

## Commission des Cadrans Solaires Société Astronomique de France

La mesure du temps par les astres (cadrans solaires, méridiennes, astrolabes, nocturlabes...)

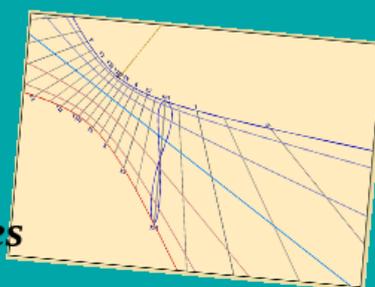
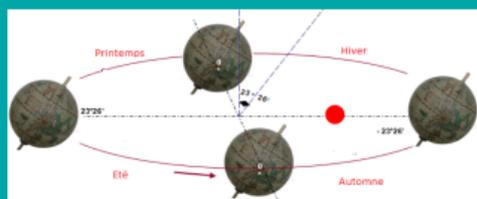
3 rue Beethoven 75016 Paris

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

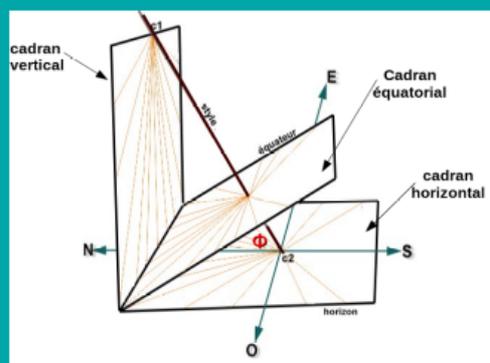
Tél : 01 42 24 13 74

# Guides gnomoniques *Cadran Info*

*de l'inventaire, de la compréhension, de la réalisation à la vérification des cadrans solaires*



## Astronomie et cadrans solaires



*pour débutants*



*Comprendre les cadrans solaires, lire l'heure, réaliser ses premiers instruments,  
entrer dans le monde de la gnomonique.*

## GUIDES de gnomonique *Cadran Info*

### Pourquoi ?

La conception des cadrans solaires appelée « gnomonique » n'est pas aussi simple que cela paraît. De nombreux ouvrages et sites internet abordent ce sujet ; mais lequel choisir en fonction de la précision recherchée, du type de cadran ou de tracé ? Un cadran peut être réalisé sur toute surface : plane, cylindrique concave, convexe... L'ombre peut être portée par des supports inattendus.

Pour tout cela nous avons imaginé ces guides.

### Contenu ?

Il est issu principalement d'articles publiés dans la revue *Cadran Info* de la Commission des Cadrans Solaires (CCS). Il se veut être une « boîte à outils » destinée aux "cadraniens - gnomonistes".

Aucun esprit publicitaire ou de mise en valeur d'un site plus qu'un autre. Que les contributeurs soient remerciés. Merci également à tout lecteur pour ses remarques, suggestions, compléments, corrections.

### Quels guides ?

Ils concernent tous les domaines de la gnomonique depuis leur inventaire, leur compréhension, leur réalisation et la vérification des tracés.

Ils sont datés et seront mis à jour en fonction des nouvelles études ou outils.

- **La chasse aux cadrans solaires**  
Découvrir, reconnaître, analyser un cadran solaire.
- **Astronomie et cadrans solaires pour débutants**  
Comprendre le fonctionnement d'un cadran solaire.
- **Ensoleillement d'un cadran solaire**  
Définir l'emplacement d'un cadran en fonction de son environnement.
- **Orientation et déclinaison gnomonique**  
Savoir mesurer l'orientation d'un cadran solaire.
- **Outils numériques du gnomoniste**  
Connaître les logiciels et applications de la conception, la réalisation et la vérification d'un cadran.

#### Et sur notre site...

- La liste de **tous les articles publiés dans la revue *Cadran Info***. Sous forme de tableur, ils peuvent être triés par type de sujet.
- La liste de **plus de 50 logiciels/applications/tableurs gnomoniques**. Chaque item (analyse cadran, déclinaison gnomonique, ensoleillement, éphémérides...) est identifié par une couleur.

Tous les numéros de la revue *Cadran Info* sont disponibles sur la "boutique" de la SAF, rubrique Cadran Info : <https://boutique.saf-astronomie.fr> ou sur demande.

