

FASCINANTS CADRANS SOLAIRES

par Jocelyne Allée

extrait de l'article paru dans
Auvergne-Sciences n°47

Depuis l'aube de l'humanité le soleil est notre horloge

Le temps est une notion subjective et il semble impossible d'en donner une définition : "Quand on ne m'interroge pas sur le temps, je sais ce qu'il est ; quand on m'interroge, je ne le sais plus.". Pourtant, la nécessité d'organiser les activités agricoles, les contraintes de la vie en société, puis la rigueur exigée par les scientifiques ont amené les hommes à définir un paramètre temps uniforme, dégagé des perceptions subjectives, et pour cela, à trouver ou construire des garde-temps. Depuis des temps reculés, les phénomènes astronomiques (les mouvements apparents des astres, soleil et lune en particulier) ont été utilisés, grâce à leur périodicité, pour définir une unité conventionnelle, et fournir les repères de la vie quotidienne.

La mesure du temps ... au cours du temps !

Les cadrans solaires existent depuis l'Antiquité, notamment dans les civilisations méditerranéennes. Les premiers gnomons furent de simples bâtons plantés dans le sol. Mais les cadrans solaires ne peuvent rendre service la nuit ou en l'absence de soleil. Ils étaient donc suppléés par d'autres instruments comme les sables et les clepsydes, également utilisés dans le monde asiatique. Une clepsyde ou horloge à eau est un récipient percé d'un orifice à sa base, de sorte que l'eau s'écoule dans une cuve munie d'une échelle ; pour que soit assuré un écoulement régulier de l'eau, il faut que le récipient supérieur ait une forme particulière évasée.

Chez les Anciens la mesure du temps présentait une difficulté à cause de la non constance de l'heure. En effet ils partageaient en 12 heures de jour la durée séparant le lever du coucher du soleil, et en 12 heures de nuit la durée séparant le coucher du lever du soleil, de sorte que l'heure de jour n'était en général pas égale à l'heure de nuit, et que leur durée était variable au cours

de l'année. Ces heures anciennes sont appelées heures temporaires. Notons qu'il devait être bien difficile de se donner rendez-vous à cette époque.

Jusqu'au XIV^{ème} siècle, les Arabes développent la science des cadrans. En Europe la gestion du temps est longtemps l'affaire des églises et des monastères. Les cloches règlent non seulement la prière mais aussi les activités de tout un chacun. Enfin les cadrans solaires connaissent une expansion spectaculaire du XVI^{ème} au XVIII^{ème} siècle. C'est en 1784 que Jérôme de la Lande écrit " ...Le temps moyen et uniforme est celui qu'on devrait toujours employer dans l'usage de la vie comme dans les observations et tables astronomiques. " Mais il y a désormais un concurrent sérieux : l'horloge mécanique fondée sur la périodicité d'un mouvement pendulaire entretenu. Depuis le XIV^{ème} siècle les cités se dotent de magnifiques tours d'horloge munies de cloches et parfois d'automates. Quant aux montres elles apparaissent au début du XVI^{ème} siècle.

Plus près de nous, c'est au XIX^{ème} siècle que les horloges deviennent électriques, et au début du XX^{ème} que l'on met à profit le phénomène de piézoélectricité dans les horloges et montres à quartz : Une lame de quartz soumise à une tension alternative devient un oscillateur de fréquence particulièrement stable. Enfin les garde-temps modernes sont des horloges atomiques dont la marche régulière est garantie à 10-10¹⁰ près.

Malgré cette course à la précision, les cadrans solaires ne sont jamais vraiment tombés en désuétude et on a continué d'en construire jusqu'à nos jours. Lorsque les horloges mécaniques les ont supplantés en raison de leur meilleure précision, on les a recherchés comme éléments décoratifs des façades. Aujourd'hui leur succès perdure et on voit aussi bien de petits cadrans orner les murs de maisons individuelles, que des œuvres prestigieuses contribuer à embellir notre cadre de vie. Peut-être leur attrait tient-il au fait qu'ils manifestent l'intégration de l'homme dans son environnement et dans l'univers tout entier.

