



Le cadran solaire dans différentes cultures

Denis Savoie

Directeur de la médiation scientifique et de l'éducation d'Universcience

L'ancêtre de tous les cadrans solaires, le *gnomon*, a sans doute été inventé très tôt par différentes civilisations, notamment par les Chinois et les Babyloniens. Dès le V^e siècle av. J.-C., ce simple bâton planté verticalement est davantage considéré comme un instrument d'astronomie : il sert à déterminer la latitude du lieu, les dates des quatre saisons (solstices et équinoxes) et l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre.

Les balbutiements

De l'Égypte du XV^e siècle av. J.-C. nous vient un cadran portable ressemblant à une règle graduée munie d'un porte ombre ; mais l'usage de ce cadran solaire primitif n'est pas encore très clair. On sait seulement qu'il indiquait, comme tous les cadrans solaires jusqu'à la fin du Moyen Âge, une heure appelée *inégaie*, c'est-à-dire la douzième partie de l'intervalle de temps compris entre le lever et le coucher du Soleil. Cette heure avait une durée variable en fonction des saisons et de la latitude du lieu. Par exemple à la latitude de Constantinople qui vaut 41°, une heure inégale dure 45 minutes en hiver et 75 minutes en été. Ce n'est qu'aux équinoxes que l'heure inégale dure 60 minutes : c'est l'heure *équinoxiale*, qui n'a été utilisée que par les astronomes de l'époque hellénistique, et probablement avant eux par les astronomes babyloniens.

Ce sont les fouilles archéologiques qui ont apporté le plus d'informations sur les cadrans solaires grecs, qui dérivent en partie de la science babylonienne (appelée chaldéenne), mais on ignore comment s'est effectué le transfert des connaissances astronomiques entre les Babyloniens et les Grecs. On cite souvent l'astronome babylonien Bérosee (vers 270 avant notre ère) comme l'un des artisans de ce transfert, mais il est presque certain que les conquêtes d'Alexandre jusqu'à l'Indus, au IV^e siècle avant J.-C., avaient déjà contribué aux échanges scientifiques, y compris vers l'Inde. On retrouve d'ailleurs, dans un grand texte astrono-

mique indien, le *Surya-Siddhanta*, qui date du IV^e–V^e siècle après J.-C., un chapitre consacré au gnomon avec une construction qui se rapproche beaucoup des méthodes grecques.

L'essor du cadran solaire

Au IV^e siècle avant notre ère, on voit apparaître des cadrans solaires tracés dans des portions de sphère, que l'on appelle des *scaphés* (cuvette),



(fig.1) - Cadran solaire conique de Cnide, en Turquie. Onze lignes horaires divisent le cône en douze secteurs et trois courbes de dates sont tracées : solstice d'été (en bas), solstice d'hiver (en haut), équinoxes (au centre). On voit l'ombre d'un gnomon dont l'extrémité indique que la cinquième heure est passée.

avec différentes variantes. Dans ce genre d'instrument, l'heure et la date des saisons sont indiquées par l'extrémité seule de l'ombre d'un gnomon horizontal (fig.1). Peu de temps après, on se met à construire des *cadrans coniques* qui supposent des connaissances plus poussées. Si les cadrans solaires tracés dans des volumes représentent l'essentiel du corpus gnomonique antique, il faut préciser que l'on traçait aussi dans l'Antiquité grecque des cadrans horizontaux et verticaux, tout comme il existait des cadrans portatifs de petite taille qui faisaient office de *montre de voyage*.

Les Romains, au III^e siècle avant J.-C., reçoivent des Grecs la pratique des cadrans solaires et remplissent leurs villes, en particulier Rome, de toutes sortes de cadrans, dont les fonctions étaient davantage de mettre en valeur le prestige de leur propriétaire plutôt que de donner l'heure aux citoyens ! L'empereur Auguste fait même venir d'Égypte, vers l'an 10 avant notre ère, pour fêter sa victoire sur ce pays, un obélisque, pour le placer sur le Champs de Mars à Rome afin de le transformer en méridienne, c'est-à-dire en cadran n'indiquant que le midi solaire, instant où le Soleil culmine au plus haut vers le Sud.

La construction des cadrans, qui au commencement était considérée comme du ressort des savants, devient peu à peu une industrie courante. Vitruve, architecte et ingénieur du I^{er} siècle avant J.-C., nous apprend dans le seul texte antique qui traite du sujet, le *De architectura*, que ce sont les architectes qui sont chargés d'exécuter ces objets. Ceux-ci n'ont pas qu'un usage civil : les astronomes les utilisent pour leurs observations astronomiques, comme Ptolémée au II^e siècle de notre ère. Vitruve

décrit notamment un procédé graphique appelé *analemme* qui permet de tracer des cadrans ; mais son texte est décevant car il ne permet que la détermination de la longueur de l'ombre à midi en un lieu donné (voir encadré). La méthode de l'analemme devait cependant être bien connue dans l'Antiquité et elle constitue une étape très importante dans le calcul par la trigonométrie des cadrans solaires. Le grand astronome Ptolémée a d'ailleurs écrit en grec un traité intitulé *De l'analemme* – et qu'il ne faut pas confondre avec la méthode exposée par Vitruve, bien que le procédé ait quelques similitudes – que l'on peut assimiler à un traité de géométrie descriptive accompagné de résultats numériques.

