

■ POUR LA SCIENCE

VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

1 an au prix de 48 €

soit **4 € seulement par numéro** au lieu de ~~5,20 €~~

Pour consulter et télécharger
en toute liberté sur www.pourlascience.fr
les 12 prochains numéros
dès leur parution.



Oui, je m'abonne
à *Pour la Science* 100 % numérique
1 an (12 numéros) pour 48 €

Je préfère découvrir toutes
les offres d'abonnement disponibles
en cliquant ici.



Les cadrans solaires

DENIS SAVOIE

Les cadrans solaires ont joué un rôle déterminant dans la mesure du temps, de l'Antiquité à la Renaissance, jusqu'à ce que les horloges se généralisent.

Un cadran solaire gigantesque a été tracé, pour les festivités de l'an 2000, sur le sol de la place de la Concorde, utilisant l'obélisque comme gnomon. L'astronome Camille Flammarion en avait conçu le projet en 1913, mais la guerre l'avait interrompu par deux fois, en 1918 et en 1939.

La «Nef solaire», près de Tavel, entre Avignon et Nîmes, a été construite en 1993 (voir la photographie à côté du titre). Ce cadran solaire a deux styles polaires, qui projettent leur ombre sur les surfaces gaufrées de quatre plans triangulaires dressés sur une dalle de 26 mètres de long. Deux cadrans horizontaux et une méridienne sont aussi incrustés dans le sol. Autour de la Nef solaire, huit stèles

rappellent les étapes importantes de la gnomonique. L'ensemble constitue le plus grand cadran solaire de France. Ces réalisations renouent avec une tradition qui se perd dans la nuit des temps mesurés.

CHRONOS ET APOLLON

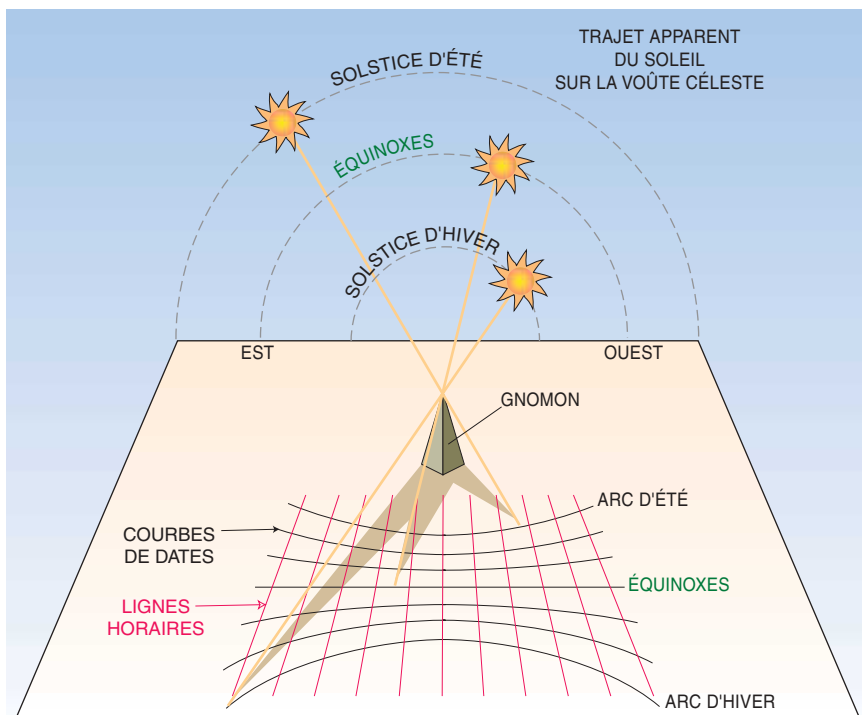
Au V^e siècle avant notre ère, l'historien Hérodote rapporte que les Grecs ont importé le gnomon de Babylonie. Cet ancêtre du cadran solaire, dont le nom signifie *indicateur* en grec ancien, est constitué d'un style vertical dont l'ombre se projette sur une surface plane horizontale. Les Grecs utilisaient les variations journalières de la direction et la

longueur de l'ombre portée pour diviser le temps : infiniment longue au lever du Soleil, l'ombre raccourcit jusqu'à midi, puis s'allonge indéfiniment jusqu'au coucher du Soleil. Le cadran antique indique l'heure «inéegale» (voir la figure 1) : la journée est divisée en 12 heures, dont la durée varie de 80 minutes, au solstice d'été, à 40 minutes, au solstice d'hiver, en passant par 60 minutes aux équinoxes (sous nos latitudes).