L'heure solaire et ses vicissitudes

Une horloge solaire est un instrument permettant de rythmer le temps au moyen d'une ombre ou d'une tache lumineuse.

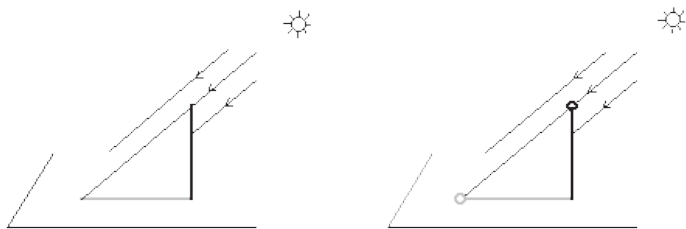


Figure 1 - Ombre portée ou tache lumineuse

Une horloge solaire fonctionne donc sur le mouvement apparent du soleil, qui est le résultat des mouvements de rotation diurne de la terre sur elle-même et de rotation annuelle de la terre autour du soleil. La terre tourne sur elle-même autour d'un axe passant par les pôles. Le plan perpendiculaire à cet axe est le plan équatorial. Les grands cercles de la terre passant par les pôles sont les méridiens.

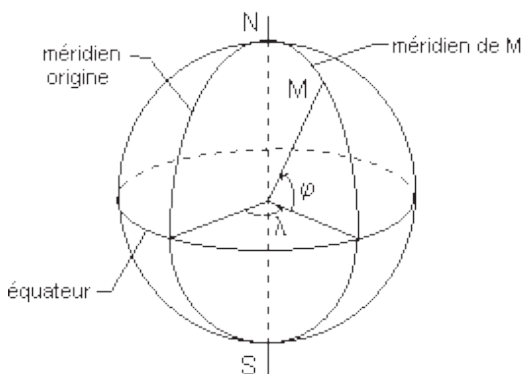


Figure 2 - Latitude et longitude d'un lieu

La figure 2 montre comment on repère un point de la surface terrestre par deux angles, la latitude j et la longitude l , moyennant le choix d'un méridien origine.

En un lieu donné il est midi vrai lorsque le soleil passe au zénith du lieu, c'est-à-dire dans le plan du méridien. Connaissant l'heure solaire au méridien origine, on peut prévoir l'heure sur un autre méridien, en tenant compte de la longitude. Sachant que 360° correspondent à 24 h, le décalage horaire est :

$$L = 24 l / 360 \text{ (où } L \text{ est en heures et } l \text{ en degrés)}$$

Ce décalage est une avance si le lieu considéré est à l'est du méridien origine, et un retard dans le cas contraire.

En réalité, la terre est partagée en 24 fuseaux horaires qui ne sont pas exactement des fuseaux, car, pour des raisons pratiques, ils tiennent compte des frontières.

En outre, en un lieu donné, la durée du jour solaire, soit le temps séparant deux passages consécutifs du soleil au zénith, n'est pas invariable au cours de l'année. Le jour devrait valoir 86400 secondes, la seconde étant définie à partir d'un étalon de temps fiable.

Mais le mouvement de la terre autour du soleil est elliptique et il s'ensuit que sa vitesse n'est pas uniforme, d'où un décalage de l'heure qu'on appelle équation du temps, et qui sera noté E . La figure 3 représente l'équation du temps.

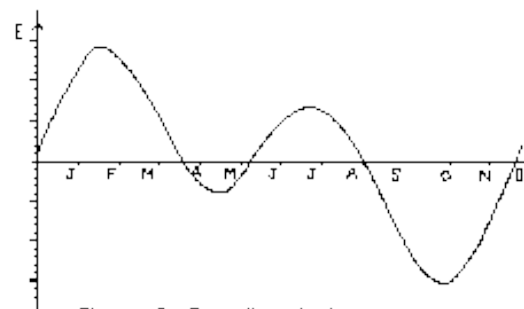


Figure 3 - Equation du temps

Il est possible de traduire cette courbe d'une autre manière en portant, le long de l'axe des abscisses, l'écart de temps de gauche à droite pendant 6 mois, et de droite à gauche les 6 mois suivants ; on obtient alors une courbe qui se ferme sur elle-même, qu'on appelle, en raison de sa forme, la courbe en huit. On verra plus loin que cette courbe figure sur certains cadrans solaires.

