horaires en chiffres romains. L'horizon est gradué en degrés et en points cardinaux. Le limbe périphérique indique la hauteur du Soleil.



La bande transversale représente l'horizon de l'observateur situé à la latitude choisie. Il est gradué de 0 à presque 90° dans les deux sens depuis le centre, ainsi qu'en points cardinaux. Son bord inférieur est légendé « Boundary of Twilight » et sert à déterminer l'heure de début ou de fin du crépuscule.

UTILISATION DE L'ANALEMME

Pour illustrer les exemples ci-après, une reproduction de ce tracé sera utilisée. Elle a été réalisée avec LaTeX et le package de dessin TikZ.

Il serait préférable d'avoir construit la maquette (lien en fin d'article) pour mieux suivre les instructions d'utilisation ci-dessous.

Réglage de la latitude (fig.4)

Diriger le pôle céleste sur la graduation du limbe correspondant à la latitude d'utilisation. Pour l'hémisphère nord, le pôle céleste nord doit être au-dessus de l'horizon, vers la droite. Pour l'hémisphère sud placer le pôle sud en haut à gauche.

Heures de lever et de coucher du Soleil (fig.4)

Sur les échelles de calendrier et de déclinaison, rechercher la valeur de déclinaison entière la plus proche de la date souhaitée. Repérer ensuite le parallèle correspondant (le parallèle central est l'équateur, de déclinaison nulle), les parallèles du côté nord de la sphère céleste correspondent à « North Declination » ; de nos jours, on compterait négativement les déclinaisons sud. Les deux parallèles extrêmes ont pour déclinaison solaire $23^{\circ}26'$ (dans l'original de Ferguson : $23^{\circ}30'$), obliquité de l'écliptique.

Au lieu de compter les parallèles pour repérer celui de la déclinaison voulue, on peut s'aider des graduations du limbe, en plaçant les parallèles à l'horizontale : les graduations du limbe indiquent les déclinaisons des parallèles.

Pour comprendre comment trouver les heures de lever et de coucher du Soleil, l'utilisateur doit s'imaginer au centre de l'instrument, au milieu de l'horizon. Chaque jour, le Soleil décrit un mouvement apparent le long d'un parallèle de déclinaison, depuis minuit (sous l'horizon) en montant jusqu'à midi (bord opposé, au-dessus de l'horizon), puis l'après-midi fait le chemin en sens inverse, se couche (passage sous l'horizon) jusqu'à minuit. Le lendemain, sa déclinaison a légèrement varié.

Après avoir réglé l'instrument en latitude et trouvé le parallèle de déclinaison du jour, on cherche son intersection avec l'horizon : elle donne l'heure de lever et de coucher du Soleil sur les arcs d'ellipses (méridiens horaires).

Amplitude ortive et occase du Soleil

L'amplitude ortive d'un astre est l'angle, compté dans le plan de l'horizon, entre la direction de son lever et le point cardinal est. Symétriquement, au moment de son coucher on définit l'amplitude occase entre la direction du coucher et l'ouest. Les amplitudes ortive et occase du Soleil sont considérées égales, pour une date donnée, puisque l'on néglige généralement la variation de sa déclinaison au cours de la journée.

Les amplitudes sont lues directement sur l'horizon. Dans l'exemple (Fig.4), l'amplitude vaut 29° vers le nord. Dans l'hémisphère nord le

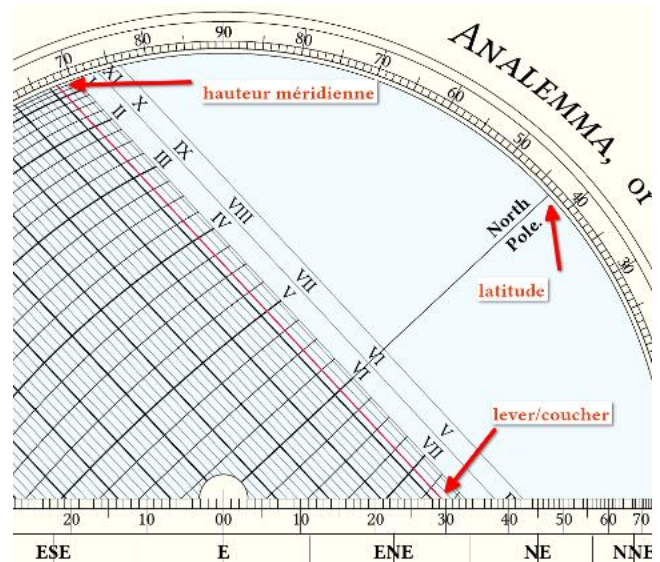


Fig.4. Heures de lever et de coucher du Soleil, pour la latitude 43°N , le 23 mai (déclinaison 21° , indiquée par le parallèle rouge).

Soleil se lève vers le nord-est au printemps et en été, mais au sud-est en automne et en hiver.

Hauteur méridienne du Soleil

La hauteur méridienne est la hauteur maximale atteinte au cours de la journée, à midi. Elle se lit sur le bord du disque, du côté opposé à celui où se trouve le pôle. Dans la Fig.4 elle vaut 68° .

Début et fin du crépuscule

Le crépuscule astronomique du matin (aube) commence conventionnellement quand le Soleil se trouve à 18° sous l'horizon et finit au lever du Soleil. Le crépuscule astronomique du soir commence au coucher et se termine quand le Soleil se trouve à 18° sous l'horizon.