Cette mesure du temps a perduré jusqu'à l'invention de l'horloge. Toutefois, dans l'Antiquité, le cadran solaire servait surtout à déterminer la latitude du lieu : plus on se rapproche de l'équateur, plus le Soleil monte haut dans le ciel et plus l'ombre portée est courte lorsqu'elle passe par son minimum, à midi.

Le cadran antique est souvent sphérique, conique ou tronconique. Le «scaphé» conservé au Louvre, un cadran solaire datant probablement du I^{er} siècle de notre ère et découvert à Carthage, est d'un modèle parmi les plus rares. La majorité des scaphés ont la forme d'une demi-sphère au fond de laquelle est fixé un style. Douze lignes perpendiculaires au bord de la demi-sphère marquent les heures. Le scaphé du Louvre est plus original : c'est un vase en marbre beige que l'on utilise incliné, de sorte que l'ocillon dont il est percé soit situé au zénith (voir la figure 2). Les rayons du Soleil y pénètrent et forment une tache de lumière qui se déplace sur le fond du vase. On lit la date d'après la position de la tache par rapport à sept courbes fermées, qui portent des indications de mois du calendrier : les sept courbes de dates délimitent six intervalles correspondant chacun à deux mois, car le Soleil passe deux fois par an par la même déclinaison. Les courbes extrêmes correspondent aux solstices. Le cadran comporte également 11 courbes fermées (délimitant 12 portions du cadran), les lignes horaires.

Les cadrans antiques plans sont plus rares : ils sont alors horizontaux, dans le cas des gnomons, ou verticaux. L'empereur Auguste en fit construire un



1. Dans l'Antiquité, les cadrans solaires indiquaient l'heure inégale : la journée était divisée en 12 heures, dont la durée augmentait en été et diminuait en hiver. On lisait l'heure grâce à 11 lignes horaires. On lisait aussi la date, grâce à sept courbes portant des indications de mois. Chacun des six intervalles entre ces courbes de dates correspond à deux mois, espacés d'une demi-année, car le Soleil passe deux fois par an par la même déclinaison. L'extrémité de l'ombre du gnomon reste toujours entre les courbes extrêmes, qu'elle parcourt au solstice d'hiver et d'été. Aux équinoxes, elle parcourt une droite.



RMN Hervé Lewandowski

2. Ce cadran solaire carthaginois, du 1^{er} siècle de notre ère, est un vase que l'on utilise incliné, de sorte que l'œilleton dont il est percé se trouve au zénith. La position de la tache de lumière formée par les rayons du Soleil indique l'heure et la date, grâce à 11 lignes horaires et 7 courbes de date (dont la projection plane est représentée dans le coin inférieur droit), suivant le même principe que sur la figure 1.



G. Dagli Orti

3. Cet obélisque de 22 mètres de hauteur fut rapporté d'Égypte par l'empereur romain Auguste (63 av. J.-C., 14 après J.-C.) en l'an X avant notre ère. Il servait autrefois de cadran solaire, projetant son ombre sur un grand pavage de marbre. Pour faciliter la lecture de l'heure, les Romains avaient placé une sphère en haut de l'obélisque.



R. Versaen

4. Cadran solaire, à styles polaires, situé dans la ville d'Ottrott, en Alsace : les plaques métalliques de ses 24 faces ont un bord (indiqué par un trait rouge superposé) parallèle à l'axe de la Terre et la lecture de l'heure se fait par alignement de l'ombre de ce bord avec une graduation. Il date du XVIII^e siècle et indique l'heure d'Alsace, de Grèce, d'Espagne, de Suisse, d'Antioche, d'Inde, du Japon...



Foyer du Lycée Stendhal

5. Ce cadran solaire du XVII^e siècle, unique en son genre, est installé dans la cage d'escalier du Lycée Stendhal de Grenoble. Une tache de lumière projetée par deux petits miroirs fixés sur l'appui des fenêtres parcourt un réseau de lignes et de courbes tracées sur 100 mètres carrés de mur et de plafond. La tache indique l'heure, le mois, la saison, le signe du zodiaque...