Il faut encore tenir compte de l'heure qu'on ajoute en hiver et des deux heures en été, et en définitive, l'heure H que nous devons lire sur nos montres est liée à l'heure solaire H_s par :

$$H = H_s + L + E + 1 \text{ (en hiver)}$$

$$H = H_s + L + E + 2 \text{ (en été).}$$

Principaux types de cadrans solaires

Un cadran solaire comporte un objet dont on va observer l'ombre portée : le style, et une surface plane, la table, sur laquelle sont tracées les lignes horaires c'est-à-dire les traces de l'ombre aux différentes heures de la journée (le style peut être remplacé par un œilleton qui donne une tache lumineuse sur la table comme sur la figure 1). Le style est toujours parallèle à l'axe de rotation de la terre. Les lignes horaires convergent au point où aboutit le style rectiligne et qu'on appelle le centre du cadran. On a l'habitude de classer les cadrans suivant l'orientation du plan de la table.

Cadran équatorial

Le plan du cadran est parallèle à l'équateur terrestre, donc perpendiculaire à l'axe de rotation de la terre et au style. L'extrémité de l'ombre décrit un arc de cercle ayant pour centre le centre du cadran et les lignes horaires sont équidistantes. D'une heure à l'autre elles font entre elles des angles de 15° . Ce cadran est donc le plus simple à réaliser.

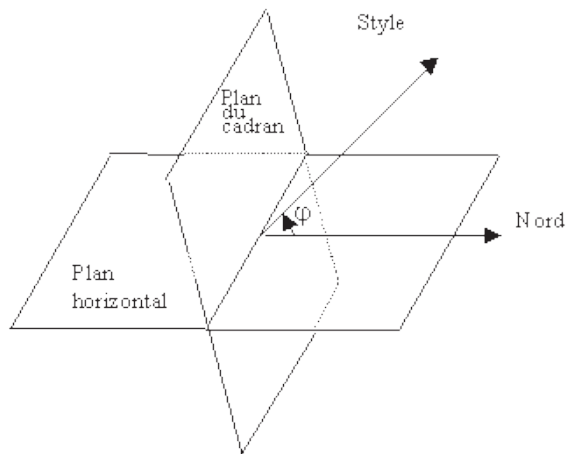


Figure 4 - Cadran équatorial

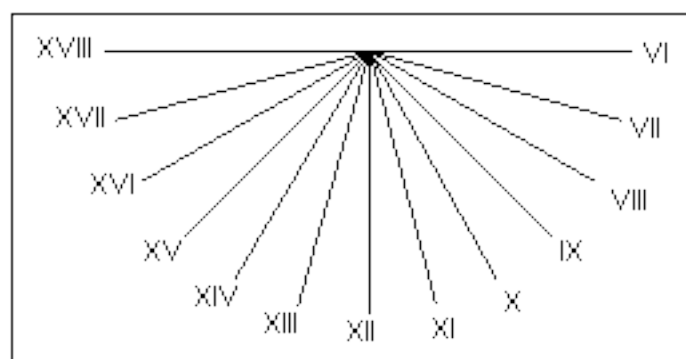


Figure 5 - Lignes horaires du cadran équatorial

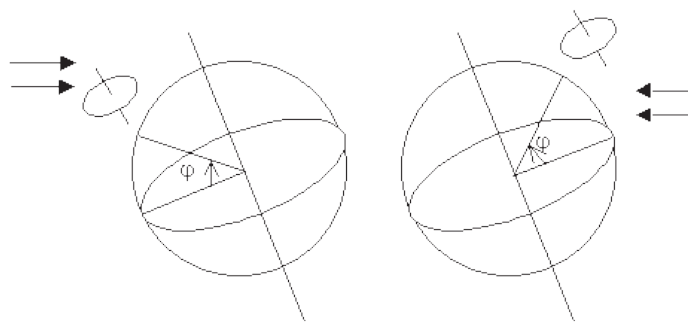


Figure 6 - En été le cadran est éclairé par sa face supérieure, en hiver le cadran est éclairé par sa face inférieure

Le soleil est exactement dans le plan de l'équateur aux équinoxes, et, suivant la saison au-dessus ou au-dessous de ce plan : le cadran doit donc être gradué sur ses deux faces (figure 6). La table peut être réduite simplement à une couronne.