# GUIDE de gnomonique

## Astronomie et cadrans solaires pour débutants

Compilation/formalisation

Philippe Sauvageot

[philippe.sauvageot@saf-astronomie.fr](mailto:philippe.sauvageot@saf-astronomie.fr)

Chargé des informations CCS

Merci à Serge Grégori et Denis Savoie

### Sommaire

<b>INTRODUCTION</b>	
Pour, Pourquoi, Comment !	5
<b>I - COMPRENDRE les CADRANS SOLAIRES</b>	
I -1 La Terre tourne sur elle-même	6
Le cadran indique les heures	6
Les cadrans horizontaux et verticaux	9
Orientation d'un cadran vertical	10
I - 2 La terre tourne autour du Soleil, son axe est incliné	12
Le cadran devient calendrier	12
Tracé des valeurs de la déclinaison	14
I - 3 La terre tourne autour du Soleil, son axe de rotation sur elle-même est incliné	16
Le cadran indique les écarts entre Temps Vrai et Temps Moyen	16
L'équation du temps	17
Tracé de la courbe en 8	18
I - 4 - Représentation d'un cadran et lecture	20
Synthèse	20
Potentiel d'un cadran solaire	21
Lecture de l'heure sur un cadran	21
Pour conclure	22
<b>II- RÉALISATION de CADRANS</b>	
II -1 Cadran équatorial	23
II - 2 Cadran polaire	25
II - 3 Cadran horizontal et cadran méridional	28
<b>III- FEUILLE de ROUTE</b>	
Comprendre (Livres, formation en ligne, à télécharger)	32
Réaliser des cadrans (sites)	32
Approfondir	33

## INTRODUCTION

*La compréhension d'un cadran solaire est indispensable pour le déchiffrer, le réaliser et conceptualiser la position du Soleil en fonction du lieu et des saisons. C'est le vrai plaisir de la science de la gnomonique.*

### **Pour...**

... savoir lire un cadran solaire, en réaliser un, il est nécessaire au préalable de comprendre son fonctionnement.

### **Pourquoi ?**

L'achat d'un cadran « tout fait » a ses limites. Nous découvrirons que le tracé de l'instrument doit correspondre à un lieu et une orientation précise.

Le réaliser soi-même avec les outils numériques trouvés sur le web est une solution, mais lequel choisir ? est-il fiable ? Et ... informatique ou non, le premier écueil est le relevé de l'orientation du support. La boussole n'est pas appréciée en gnomonique.

Enfin, il ne faut pas s'abuser. Tout outil n'a valeur que par celui qui l'utilise. Un cadran ne sera jamais « faux à cause de l'informatique », mais de celui qui aura entré des données erronées ou reporté des résultats sans esprit critique.

### **Comment...**

... en partant de la description de ce qui nous entoure principalement la relation entre le Soleil et la Terre qui orbite autour de lui en tournant sur elle-même avec son axe incliné et parcourt une ellipse en une année.

## I – COMPRENDRE les CADRANS SOLAIRES

Un cadran solaire (fig. 1) est constitué d'un objet projetant une ombre ("gnomon", "style droit", "style polaire" <sup>1</sup>, bille, fils...) ou une tache lumineuse (œilleton) sur une "table" où sont tracées des lignes et parfois des courbes.

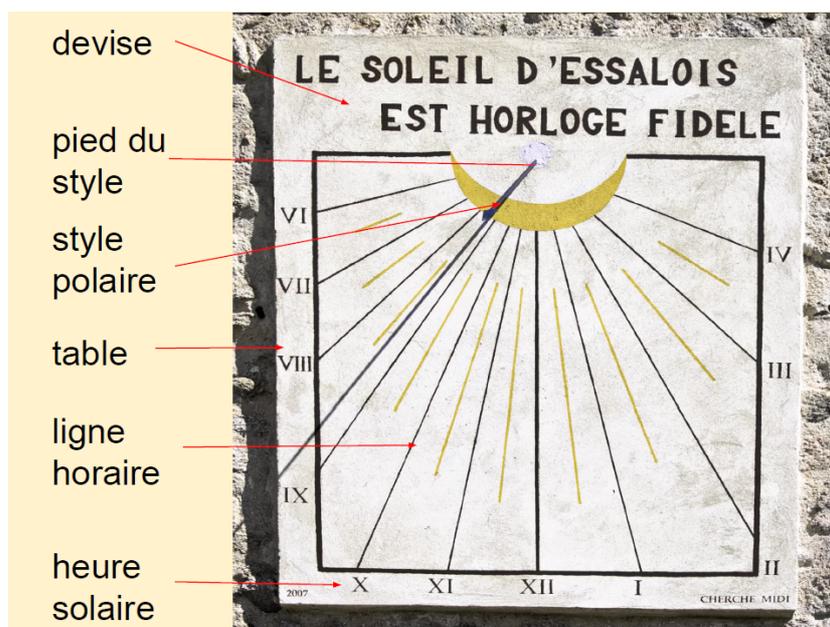


Fig.1 : Cadran solaire vertical, le plus répandu, indiquant l'heure du soleil  
Réf . Association "Cherche midi 42".