L'émergence de la civilisation arabo-persique à partir de la fin du VII^e siècle va favoriser les contacts avec les héritages grecs et indiens. Les cadrans solaires vont bénéficier de ces échanges scientifiques et vont se perfectionner, en raison d'une part de l'amélioration des méthodes de calculs basées sur la trigonométrie plane et sphérique, et d'autre part de leur utilisation à des fins religieuses. Les cadrans solaires vont en effet devenir des instruments au service de l'Islam en indiquant au *muezzin* les heures des cinq prières journalières. Aux premiers siècles de l'Islam, certains cadrans indiquent *maghrib* (coucher du Soleil), *zuhr* (midi solaire) et surtout *asr*, prière de l'après-midi : c'est l'instant où l'ombre d'un gnomon est égale à la longueur de son ombre à midi augmentée de sa propre longueur. On voit ainsi apparaître au fil des siècles sur les cadrans arabo-persiques des courbes complexes, et certains cadrans encore en usage dans de nombreuses mosquées au début du XX^e siècle indiquaient aussi des heures des crépuscules du soir et du matin (fig. 2).



Fig. 2 : Cadran solaire du XVI^e siècle gravé sur une pierre et installé à Constantinople sur la basilique Sainte-Sophie transformée en mosquée au XV^e siècle. On voit nettement la ligne verticale de midi coupée par une droite inclinée qui indique les équinoxes. Celle-ci est encadrée par deux arcs d'hyperboles qui indiquent les solstices (été en bas, hiver en haut). Les treize arcs qui occupent le cadran indiquent combien de temps il reste avant la prière de l'*asr* : ils sont tracés toutes les vingt minutes.

De la Turquie aux pays du Maghreb en passant par la Syrie et l'Égypte, les cadrans solaires seront longtemps les seuls instruments permettant de connaître l'heure précisément. Sous l'impulsion des mathématiques et de l'astronomie arabo-persique, ces instruments acquièrent une grande rigueur scientifique tout en gardant un caractère esthétique digne des plus fines sculptures.

L'Occident redécouvre les cadrans solaires à la toute fin du Moyen Âge, presque en même temps que la naissance de l'horlogerie. Celle-ci fait un usage quasi-exclusif des heures équinoxiales de soixante minutes, bien que certains savants comme Thābit Ibn Qurra au IX^e siècle avaient déjà imaginé des cadrans solaires utilisant de telles heures. Les heures inégales vont progressivement tomber en désuétude au profit des



Fig. 3 : Cadran solaire installé en haut d'une colonne à Vermenton (Yonne). Daté de 1790, c'est un cadran orienté volontairement plein Sud. On voit nettement l'ombre de son style polaire (il pointe sensiblement vers l'Étoile polaire) qui indique l'heure solaire en recouvrant successivement les lignes horaires convergentes.

heures équinoxiales qui vont devenir d'un usage courant sur les cadrans solaires. La conséquence va être l'introduction du *style* polaire, c'est-à-dire d'un *gnomon* parallèle à l'axe de rotation de la Terre ; il apparaît dans la seconde moitié du XV^e siècle en Europe.

Désormais, c'est toute la longueur de l'ombre du *style* qui indique l'heure solaire sur ces cadrans où les lignes d'heures convergent vers le pied du *style* et pas seulement l'extrémité de l'ombre comme dans les cadrans à heures inégales. Précisons que pendant le bas

Moyen-Âge, les cadrans solaires ne disparaissent pas complètement d'Occident ; ils subsistent principalement sur les églises ou dans les monastères sous une forme très rudimentaire que l'on appelle les *cadrans canoniaux*.

De la Renaissance jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, l'Europe se couvre de cadrans solaires, sur les églises, les châteaux, les simples demeures, les jardins voire certains bâtiments publics (fig.3). Souvent ornés de devises philosophiques ou religieuses, les cadrans solaires vont être peints, sculptés, gravés dans la pierre ou le métal. Les astronomes-cadraniers vont rivaliser d'imagination pour créer des cadrans de toutes sortes : portatifs, universels, pour aveugles, à réflexion, *etc.* Les cadrans vont aussi faire leur entrée à l'intérieur des bâtiments, en particulier dans les cathédrales aux XVI^e et XVII^e siècles, en devenant des méridiennes : un trou percé dans le toit ou un mur laisse entrer les rayons solaires qui forment alors au sol une tache ovalisée. Lorsque celle-ci coupe la ligne méridienne qui matérialise la direction Nord-Sud géographique, on lit le midi solaire local à quelques secondes près, ainsi que les solstices et les équinoxes. Mais on peut aussi utiliser la méridienne à des fins astrono-

miques, notamment à la détermination de la valeur de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre qui correspond à l'obliquité de l'écliptique.