Cadran horizontal

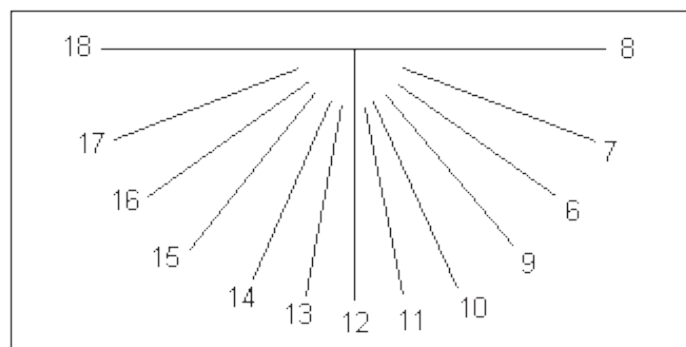


Figure 7 - Lignes horaires d'un cadran horizontal

Le plan du cadran est horizontal ; le style fait donc avec la table un angle égal à la latitude. Les lignes horaires sont les projections sur le plan horizontal des lignes horaires du cadran équatorial, elles ne sont plus équidistantes mais peuvent être calculées par la géométrie.

Cadrans verticaux

De nombreux cadrans solaires sont fixés sur les façades d'édifices et sont par conséquent verticaux. Le style, parallèle à l'axe du monde, pointe vers le sol.

Si le plan du cadran est orienté exactement vers le sud, le cadran est dit méridional.

La figure 8 indique la disposition des lignes horaires. Le cadran ne donne l'heure que si le soleil est plus au sud que la ligne est-ouest. On remarquera que par rapport au cadran horizontal les

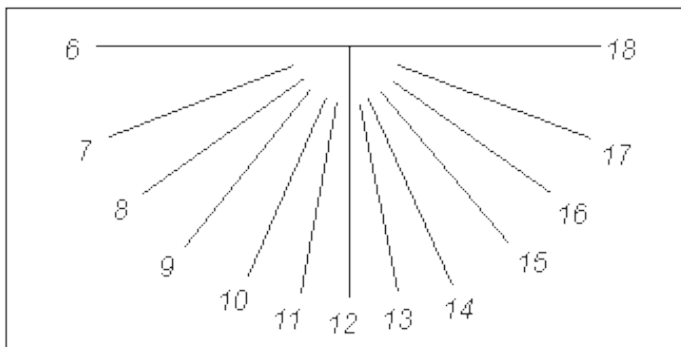


Figure 8 - Lignes horaires d'un cadran méridional

lignes du matin et les lignes de l'après-midi sont inversées ; cela permet d'identifier un cadran du commerce vendu sans notice de montage.

Si le plan vertical du cadran n'est pas exactement orienté vers le sud, le cadran est dit déclinant : figure 9. Pour les cadrans placés sur des murs orientés vers l'est, on observe que les lignes horaires sont plus serrées et plus nombreuses le matin ; seules quelques heures de l'après-midi sont indiquées : il s'agit de cadrans solaires verticaux déclinants du matin. Les choses s'inversent pour les cadrans verticaux déclinants de l'après-midi.

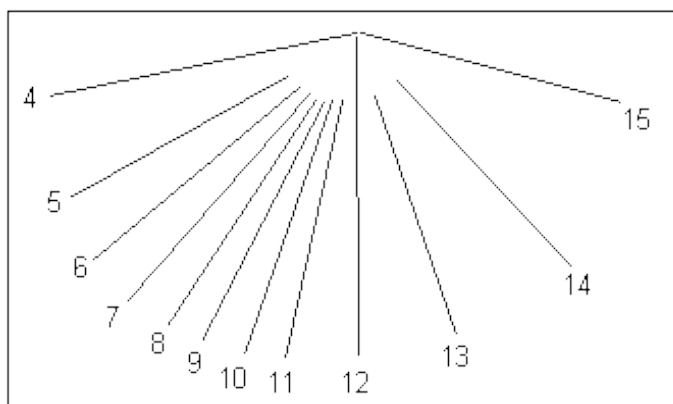


Figure 9 - Cadran vertical déclinant du matin

Cadran analemmatique

Il s'agit d'un cadran horizontal elliptique associé à un style vertical mobile le long du petit axe de l'ellipse. Ce type de cadran peut être construit directement sur le sol et c'est l'observateur, qui en se déplaçant sur une graduation correspondant à la date, projette son ombre sur l'ellipse.

