

Les cadrans solaires : principe (2)

Nathalie Cugnet, professeur agrégé, collège Jean-Baptiste Rusca, Tende

Cet article fait suite à une première partie dans le numéro 164 des Cahiers Clairaut pages 2 à 6. Il s'agit ici de comprendre comment les cadrans solaires peuvent nous donner des heures régulières. On abordera aussi dans cette partie la correction nécessaire pour retrouver l'heure légale actuelle.

Constitution d'un cadran solaire

Un cadran solaire comporte plusieurs éléments :

- une surface plane appelée table, sur laquelle sont tracées les lignes horaires. Comme à Saorge, cette table peut être agrémentée d'un décor et/ou d'une devise, voire de la date de création du cadran.
- un style qui est l'objet porte-ombre. L'ombre du style parcourt les heures au fur et à mesure que la Terre tourne. Elle permet la lecture de l'heure.



Fig.1. Cadran restauré des anciennes écuries de l'observatoire de Nice.

Différents types de cadrans solaires

Il existe de très nombreux types de cadrans solaires. Il y a en particulier :

1. Les cadrans équatoriaux : la table est parallèle à l'équateur terrestre et le style parallèle à l'axe de rotation de la Terre ;
2. Les cadrans horizontaux qui fonctionnent du lever au coucher du Soleil si aucun obstacle ne les cache à la lumière du Soleil, la table est horizontale et le style est toujours parallèle à l'axe de rotation de la Terre ;
3. Les cadrans verticaux, comme ceux de Saorge (article précédent). Les principales différences avec les cadrans horizontaux sont qu'ils ne pourront être

éclairés par le Soleil toute la journée (en particulier au printemps et en été) et que, pour les cadrans orientés approximativement au sud, l'ombre du style tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Ces cadrans sont souvent à style polaire (style incliné parallèlement à l'axe de rotation de la Terre). Ils peuvent aussi être à style horizontal (comme ceux qui sont conservés au monastère de Saorge) et dans ce cas, c'est l'ombre du bout du style qui indique l'heure.

Mais un cadran vertical ne peut pas toujours être orienté selon le méridien local, car il est tracé sur un mur et donc tributaire de l'orientation de ce dernier. Cette orientation n'étant pas modifiable, c'est le tracé horaire qui doit être modifié en conséquence.

Aussi les cadrans verticaux peuvent être de trois types :

- méridional (orienté face au sud). Les lignes horaires convergent vers un point et sont symétriques par rapport à la ligne du midi, verticale. L'ombre du style est à gauche le matin, au milieu à midi, à droite l'après-midi. Au monastère de Saorge, plusieurs cadrans sont presque orientés plein sud (voir la première partie de l'article, CC 164 page 5 figure 7, il s'agit des n^{os} 1, 2, 3, 4, 5 et 10) ;
- déclinant est (orientation orientale), ils indiquent l'heure le matin, (déclinaison¹ de -90° pour les cadrans 8 et 9 sur le plan de Saorge, donc plein est) ou déclinant ouest (orientation occidentale), ils indiquent l'heure l'après-midi (déclinaison de $+90^\circ$, cadrans 6 et 7, donc plein ouest) ;
- septentrional (déclinaison de 180°), ce type de cadran est rare. Il indique les premières et dernières heures de la journée et ne fonctionne qu'au printemps et en été. Il est tourné vers le nord et le style qui pointe vers le ciel part du centre du cadran. Les heures du matin sont donc à droite et celles du soir à gauche.

On constatera que les cadrans solaires du monastère

¹ On appelle déclinaison d'un cadran l'angle entre la perpendiculaire au cadran et le sud. Elle vaut 0° pour un cadran méridional.

de Saorge ont été peints sur les murs est, nord et ouest du cloître. Ils sont donc méridionaux, déclinants du matin ou de l'après-midi. Ils couvrent ainsi la journée car la présence des murs implique que pour couvrir toutes les heures, il faut un grand nombre de cadrans. En effet, les murs est et ouest cachent les cadrans méridionaux de la cour à différents moments de la journée. Dans la cour intérieure, les cadrans situés sur la façade est indiquent les heures de l'après-midi et ceux situés sur la façade ouest les heures du matin. Pour un cadran qui voit le sud, donc avec une déclinaison comprise entre 90° est et 90° ouest, le style pointe vers le sol. Il est placé à gauche de la ligne de midi sur un cadran déclinant est ; sur un cadran déclinant ouest, il est à droite. Plus la déclinaison d'un cadran est importante (de 0 à 90°), plus le temps d'éclairage est court et plus ses lignes horaires sont parallèles entre elles.