Sur l'analemma, le bord inférieur de la bande transversale est la ligne des 18° sous l'horizon. Par conséquent le point d'intersection de ce bord avec le parallèle de déclinaison indique l'heure de début ou de fin du crépuscule, par lecture sur les courbes des méridiens horaires

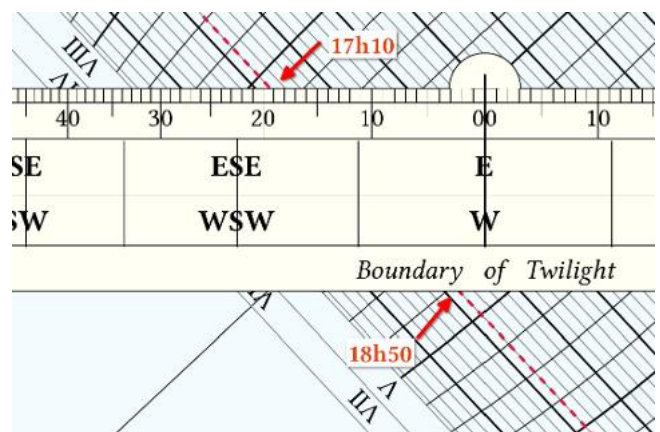


Fig.5. Début et fin du crépuscule du soir, le 30 octobre (déclinaison 14° sud), à 43° de latitude nord.

DÉTERMINATION DE L'HEURE SOLAIRE

James Ferguson a intitulé cet instrument solar Time Finder : envisageait-il uniquement les heures de lever et de coucher, ou bien également l'heure qu'il est ? En l'absence de guide d'utilisation rédigé par l'auteur, on ne peut que tenter de deviner de quelle manière cet instrument peut donner l'heure.

Il paraît évident d'utiliser les graduations du limbe pour mesurer la hauteur du Soleil, puis utiliser la correspondance entre la hauteur et les courbes horaires. L'objet faisant une ombre serait une pointe dépassant du pivot central.

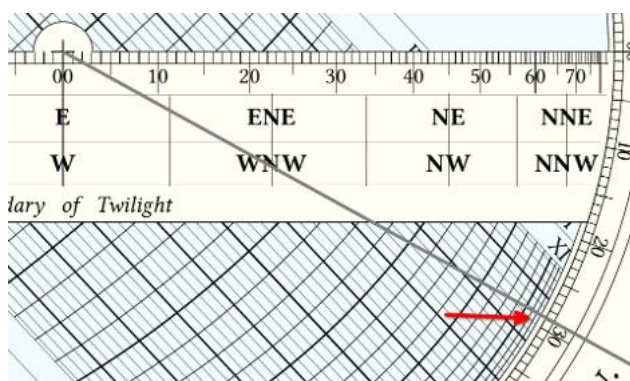


Fig.6. Mesure de hauteur du Soleil.
Le trait gris représente l'ombre d'une pointe située au centre. On lit 29° de hauteur sur le limbe.

La déclinaison et la hauteur du Soleil étant connues, on cherche en quel point de l'analemme le parallèle de déclinaison atteint la hauteur mesurée.

Alors, la courbe horaire la plus proche indique l'heure. Puisque une même courbe horaire porte deux indications, on lit l'heure cohérente avec l'instant de la mesure (matin ou après-midi).

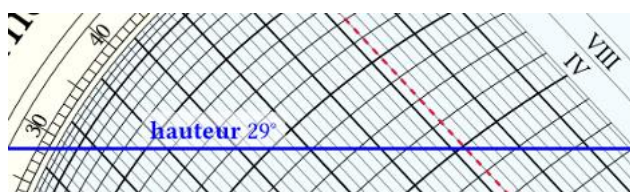


Fig.7. Un fil tendu sur les graduations 29° du limbe indique la hauteur mesurée. Son intersection avec le parallèle (pointillés) indique 4h ou 8h sur les courbes horaires.

David Alberto, professeur de physique-chimie en lycée, s'est lancé dans l'astronomie à l'occasion d'une école d'été du CLEA <http://clea-astro.eu/>. Pour plus de détails sur ses activités, voir <https://www.astrolabe-science.fr/>

RÉALISATION DE LA MAQUETTE

Les parallèles de déclinaison δ sont tracés en plaçant des lignes à une distance $R \cdot \sin \delta$ de l'équateur, avec $-23,4^\circ < \delta < 23,4^\circ$, R étant le rayon intérieur du tracé.

La ligne du crépuscule astronomique est située à une distance $R \cdot \sin(18^\circ)$ sous l'horizon.

Les courbes horaires sont des arcs d'ellipses dont le demi-grand axe est R , et le demi-petit axe $R \cdot \cos H$, H étant l'angle horaire, entre 0 et 180° . Ces arcs d'ellipses sont délimités par leurs intersections avec les parallèles de déclinaisons extrêmes.

L'échelle d'amplitude située le long de l'horizon est obtenue en plaçant les graduations à une distance $R \cdot \sin a$ du centre, l'angle a variant de 0 à 90° vers la gauche et vers la droite.

Quant au calendrier indiquant la déclinaison du jour, il existe plusieurs modélisations permettant de calculer la déclinaison du Soleil pour un jour donné.

La plus simple est la suivante : soit J le quantième du jour dans l'année (de 1 à 365), une valeur approchée de la déclinaison est donnée par :

$$\delta = 23,4 \cdot \sin \left(\frac{360}{365} (284 + J) \right)$$

Pour une lecture sur de petites graduations telles que sur cette maquette, cette modélisation donne une précision tout à fait convenable.

Notez bien que sur ce calendrier ce sont les graduations des jours qui sont régulières alors que celles de déclinaison sont irrégulières. Ainsi, pour le construire, on commence par dresser une échelle régulière de jours, puis pour chaque valeur de déclinaison on calcule le quantième J devant lequel placer cette graduation. Hors solstices, une même valeur de déclinaison donne deux valeurs de J dans l'année.

Sur le site de l'auteur¹, vous trouverez le document à imprimer pour réaliser cette maquette.