à Rome, sur le Champ de Mars, en l'an X avant notre ère. Le cadran était constitué d'un obélisque de 22 mètres de hauteur environ, rapporté d'Héliopolis. L'obélisque se trouve toujours à Rome, mais sur la place Montecitorio (voir la figure 3). Il portait une ombre sur un demi-cercle tracé sur un pavage de marbre. Comme le scaphé, il ne comportait pas de graduation et l'heure était uniquement indiquée par la position de l'extrémité de l'ombre, repérée grâce à des lignes horaires. Ce type de cadran solaire a un inconvénient : l'extrémité de l'ombre devient floue dans la pénombre. Pour y remédier, les Romains ont placé une sphère en haut de l'obélisque, qui portait une ombre plus nette.

LES CADRANS À STYLE POLAIRE

À la Renaissance, une innovation apparaît en Europe : le cadran solaire à style polaire, c'est-à-dire à style parallèle à l'axe de rotation de la Terre (qui pointe vers l'étoile Polaire). Sur ce modèle, importé du monde arabe, la lecture de l'heure s'effectue par alignement de l'ombre du style avec une ligne horaire inscrite sur le cadran. Entre deux lignes, il faut évidemment faire une interpolation.

Le cadran à style polaire d'Ottrot, en Alsace, est polyédrique (voir la figure 4). Construit au XVIII^e siècle (mais représentatif du modèle de cadran à style

polaire datant de la Renaissance), il comporte 26 faces dont 24 sont équipées de cadrans solaires indépendants. Tous possèdent des plaques métalliques dont l'un des bords, parallèle à l'axe de rotation de la Terre, joue le rôle de style. Chaque cadran est muni d'une graduation particulière, conçue pour indiquer l'heure d'Alsace, de Grèce, d'Espagne, de Suisse, d'Antioche, d'Inde, du Japon... mais aussi l'heure babylonique, soit le nombre d'heures depuis le lever du Soleil, et l'heure italique, c'est-à-dire le nombre d'heures depuis le précédent coucher du Soleil. Le cadran qui fait face au Sud porte sept courbes qui indiquent la date. Aujourd'hui, les cadrans à style polaire sont les plus courants. Ils ornent les façades des maisons, des églises, des châteaux...

Au XVII^e siècle apparaît le cadran solaire analemmatique : c'est un cadran horizontal dont la graduation horaire est inscrite sur une ellipse. Cette ellipse est la projection sur le sol de l'équateur céleste (l'intersection du plan équatorial de la Terre avec la voûte céleste). Le petit axe de l'ellipse est dirigé selon le méridien du lieu et comporte une échelle de dates sur laquelle vient se placer un style vertical mobile, ou une personne (voir la figure 6), au point correspondant au jour de l'observation : l'ombre du style donne alors l'heure sur la graduation elliptique. Le cadran solaire de Brou, près de Bourg-en-Bresse dans l'Ain, qui date du XVIII^e siècle, a un

grand axe de 11 mètres et un petit axe de 8 mètres environ. Ceux de Dijon, de Montpellier et d'Avignon sont construits sur ce modèle.

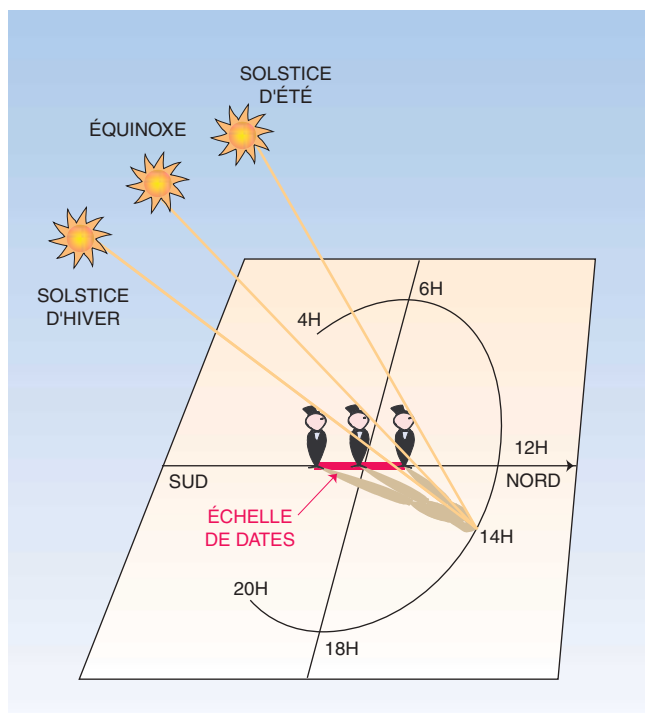
C'est aussi au XVII^e siècle, en 1673, que le Père Bonfa construit un cadran solaire unique en son genre, dans la cage d'escalier du Lycée Stendhal de Grenoble (voir la figure 5), qui était alors un collège de Jésuites : sur 100 mètres carrés de mur et de plafond, il trace un réseau de lignes et de courbes complexes parcourues par une tache de lumière projetée par deux petits miroirs fixés sur l'appui des fenêtres Sud : il s'agit d'un cadran solaire à réflexion. Il indique l'heure, le mois, la saison, le signe du zodiaque, l'heure du lever et du coucher du Soleil (à certaines périodes de l'année seulement). Des tables peintes sur le mur indiquent aussi l'heure dans d'autres pays, ainsi que l'heure lunaire. Le Père Bonfa a probablement réalisé le tracé à partir d'observations répétées.