Cadran à fibres optiques

Ce type de cadran ne comporte pas de style, mais une fente, traversée par un pinceau de

rayons solaires. En se déplaçant au cours de la journée, ce pinceau parcourt un ensemble de fibres optiques, qui, par une succession de réflexions totales, transmettent la lumière à différents points d'un écran, lesquels vont donc s'allumer l'un après l'autre. Le cadran du forum des halles à Paris fonctionne sur ce principe.

La lecture des cadrans

Les cadrans les plus simples, construits pour un lieu donné, n'indiquent que l'heure solaire locale. D'autres, plus sophistiqués, indiquent les corrections de longitude et d'équation du temps. Enfin certains fournissent beaucoup plus d'indications encore.

Utilisation de la courbe en huit

Elle fut tracée pour la première fois en 1730 par Granjean de Fouchy. On peut y inclure les deux corrections de longitude et d'équation du temps et la tracer autour de la ligne horaire du midi vrai. Dans ce cas elle permet de trouver l'heure moyenne pour chaque époque de l'année. Sur certains cadrans elle est même tracée autour de chaque ligne horaire.

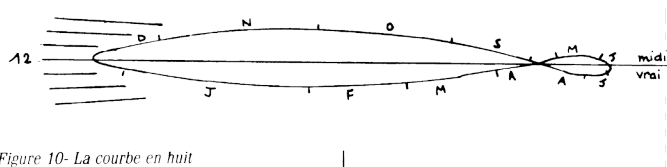


Figure 10- La courbe en huit

Lecture de la date

Suivant la saison, le soleil à une heure donnée, se trouve plus ou moins haut dans le ciel et, en conséquence, l'ombre portée d'un style présente une longueur variable. La figure 11 montre que, sur un plan horizontal, l'ombre est plus courte en été, plus longue en hiver, et que les choses s'inversent pour l'ombre portée sur un plan vertical.

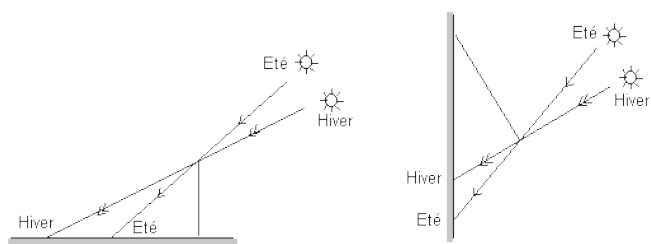


Figure 11 - Variation de la longueur de l'ombre sur un plan horizontal et sur un plan vertical

Le lieu de l'extrémité de l'ombre pendant une journée est une courbe qui coupe les lignes horaires et qui varie avec la date : on peut l'appeler arc diurne. Le réseau formé par les arcs diurnes est compris entre deux courbes extrêmes relatives au solstice d'hiver et au solstice d'été. Bien entendu il n'est pas question de représenter les arcs diurnes de tous les jours de l'année. Sur de nombreux cadrans figurent seulement les arcs des solstices et celui de l'équinoxe pratiquement rectiligne .

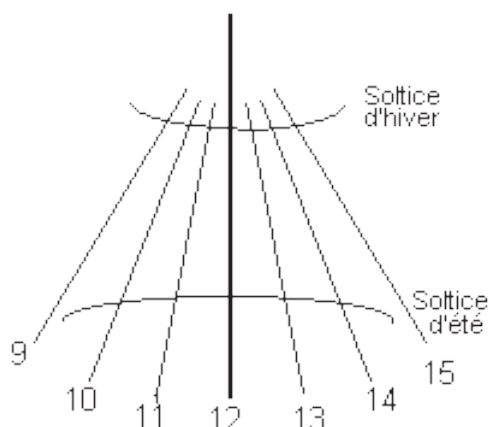


Figure 12 - Arcs diurnes sur un cadran méridional

Pour d'autres cadrans, les arcs diurnes sont plus nombreux et correspondent aux signes du zodiaque.