Fonctionnement d'un cadran.

Pour comprendre le fonctionnement d'un cadran, il faut imaginer une expérience où on se placerait au pôle Nord en été. L'axe nord-sud sera matérialisé par un bâton planté perpendiculairement au plan horizontal.

Par suite du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même en un jour, l'ombre du bâton balaie sur le plan horizontal un tour complet en 24 heures. En une heure l'ombre va donc balayer un secteur de 15° ($360^\circ/24$). Le plan horizontal au pôle étant parallèle à l'équateur, nous avons réalisé un cadran équatorial. En tout autre point de la Terre qu'au pôle Nord, ce cadran peut être utilisé à condition de maintenir la table parallèle à l'équateur et le style parallèle à l'axe des pôles (il suffit de connaître la latitude du lieu qui est égale à la hauteur du pôle sur le plan horizontal).



Fig.2. Cadrans équatoriaux installés au pôle Nord et en Europe.



Fig.3. Maquette d'un cadran équatorial.

Sur ce cadran équatorial, l'heure se lit sur la face côté nord en été et au printemps et sur l'autre face les autres saisons. Par contre il sera difficile de lire l'heure au moment des équinoxes puisque le Soleil sera dans le plan du cadran.

Pour un cadran horizontal, le style devant être toujours parallèle à l'axe des pôles, il fera avec le plan du cadran un angle égal à la latitude du lieu. Pour un cadran vertical méridional, cet angle sera de 90° moins la latitude du lieu.

La plupart des cadrans indiquent l'heure solaire du lieu où ils se trouvent. Or il n'est pas midi au même instant partout en France, midi étant l'instant où le Soleil passe plein sud, au plus haut dans le ciel. Par exemple, il est midi 10 minutes plus tôt à Nice qu'à Marseille, Nice étant plus à l'est.

D'où l'expression « chacun voit midi à sa porte » ! Les églises de France ne sonnaient pas toutes midi en même temps !

L'avènement du temps moderne

Au 19^e siècle, le développement du chemin de fer nécessite la mise en place d'une heure commune dans tout le pays. De plus, il y avait concurrence entre l'heure des horloges, régulière, et l'heure solaire vraie, irrégulière². En 1816, le temps moyen des horloges est adopté à Paris.



Fig.4. Médaillon Arago indiquant le passage du méridien de Paris, cour du Louvre.

² Voir par exemple « L'affaire de la Ste Luce », CC 147.

Puis après une longue « guerre des heures » entre la France et l'Angleterre, en 1911 la référence devient le temps moyen du méridien de Greenwich et la Terre est découpée en fuseaux horaires. En échange les Anglais devaient abandonner leur système métrique car les Français se sentaient lésés puisque qu'ils avaient matérialisé leur méridien les premiers.

Correction pour retrouver l'heure de sa montre

Autrefois ces corrections n'avaient pas d'importance car chacun voyait « midi à sa porte ». Dans la vie moderne ce n'est plus possible à cause des communications et des transports.

1. En France, on ajoute à l'heure donnée par le cadran, une heure en « hiver » et deux en « été ».

2. Pour se ramener à l'heure légale, il faut effectuer une seconde correction dite de longitude. Saorge est à 7° 33' est de longitude. Chaque degré représente 4 minutes puisque les 360° sont décrits en 24 h. Ainsi à Saorge, on retranche 30 minutes et 12 secondes. Le signe moins qui apparaît ici est dû au fait que Saorge voit midi avant Paris vu le sens de rotation de la Terre. C'est pour cela qu'il y a 10 minutes environ entre l'heure solaire à Marseille et celle à Saorge. De la même façon quand il est 12 h solaire à Brest, il est 12 h 49 min en heure solaire à Strasbourg car le Soleil avait culminé avant à Strasbourg. Par contre, l'heure solaire est la même tout au long d'un méridien.