À partir du XVIII^e siècle, les horloges publiques sont de plus en plus nombreuses. Pour les mettre à l'heure, on utilise un nouveau type de cadran solaire, la méridienne, qui indique midi, à l'«heure solaire vraie». Cette heure, celle que mesurent les cadrans solaires, n'est pas la même que l'heure de nos montres. Pourquoi? Parce qu'elle n'est pas uniforme, pour deux raisons. L'axe de rotation de la Terre est incliné de 23 degrés environ par rapport à la perpendiculaire

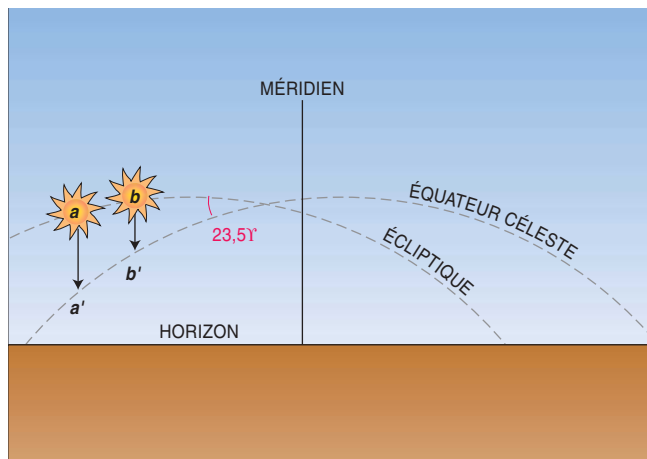


Société astronomique de France

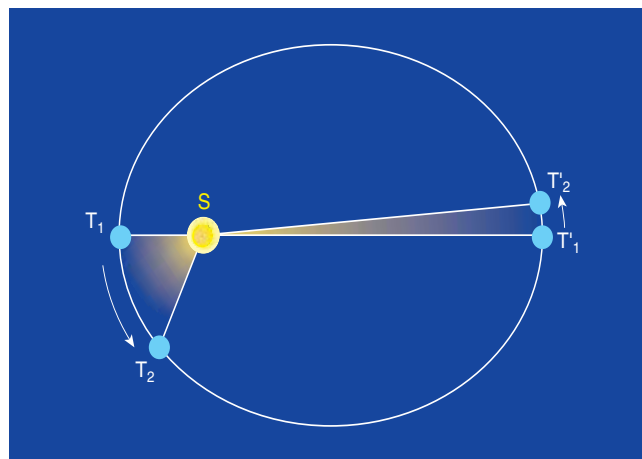
6. Le cadran solaire de Montpellier (à droite) est un cadran analemmatique : la graduation horaire est inscrite sur une ellipse, dont le petit axe porte une échelle de dates. Pour lire l'heure, une per-



sonne doit se placer à l'endroit de l'échelle correspondant au jour de l'observation : l'ombre de son bras indique l'heure sur la graduation elliptique.



7. L'heure solaire moyenne, celle de nos montres, est définie par rapport à un Soleil imaginaire, qui se déplacerait dans le plan de l'équateur. Elle représente le temps qu'il mettrait à parcourir 15 degrés d'angle sur l'équateur céleste, qui est l'intersection du plan de l'équateur terrestre avec la voûte céleste. Pour comparer l'heure solaire vraie, mesurée par les cadrans solaires et rattachée au mouvement du Soleil sur l'écliptique, à l'heure solaire moyenne, on projette sur l'équateur le trajet ab qu'a parcouru le Soleil sur l'écliptique en une heure. Le segment $a'b'$ obtenu définit un angle différent de 15 degrés, ce qui est la cause de l'une des deux inégalités de l'heure solaire vraie.