¹ <https://www.astrolabe-science.fr/double-maquette-astronomique-ferguson/>

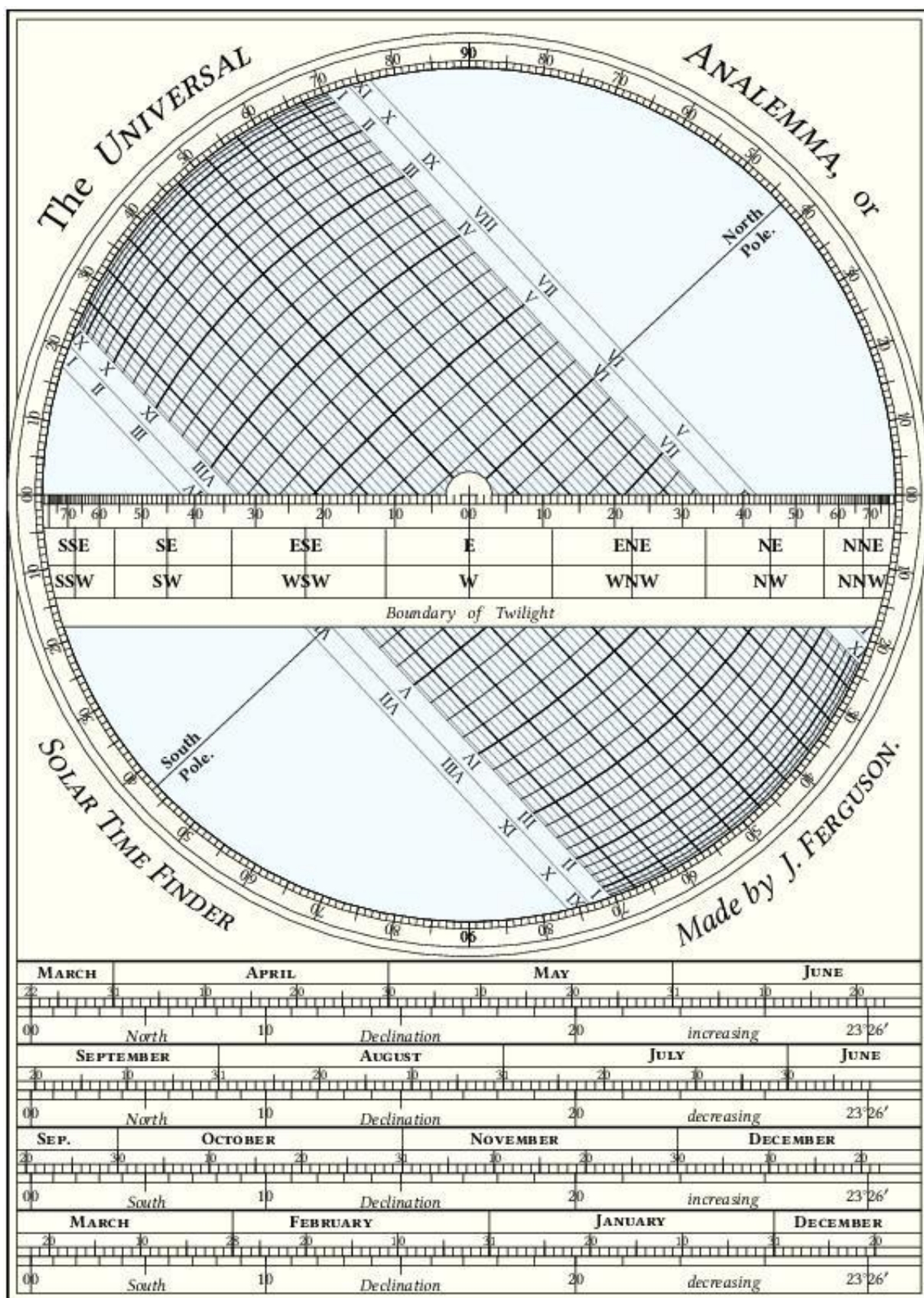


Fig.8. Reproduction moderne de la maquette de Ferguson.

JEUX ET ÉNIGMES

UNE DEVINETTE

REDRESSER L'AXE DE LA TERRE...

Une devinette qui, après une courte réflexion, devrait apparaître facile à tous...

Dans son roman d'anticipation « Sans dessus dessous » paru en 1889, Jules Verne nous décrit le projet du Gun-Club de Baltimore qui, rendu confiant par la réussite de son tir décrit dans « De la Terre à la Lune », décide de construire un canon de dimensions colossales.

Ce canon tirerait horizontalement vers le sud, un jour d'équinoxe et depuis un endroit situé à l'équateur, un obus non moins colossal, capable de déplacer l'axe de rotation terrestre, le rendant perpendiculaire au plan de l'écliptique. Ainsi l'Arctique, dont le Gun-Club a fait judicieusement l'acquisition et est supposé renfermer sous ses glaces de riches gisements de charbon, deviendrait exploitable !

En parallèle cela créerait des désordres géologique et climatique mondiaux, soigneusement décrits par Jules Verne, dont le Gun-Club ne se soucie guère... L'auteur a toutefois oublié un bouleversement, mineur il est vrai : tous les cadrans solaires deviendraient faux !

Supposons que les plans du Gun-Club aient réussi (ce qui n'est bien entendu pas le cas ; nous vous laissons découvrir pourquoi en lisant l'ouvrage), le pôle Nord se serait retrouvé le long de la côte ouest de Groenland, au niveau du cercle polaire. Les cadrans les plus simples à corriger auraient été les cadrans qui peuvent se réorienter, et notamment ceux situés sur le cercle de longitude passant par les anciens et les nouveaux pôles. Pour ces derniers, d'un point de vue pratique, en quoi aurait consisté leur réorientation ?



Le colossal chantier du Gun-Club

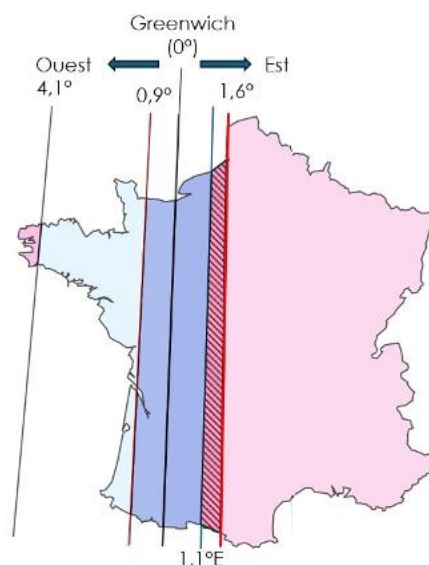
UNE ÉNIGME

VOICI L'ILLUSTRATION DES RÉSULTATS !