Au début du XVIII^e siècle, en Inde, un maharaja-astronome, Sawai Jai Singh II, va construire cinq observatoires astronomiques exclusivement composés de cadrans solaires, aux dimensions et aux formes extraordinaires, preuve que les cadrans sont des instruments toujours d'actualité à une époque où les lunettes astronomiques permettent d'importantes découvertes (fig.4).



Fig. 4 : Observatoire de Jaipur situé dans le Rajasthan en Inde. Construit autour des années 1730, il comporte une vingtaine de cadrans solaires géants. On voit au premier plan un cadran hémisphérique et au second plan un immense cadran équatorial.

On construit aujourd'hui encore des cadrans solaires dans le monde entier, plus de trois mille ans après leur invention. Alors que l'heure est diffusée sur toute la Terre par l'intermédiaire de constellations de satellites comme le GPS ou bientôt Galileo à une précision de quelques nanosecondes, on pourrait s'étonner d'une telle survivance. C'est que les cadrans solaires nous relient à notre passé et font partie du patrimoine scientifique et artistique de l'Humanité qu'il nous faut préserver.

D. S.

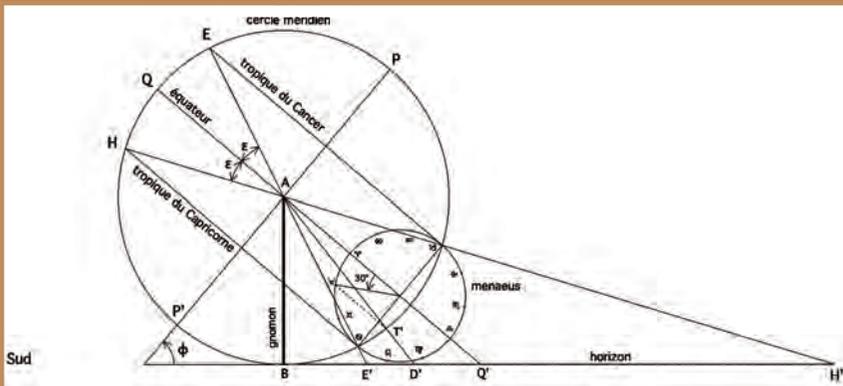
L'analemme de Vitruve

Soit un gnomon de longueur AB dont le sommet A est au centre d'une sphère céleste (schéma 1). $PP'B'P'$ représente le plan du méridien, autrement dit la direction Nord-Sud géographique. L'axe (PP') est l'axe du monde : il est incliné vers le Nord d'un angle égal à la latitude Φ du lieu (ici 50°). Perpendiculairement à (PP') et passant par A, on trace l'équateur et de là les deux tropiques : celui du Cancer représente la position du Soleil au solstice d'été, celui du Capricorne la position du Soleil au solstice d'hiver. Depuis A, les deux tropiques font chacun un angle avec l'équateur égal à l'obliquité de l'écliptique ϵ , soit ici à 24° (valeur de l'Antiquité).

Pour tracer au sol la longueur de l'ombre du gnomon à midi solaire, on fait passer une droite par A et par la position du Soleil au méridien : si E, Q et H désignent respectivement la position du Soleil au solstice d'été, aux équinoxes et au solstice d'hiver, BE' est la longueur de l'ombre au sol en été, BQ' est la longueur de l'ombre aux équinoxes et BH' la longueur de l'ombre en hiver. Par exemple pour une latitude de 50° et un gnomon de 10 cm, on obtient $BE' = 4,9$ cm ; $BQ' = 11,9$ cm ; $BH' = 34,9$ cm.

Si l'on veut tracer la longueur de l'ombre à l'entrée du Soleil dans un signe du zodiaque, on utilise le *menaeus*, qui représente l'écliptique, autrement dit la trajectoire du Soleil dans le ciel au cours de l'année. Par exemple lorsque le Soleil entre dans le signe du Taureau, sa longitude vaut 30° : en reportant cette valeur sur le *menaeus* puis en faisant passer une droite par A et par la projection T' du signe du Taureau sur le cercle méridien, on obtient le point D' qui relié à B donne la longueur de l'ombre. On a ici $BD' = 7,9$ cm.

Pour tracer les autres lignes d'heures inégales ainsi que les arcs, on procède à des rabattements et des projections de plans. En général, pour tracer une ligne d'heure inégale, on détermine trois points (solstices et équinoxes) que l'on relie soit par une droite si le cadran est plan, soit par une courbe si le cadran est tracé dans un volume.



Pour en savoir plus :

Denis SAVOIE : *Les cadrans solaires*, Belin-Pour la Science, Paris, 2003

Site de la Commission des cadrans solaires de la Société Astronomique de France :

<http://www.commission-cadrans-solaires.fr/>