Les heures anciennes

Certains cadrans donnent les heures anciennes. Nous avons cité plus haut les heures temporaires, appelées aussi artificielles. Dans ce système le laps de temps qui sépare le lever du coucher du soleil est partagé en 12 heures et par conséquent le midi vrai est noté 6 heures.

Les heures babyloniennes (utilisées par les Anciens en Egypte et Asie Mineure) sont comp-

tées à partir de l'heure du lever du soleil. Par exemple si le soleil s'est levé à 8 heures, à midi il sera seulement 4 heures pour les heures babyloniennes. Pour passer de l'heure babylonienne à l'heure classique, il faut ajouter un nombre variable suivant l'époque de l'année. Inversement si un cadran donne à la fois l'heure classique et l'heure babylonienne, on peut trouver l'heure de lever du soleil et la date.

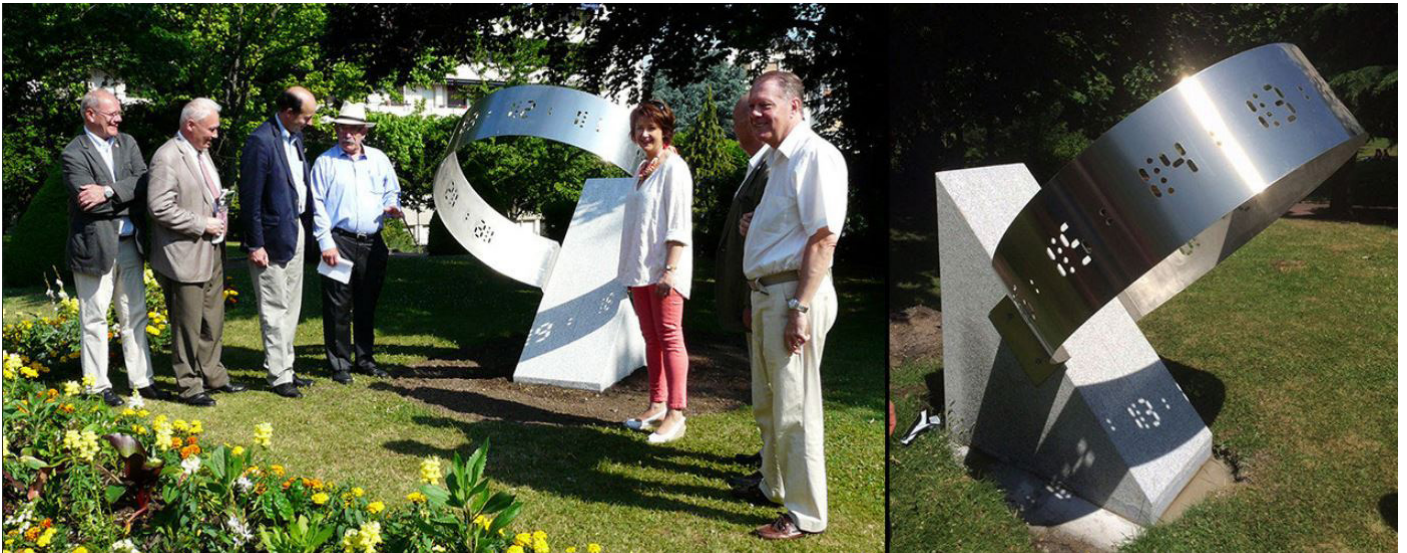
Utilisées par les Romains, puis pratiquement jusqu'au XVIIIème siècle par les Italiens, les heures italiennes sont, elles, comptées à partir du coucher du soleil du jour précédent.

Conclusion

Ce court exposé est bien loin d'épuiser toutes les richesses scientifiques et artistiques des cadrans solaires. Mais, s'il donne envie de mieux comprendre ceux que nous avons sous les yeux quelle que soit la région, il aura atteint son but.