Christophe Marion, qui vient d'obtenir une médaille d'argent au dernier Concours Lépine pour l'invention de son outil gnomonique Papophoplon (<https://lecadranier.com/>), nous envoie l'illustration ci-dessous, précisant : « Voici l'illustration des résultats ! ».

Il omet cependant, encore sous l'émotion de cette récompense, de joindre à son email le document décrivant le problème et les résultats obtenus...

Sauriez-vous deviner ce que Christophe Marion a ainsi illustré ?



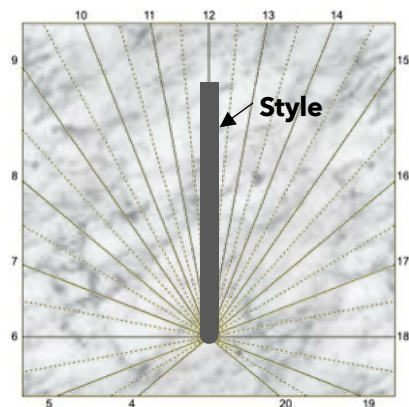
JEUX ET ÉNIGMES

UN TEST RAPIDE

PAS TRÈS PRÉCIS...

Vous flânez avec votre amie gnomoniste chevronnée et passez près d'un cadran horizontal, représenté ci-dessous (en vue de dessus). Elle l'observe brièvement et juge de façon péremptoire « Hum, pas très précis ce cadran ! ».

Comme vous voulez démontrer à votre amie que le domaine de la gnomonique ne vous est pas étranger, vous réfléchissez rapidement et lui dites... quoi ?



UN PROBLÈME GNOMONIQUE

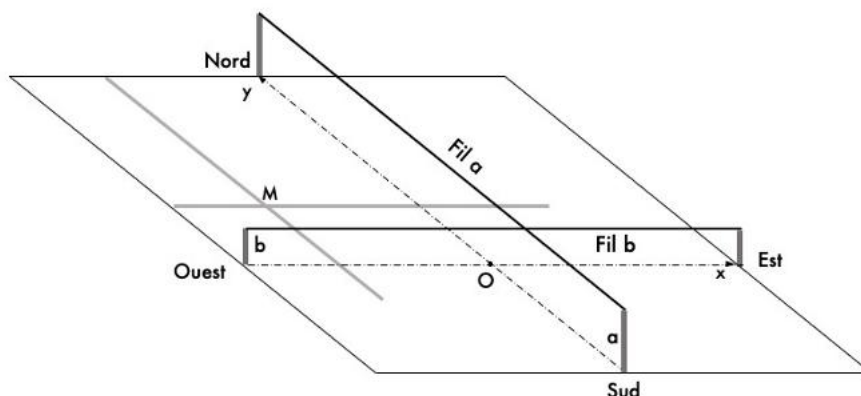
UN PEU D'EXERCICE...

Un peu d'exercice de géométrie ne peut faire de mal...

Considérons l'original cadran solaire « bifilaire » qu'avait imaginé l'allemand Hugo Michnik il y a un siècle. Sur une table horizontale rectangulaire, on dispose un premier fil, horizontalement, dans la direction sud-nord, à une distance a de la table, puis un second fil horizontal, dans la direction est-ouest, à une distance b de la table, a étant supérieur à b . Les projections des deux fils sur la table se croisent au point O .

Quelles sont les coordonnées, dans le repère Oxy , du point M , croisement de l'ombre des deux fils sur la table, à un instant donné, défini par la hauteur et l'azimut du Soleil ?

Un exercice que même les gnomonistes encore débutants devraient tenter...



SOLUTIONS DES JEUX ET ÉNIGMES

UNE DEVINETTE

Fig.1

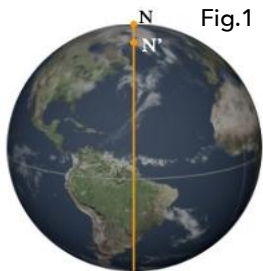
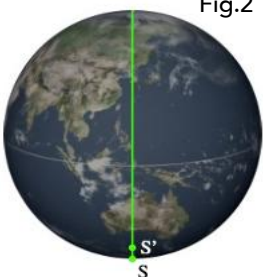


Fig.2



Considérons la figure 1 ci-contre où N est l'ancien pôle Nord et N' le nouveau. Pour les habitants du nord du Brésil situé sur la ligne orangée, là où l'ancien pôle Nord céleste était juste au-dessus de l'horizon nord, il est maintenant relevé d'un angle de 23,5° supplémentaire. Il leur faut donc faire tourner l'ensemble de leur cadran (table et style) autour d'un axe orienté est-ouest, d'un angle de 23,5°, en relevant la partie nord de leur cadran. Ce sera le cas pour tous les habitants situés sur la ligne orangée en dessous de N'.

Considérons maintenant la face opposée de la Terre sur la figure 2 où on peut voir l'ancien pôle Sud S et le nouveau S'. Les habitants de l'Australie placés sur la ligne verte verront, eux, une élévation du pôle Sud céleste et il devront faire tourner leur cadran d'un angle de 23,5° suivant le même axe est-ouest mais en relevant la partie sud de leur cadran. Ce sera aussi le cas des habitants de l'hémisphère nord situés sur la ligne verte.