3. La dernière correction à faire concerne ce que l'on appelle l'équation du temps. On la trouve dans des tableaux ou des graphiques. Cette correction va de +14 à -16 minutes.

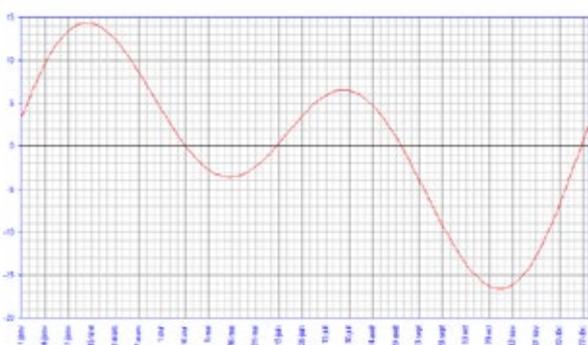


Fig.5. Graphique donnant l'équation du temps.

Elle est due au fait que la Terre ne tourne pas à la même vitesse sur son ellipse et que son axe est incliné. Le Soleil est donc tantôt en retard par rapport à l'heure moyenne de nos montres tantôt en avance. Une valeur positive de l'équation du temps indique que le Soleil vrai est en retard, c'est-à-dire plus à

l'est, et une valeur négative qu'il est en avance, c'est-à-dire plus à l'ouest. Afin de prendre en compte ce phénomène, certains cadrans plus élaborés indiquent les heures moyennes du lieu avec les courbes en huit tracées autour des lignes horaires, comme celui de la figure 3.

Ces corrections, pouvant atteindre jusqu'à deux heures, la formule pour retrouver l'heure de la montre est donc :

L'heure légale de la France = heure solaire

+ écart en longitude (positif à l'ouest de Greenwich, négatif à l'est)

+ l'équation du temps (positive ou négative) + heure d'été ou d'hiver (1 h ou 2 h).

Ex : Lorsqu'un cadran à Saorge indique midi le 11 mai, le calcul à faire est 12 h – 30 minutes (écart en longitude à Saorge) – 3 minutes environ (équation du temps pour le 11 mai) + 2 h (heure d'été). On trouve donc 13 h 27. Ce qui correspond à notre montre ou téléphone.

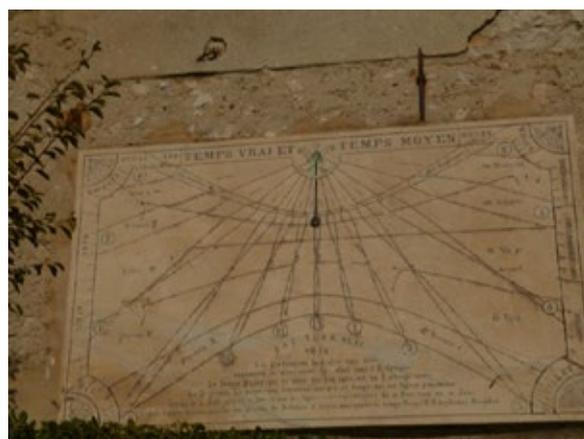


Fig.6. Cadran du père Illonse, monastère de Cimiez, Nice (1876).

Un cadran solaire indique parfois aussi la date. Il sert alors de calendrier. L'ombre d'un point d'un style décrit chaque jour une courbe dont la forme et l'emplacement varient au cours de l'année. Les arcs diurnes les plus souvent représentés sont ceux des solstices d'hiver et d'été qui sont les deux arcs extrêmes. Ces arcs sont remplacés par une ligne droite aux équinoxes. On parle d'équinoxiale. Pour lire la date, on utilise soit un style polaire muni d'un œilleton soit un style virtuel : une tige perpendiculaire à la table et terminée par un petit objet (boule...). L'heure et la date sont indiquées par l'ombre de cet objet. Le cadran du père Illonse ci-dessus est l'un de ceux qui indiquent l'heure et la date. Sur un cadran vertical méridional l'ombre est la plus courte le 21 décembre, et la plus longue le 21 juin. ■