Dans l'article complet présenté dans le N° 47 de notre revue, dix neuf cadrans solaires répartis dans l'agglomération parisienne sont présentés , accompagnés d'une liste de vingt quatre cadrans de la région Auvergne, ainsi que la référence à deux artisans cadraniers gnomonistes restaurateurs et installateurs de cadrans solaires.

« Cadran solaire » du Parc de Chamalières




Cette horloge solaire, dite « numérique » et unique en France, a été inaugurée le 6 juin 2015. Elle a été conçue par Gérard Baillet, ingénieur membre de l'ADASTA et réalisée par les services techniques de la Ville, Aubert-Duval et Aumélec.

Le chiffre, découpé sur une surface opaque, est projeté sur une surface portant une seule ligne, il est

alors vu en lumière sur un fond d'ombre. La coïncidence du chiffre avec la ligne donne l'heure solaire. L'heure légale se déduit par un décalage donnée sur la table de correction fixée au support.

Mois	Jour	Correction minute	Mois	Jour	Correction minute
01	/ 01		08	/ 21	+10
01	/ 06	+08	08	/ 29	+12
01	/ 11	+05	09	/ 05	+15
01	/ 17	+03	09	/ 11	+17
01	/ 24	+01	09	/ 17	+17
02	/ 06	-01	09	/ 23	+19
03	/ 03	-01	09	/ 29	+21
03	/ 12	+01	10	/ 06	+23
03	/ 20	+04	10	/ 14	+25
03	/ 27	+06	10	/ 26	+27
04	/ 03	+08	11	/ 22	+28
04	/ 11	+10	11	/ 29	+25
04	/ 20	+12	12	/ 05	+23
04	/ 28	+14	12	/ 10	+20
05	/ 03	+15	12	/ 10	+18
06	/ 08	+12	12	/ 15	+16
06	/ 18	+10	12	/ 20	+13
06	/ 28	+08	12	/ 25	+11
07	/ 10	+07	12	/ 30	+11
08	/ 21				

CHAMALIÈRES



Ville de référence et d'innovation

**Transformation de l'heure légale
en
heure solaire**

Pour obtenir l'heure solaire à Chamalières
il faut :

ajouter à l'heure légale :

la correction du tableau suivant la date
(en minute)

et retrancher

1 heure en heure d'hiver
ou
2 heures en heure d'été

Lire l'heure sur le trait, les quatres
points donnent l'heure, la demi heure est
donnée par les deux points

Un gnomon est un instrument astronomique servant à établir la hauteur du soleil. Celle-ci est déterminée par la longueur de l'ombre projetée par l'instrument sur une table généralement plane.

L'instrument est à l'origine un simple bâton planté verticalement dans le sol. Le mot gnomon est un mot latin venant du grec γνῶμων indicateur. Sur la simulation Povray ci-contre, l'instrument gnomon est la tige verticale terminée par une boule. Soit l la longueur de l'ombre entre le centre C de l'ombre de la boule et le pied de la tige d'une part, et g la hauteur du gnomon d'autre part, la hauteur du soleil sera donnée par « tan h = g/l ».

Cette propriété est une des bases du calcul des cadrans solaires où le centre C de l'ombre de la boule pourra alors indiquer l'heure solaire sur un tracé adéquat des lignes horaires.

Le gnomon a donné son nom à la science des cadrans solaires, la gnomonique, ainsi qu'à la personne qui conçoit des cadrans, le gnomoniste. Le réalisateur, lui, est appelé cadranier.

Le scaphé est un ancien type de cadran solaire, constitué d'un hémisphère concave, éventuellement tronqué. Il est constitué d'une demi-sphère horizontale creusée dans une pierre, au centre de laquelle est placé un gnomon, dont l'extrémité est au niveau du bord de la demi-sphère. Au cours d'une journée, l'ombre du gnomon décrit un arc de cercle sur l'hémisphère creux : il débute dans la direction de l'ouest sur le bord du cadran, passe au midi solaire sur le grand cercle vertical orienté au nord et termine sa course le soir vers l'est sur l'autre bord.