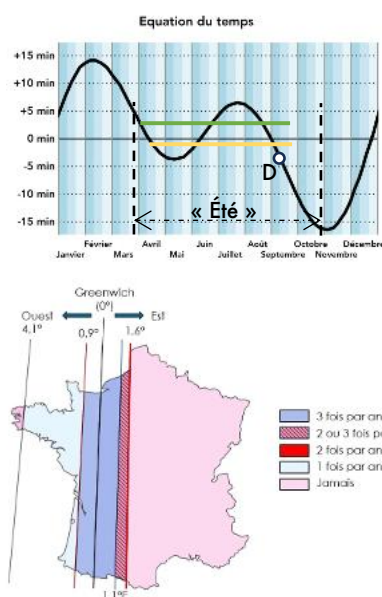
Cette correction d'inclinaison est d'ailleurs celle que vous ferez si, sans attendre que les projets du Gun-Club se réalisent, vous devez simplement déménager en direction du nord ou du sud et que vous emportez dans votre déménagement un cadran équatorial, horizontal, vertical ou encore analemmatique. Il faudra, bien entendu, incliner l'ensemble du cadran suivant la bonne direction et de l'angle correspondant à la distance de votre déplacement !

UNE ÉNIGME

Cette illustration est relative à la question gnomonique bien connue (inspirée de l'expression « Chercher midi à quatorze heures ») : est-il possible, en France métropolitaine, que 12 h solaire corresponde à 14 h légale (heure de nos montres et téléphones) ? Or, pour la France métropolitaine, l'heure légale peut s'écrire : $TL = TS + ET + CL + 1h + 1h$ (si heure d'été)

avec TL : heure légale, TS : heure solaire, ET : équation du temps au jour considéré, CL : correction de longitude par rapport au méridien de Greenwich (positive si le cadran solaire est situé à l'ouest de ce méridien, négative sinon)

Le problème posé revient donc à rechercher si, en France métropolitaine, il existe des longitudes pour lesquelles $14 = 12 + ET + CL + 2$ en « été » (soit du 29 mars au 25 octobre en 2026) ou encore $14 = 12 + ET + CL + 1$ en « hiver ».



En « hiver », $ET + CL$ doit être égal à 1h. Or, ET a des valeurs comprises entre 14 min 12 s et - 16 min 27 s dans cette période¹. Dans le cas le plus favorable la correction de longitude devrait être de 45 min 48 s. Or, l'extrême Ouest de la France métropolitaine (Ouessant) a une longitude de 5,1°O, correspondant à une correction de longitude d'à peine plus de 20 min. Donc il sera inutile de chercher midi à 14 h en « hiver »...

En « été », $14 = 12 + ET + CL + 2$ soit $ET + CL = 0$. Or, ET a des valeurs comprises entre 6 min 34 s et - 16 min 17 s dans cette période. Donc les régions dont les corrections de longitude sont comprises entre - 6 min 34 s à + 16 min 17 s pourront seules voir « midi à 14 h », ce qui donne des longitudes comprises entre 1,6° E et 4,1° O. Si l'on observe la courbe ci-contre, on constate (ligne verte) qu'en « été » l'équation du temps a la même valeur à 2 voire 3 dates différentes donc les lieux où la correction de longitude permettra d'annuler $ET + CL$ verront plus d'une fois midi à 14h, à la différence de la fin de l'été, après le point D, pour lequel l'équation du temps est égale à - 3 min 44 s correspondant à une longitude de 0,9°O.

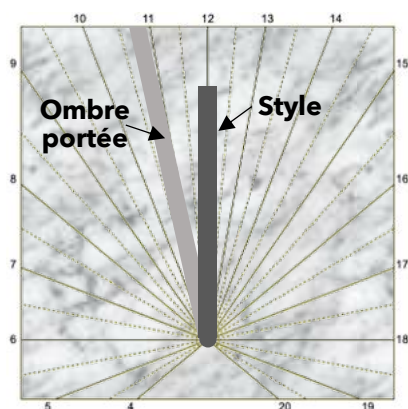
Dans l'illustration ci-contre, Christophe Marion a ajouté les légendes nécessaires, précisant même, dans un document que vous pouvez télécharger², ce qui se passe précisément entre 1,11° E et 1,56° E.

¹ Voir l'illustration proposée ci-dessus ou, pour plus de détails, les éphémérides que Pierre-Louis Cambefort met à jour, année après année, pour les lecteurs de ce magazine : https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/01/Ephemerides2026_PLCambefort.xlsx

² <https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/06/c-marion-precisions-enigme-n21.pdf>

UN TEST RAPIDE

Vous réfléchissez rapidement : le cadran vous semble correctement tracé ou du moins présente un tracé difficile à mettre en doute au premier coup d'œil. Mais vous notez l'épaisseur un peu forte du style qui perturbe quelque peu la lecture (schéma ci-dessous). Vous faites part à votre amie de cette caractéristique regrettable du cadran, ajoutant que le concepteur aurait dû équiper le cadran d'un style fin de type lame, comme on en rencontre dans la majorité des cadrans horizontaux. Votre amie approuve d'un sourire votre commentaire...