8. L'astronome Johannes Kepler, qui découvrit le caractère elliptique des orbites planétaires, énonça aussi la « loi des aires » : le temps mis par la Terre pour aller d'un point à un autre de son orbite est proportionnel à l'aire balayée par le rayon Terre-Soleil pendant ce temps. Ainsi, le temps que met la Terre pour aller de T_1 à T_2 est égal à celui qu'elle met pour aller de T_1' à T_2' , car les aires ST_1T_2 et $ST_1'T_2'$ sont égales, où S est le Soleil. La Terre se déplace donc d'autant plus lentement qu'elle est loin du Soleil. L'orbite terrestre est représentée avec une excentricité très exagérée (en fait, elle est presque circulaire).

à l'écliptique (le plan de l'orbite terrestre). D'un midi au suivant, le Soleil s'est déplacé sur la voûte céleste le long de l'écliptique (voir la figure 7). Or, vu de la Terre, il a tourné, non pas de l'angle défini par son parcours sur l'écliptique, mais de la projection de cet angle sur le plan équatorial de la Terre. La différence entre ces deux angles varie au cours de l'année (elle est minimale aux équinoxes de printemps et d'automne) et entraîne une inégalité de la durée séparant deux midis consécutifs, donc de l'heure solaire.

Par ailleurs, à cause de la « loi des aires », la Terre parcourt son orbite d'autant plus vite qu'elle est plus près du Soleil (voir la figure 8). Plus elle se déplace vite, plus elle devrait tourner sur elle-même pour retrouver la même position par rapport au Soleil. Ce phénomène introduit une inégalité du jour et de l'heure solaire au cours de l'année.

MÉRIDIENNES ET HORLOGES

En 1727, à Paris, l'horloger Henri Sully entreprend la construction de la méridienne de l'église Saint-Sulpice. Après sa mort, elle est achevée par l'astronome Charles Le Monnier. C'est une bande de cuivre de 40 mètres de longueur encastrée dans le marbre (voir la figure 9) : elle part du transept Sud et se poursuit jusqu'à un obélisque placé contre le transept Nord. Un œilleton est percé dans le vitrail du transept Sud, à 24 mètres de hauteur environ. À midi, la tache de lumière formée par les rayons du Soleil qui y pénètrent passe

sur la bande de cuivre. La position de la tache de lumière aux équinoxes et aux solstices est matérialisée par des plaques de cuivre. En fait, deux œilletons sont percés dans le vitrail, mais, à cause de l'inclinaison des rayons du Soleil, la tache de lumière de l'œilleton du bas ne tombe plus sur la méridienne de septembre à avril et celle de l'œilleton du haut du 1^{er} juin au 12 juillet. En dehors de ces périodes, on voit au moins un œilleton.

Au XIX^e siècle, l'heure solaire moyenne devient obligatoire en France, afin que les horloges soient toutes à la même heure. La différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire



9. La méridienne de l'église Saint-Sulpice, à Paris, est une bande de cuivre encastrée dans le marbre. La tache de lumière est produite par les rayons du Soleil qui passent à travers un œilleton ménagé dans le vitrail du transept Sud. Lorsqu'elle passe sur la méridienne, il est midi au Soleil.

vrai est appelée équation du temps. Elle varie chaque jour et atteint -16 minutes en novembre et +14 minutes en février. Aujourd'hui, pour retrouver l'heure de nos montres avec un cadran solaire, il faut ajouter à l'heure qu'il indique l'équation du temps et une correction en longitude. Avant le XIX^e siècle, chaque ville avait son heure propre, mais le développement des moyens de communication, notamment du chemin de fer, a obligé la France à adopter une heure unique : d'abord celle du méridien de Paris, puis de Greenwich, depuis 1911. Enfin, il faut ajouter aux corrections précédentes une heure en hiver et deux heures en été.

La France possède l'un des plus riches patrimoines de cadrans solaires au monde et nous en avons présenté les exemples les plus remarquables. On en a recensé environ 12 000 dans tout le pays. Le recensement, entrepris par la Commission des cadrans solaires de la Société Astronomique de France, aidera à préserver ce patrimoine et à le faire connaître, notamment comme instrument pédagogique pour la compréhension de phénomènes liés à l'astronomie, tels les saisons, le mouvement de la Terre autour du Soleil, la définition de l'heure... Non seulement ce recensement n'est pas terminé, mais de nouveaux cadrans solaires s'ajoutent aux anciens.

Denis SAVOIE est président de la Commission des cadrans solaires.