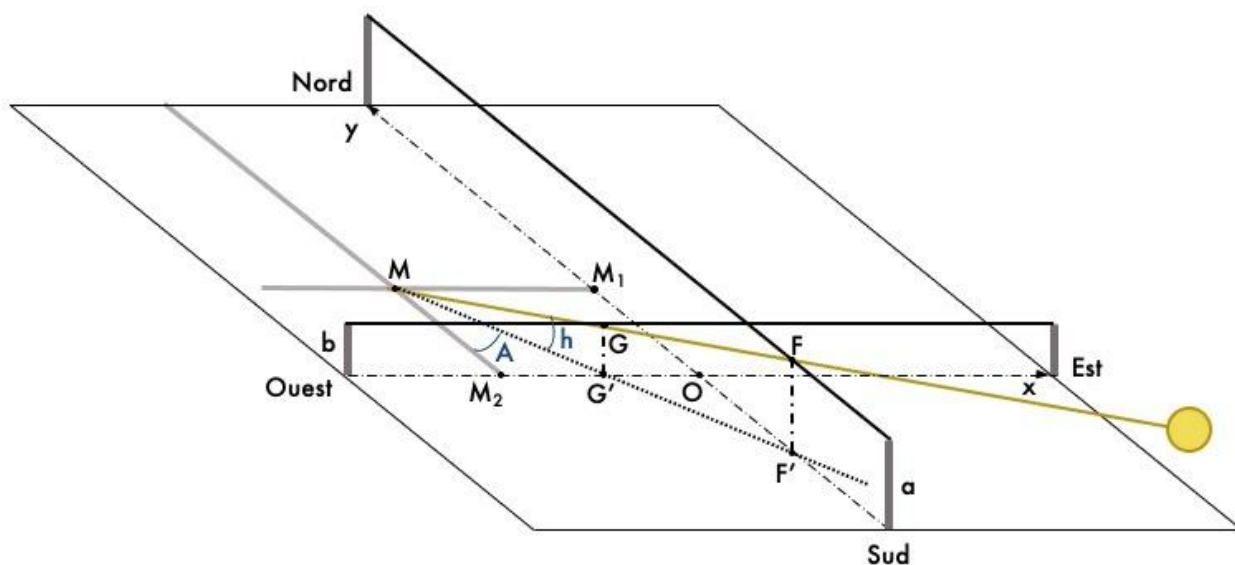


UN PROBLÈME GNOMONIQUE

Sur la figure ci-dessous est représentée la position du point M à un instant donné de la journée. La figure ainsi tracée permet de déterminer instantanément x et y, grâce aux propriétés du triangle rectangle :

$$x = M_1M = MF' \sin A = (a / \tan h) \cdot \sin A = \frac{a \cdot \sin A}{\tan h}$$

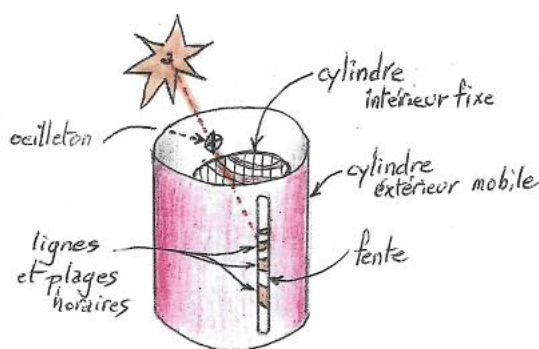
$$y = M_2M = MG' \cos A = (b / \tan h) \cdot \cos A = \frac{b \cdot \cos A}{\tan h}$$



MOULIN ROUGE

Cette page de *Cadrans solaires pour tous* est traditionnellement consacrée à l'une des créations du prolifique gnomoniste-cadranier Claude Gahon clauddegahon@yahoo.fr, membre du comité éditorial de ce magazine. Comme la plupart de ses créations, celle présentée ici est originale, simple, esthétique, et au fort potentiel pédagogique.

Cette variante d'un cadran de berger, baptisée Moulin Rouge, du nom du célèbre cabaret parisien Moulin-Rouge qui a inspiré Claude Gahon pour cette création, avait déjà été évoquée dans l'article de David Alberto et Roger Torrenti, paru dans le n°12 du magazine¹. Nous en livrons ici tous les détails.



Cadran de type "berger" composé de :

*** 1 cylindre extérieur comportant un œilleton à croix et, diamétralement opposée, une fente verticale.**

Ce cylindre est mobile sur le socle,

*** 1 cylindre de même diamètre que celui de l'intérieur du cylindre précédent.**

Il est composé d'une feuille plastique translucide sur laquelle sont dessinées 12 colonnes pour les mois et les courbes horaires des hauteurs du soleil.

Pour connaître l'heure solaire:

1-tourner le cylindre extérieur jusqu'à ce qu'apparaisse le mois en cours dans la fente verticale,

2-tourner alors l'ensemble pour que la tache lumineuse, issue de l'œilleton, soit dans la fente.

On interprète l'heure selon la position de la tache dans les plages horaires.

c.gahon

¹ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2024/05/mag-CSpour-tous-n12_D-Alberto_R-Torrenti.pdf

CRÉDITS PHOTOS ET ILLUSTRATIONS



- Couverture : Photo Roger Torrenti
- Page 2 : Dessin Esteban Martínez
- Page 3 : Document Wikimedia Commons (Auteur : Marie-Lan Nguyen - Fichier : Constantine multiple CdM Beistegui 233.jpg - Domaine public)
- Page 6 : Document Wikimedia Commons (Auteur : Jack Weir - Fichier : Land on the Moon 7 21 1969-repair.jpg - Domaine public) - Illustrations extraites des sites mentionnés (pour la méridienne : crédit Université Paris Cité - Eric Descarpentri)
- Page 7 : Document Wikimedia Commons (Auteur : Sascha Kohlmann - Fichier : Man Reading Newspaper (92181097).jpeg - Licence CC BY 3.0) - Illustrations extraites des sites mentionnés
- Page 9 : Photos Christophe Marion
- Pages 10-11 : Photos mises à disposition par l'auteur
- Pages 12-13 : Illustrations Henri Gagnaire
- Pages 14 : Photos Jean-Paul Cornec
- Page 16 : Document Wikimedia Commons (Auteur : Monsieur Fou - Fichier : Momentsdelajournee.svg - Licence CC BY 4.0) - Illustration Pierre-Louis Cambefort
- Pages 18-19 : Photos Barbara Proni et Maria Luisa Tuscano
- Pages 20-21 : Photo Jean Pakhomoff - Illustration David Alberto
- Pages 22-23 : Document Wikimedia Commons (Auteur : Djat - Fichier : Kern Theodolit DKM2-A.jpg - Licence CC BY 3.0) - Document Wikimedia Commons (Auteur : Esby - Fichier : La colline du chateau de Nice depuis les hauteurs de Cimiez - 2016-08-23- P1540461.jpg - Licence CC BY 4.0)
- Pages 24-25 : Illustrations Ferdinando Roveda
- Pages 26-27 : Crédits photos et illustrations indiqués dans le texte
- Page 29 : Photos mises à disposition par l'autrice
- Pages 30-31 : Document Wikimedia Commons (Auteur : Sarang - Fichier : Fusion in the Sun.svg - Domaine public) - Document Wikimedia Commons (Auteur : Borb - Fichier : Fusion in the Sun.svg - Domaine public) - Photo Patrice Poyet
- Pages 32 : Photos de l'auteur
- Pages 34-37 : Illustrations et photo Yvon Massé
- Pages 38-41 : Crédits photographiques : Inv. 33394. © History of Science Museum, University of OxfordPages - Illustrations David Alberto
- Page 42 : Document Wikimedia Commons (Auteur : George Roux - Fichier : 'The Purchase of the North Pole' by George Roux 31.jpg - Domaine public) - Illustration Christophe Marion
- Page 43 : Illustrations Roger Torrenti
- Page 44 : Illustrations Roger Torrenti - Illustration Christophe Marion
- Page 45 : Illustrations Roger Torrenti
- Page 46 : Photos et illustration Claude Gahon
- Page 47 : Document Wikimedia Commons (Auteur : Moussa Kalapo - Fichier : Femmes Photographes.jpg - Licence CC BY-SA 4.0)
- Page 49 : Illustration Yves Opizzo



« Cadrans solaires pour tous » est un magazine trimestriel de vulgarisation de la gnomonique et d'information sur les cadrans solaires dont le contenu est disponible sous licence CC BY-NC-SA (sauf mention contraire).

Chaque numéro paru à ce jour, et chaque article de chaque numéro, peuvent être téléchargés gratuitement depuis

<https://www.cadrans-solaires.info/le-magazine/>

Une compilation de l'ensemble des numéros peut également être téléchargée depuis

<https://gnomonique.fr/divers/mag-CSpour-tous-compil.pdf>

La version papier de chaque numéro peut enfin être commandée depuis

https://www.lulu.com/search?adult_audience_rating=00&page=1&pageSize=10&q=roger+torrenti

Le magazine est édité par Roger Torrenti, La Colle-sur-Loup, France.

Dépôt légal BNF : septembre 2026

ISSN 2824-057X

« Cadrans solaires pour tous » (Sundials for all) is a quarterly magazine popularizing gnomonics and providing information on sundials, whose content is available under CC BY-NC-SA license (unless otherwise noted).

Each issue published to date, and each article in each issue, can be downloaded free of charge from

A compilation of all issues can also be downloaded from

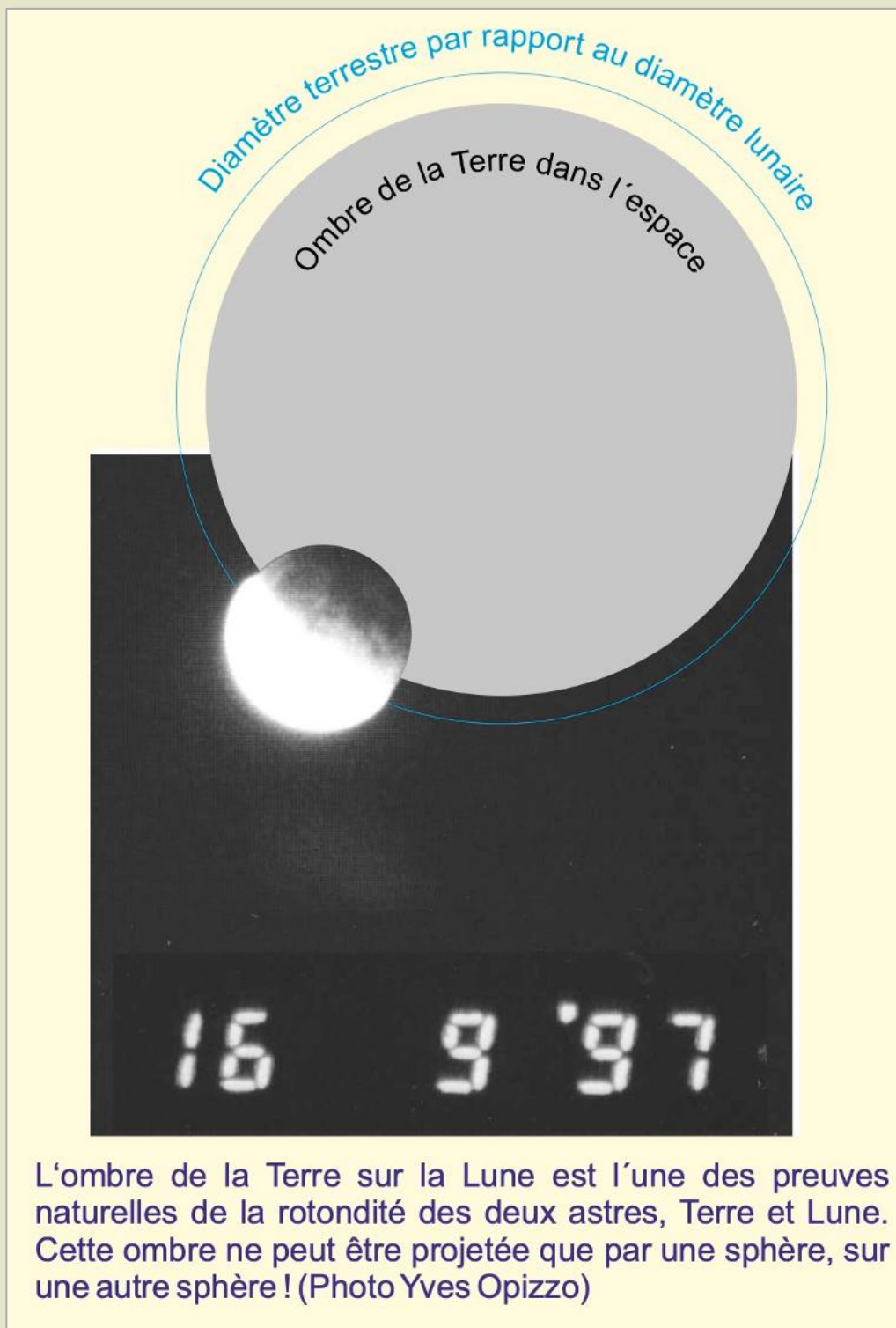
The paper version of each issue can also be ordered from

The magazine is edited by Roger Torrenti, La Colle-sur-Loup, France.

BNF Legal deposit: September 2026

ISSN 2824-057X

Contact : contact@cadrans-solaires.info



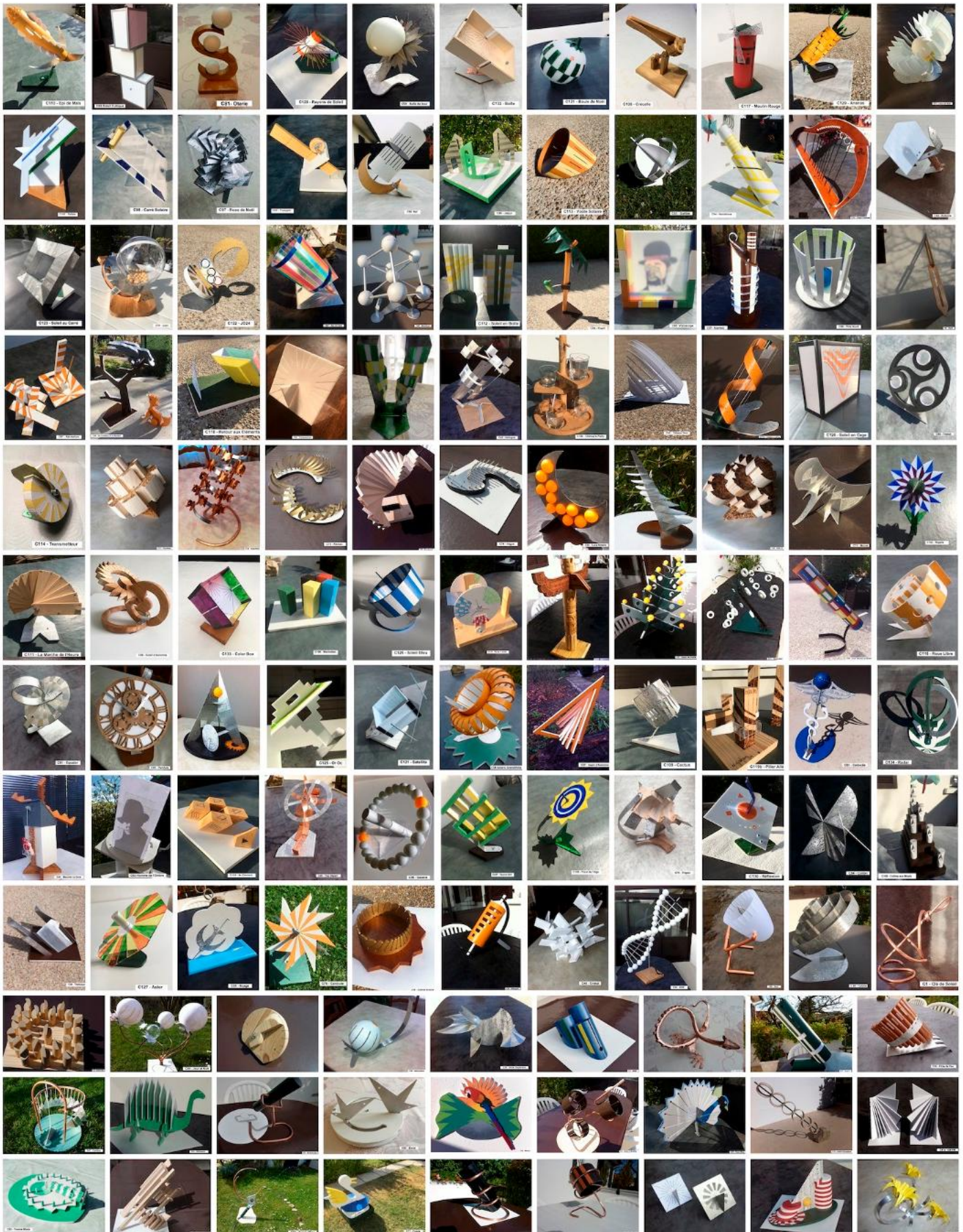
CI-DESSUS - Un des nombreux posters didactiques qu'Yves Opizzo, membre du comité éditorial de ce magazine, a créés, et qu'il utilise lors d'expositions et autres événements astronomiques ou gnomoniques. Celui-ci donne l'une des preuves naturelles, parmi tant d'autres, de la rotondité de la Terre. Déjà, dans l'Antiquité, on affirmait que la Terre était indiscutablement ronde car les voiles d'un navire s'approchant des côtes apparaissaient avant sa coque. Et pourtant, en France, selon un récent sondage de l'IFOP de fin 2017, près de 10% des personnes interrogées sont plutôt ou totalement d'accord avec l'affirmation « La Terre est plate » ! Et la situation n'est pas plus brillante dans les autres pays dits « avancés »...

PAGE SUIVANTE - Nous consacrons traditionnellement une page de notre magazine à l'une des créations du gnomoniste-cadranier Claude Gahon, membre du comité éditorial du magazine. Avec son accord, nous avons rassemblé page suivante la majorité de ses créations (près de 140 !), toutes caractérisées par leur originalité, leur simplicité, leur esthétique, et leur potentiel pédagogique. Nous puisons dans cet ensemble, pour chaque numéro et un peu au hasard, un cadran solaire que nous présentons en détail... Si vous voulez une définition plus précise de ce poster, vous pouvez le télécharger en haute définition depuis le lien ci-après¹. Et si vous désirez en savoir plus sur les caractéristiques de ces cadrans, vous pouvez télécharger la liste commentée que tient à jour Claude Gahon depuis le lien ci-après².

¹ https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/05/poster-claude-gahon-Hi_def.jpg

² <https://www.cadrans-solaires.info/wp-content/uploads/2026/05/Cadrans-C-Gahon-Liste.pdf>

c.cahon



ISSN 2824-057X