Cette ombre ou ce repère lumineux se déplace sur le cadran en fonction de la position de notre planète autour de son étoile. C'est pour cela que nous partirons de notre "environnement astronomique" (Soleil et Terre) pour comprendre la gnomonique<sup>2</sup> et les cadrans solaires.

### I - 1 La Terre tourne sur elle-même : un cadran solaire indiquera l'heure.

#### Le cadran indique les heures

C'est parce que la Terre tourne sur elle-même, éclairée par le Soleil, qu'il y a des jours et des nuits. Cette rotation est rythmée par les heures, informations de base d'un cadran solaire. D'une manière générale, un cadran solaire indique l'heure vraie (le temps vrai), celle du Soleil et non l'heure légale, celle de la montre.

Pour bien comprendre le fonctionnement d'un cadran solaire, transportons-nous dans notre hémisphère, au pôle Nord durant le semestre d'ensoleillement. Plantons une tige dans le prolongement de l'axe de rotation de la terre, perpendiculaire au sol. Ce point est le pôle "Nord

<sup>1</sup> Un "gnomon" est une tige verticale. Le "style droit" est une tige perpendiculaire à la "table". Le "style polaire" est une tige parallèle à l'axe de rotation de la Terre.

<sup>2</sup> Le mot gnomon ("indicateur" en grec), a donné son nom à la science des cadrans solaires, la gnomonique.

géographique"<sup>3</sup>. À partir du point d'encrage du bâton, nous tracerons un cercle que nous diviserons en 24 lignes correspondant à une rotation complète de la terre en 24 heures. La Terre faisant un tour complet (360°) en 24 heures, une heure correspond donc à un angle de  $360^\circ/24 = 15^\circ$ .

L'ombre de notre bâton balaye donc  $15^\circ$  en une heure de temps.

Ainsi, nous venons de réaliser au pôle Nord, le plus simple des cadrans solaires avec comme "style" notre bâton et comme "table", le cercle sur le sol, sur lequel nous aurons dessiné et numéroté nos lignes horaires (fig. 2).

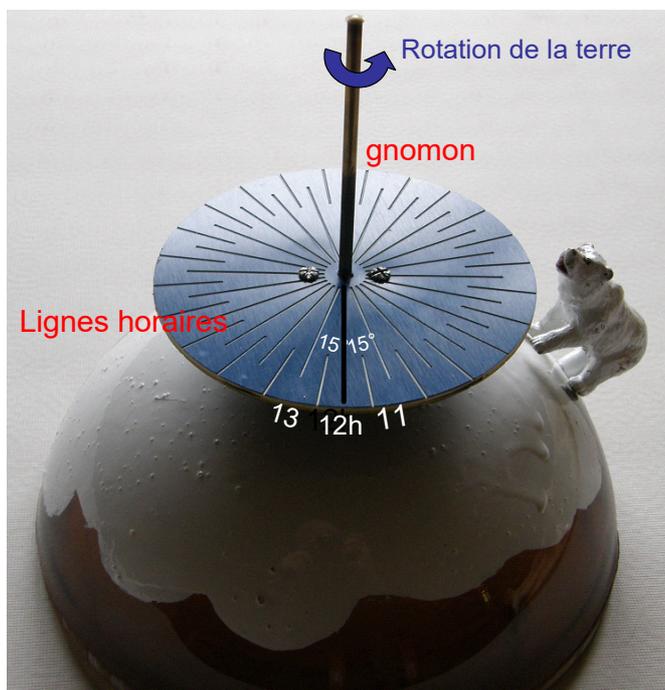


Fig. 2 cadran au pôle Nord

Bien sûr, de craindre de prendre froid, nous souhaitons déplacer notre cadran chez nous.

Afin de ne pas perturber son fonctionnement, nous prendrons l'ensemble style et table et le ferons glisser parallèlement à lui-même le long du méridien de notre domicile. Nous nous arrêtons à notre latitude.

Ainsi, le style sera toujours parallèle à l'axe de la Terre et par conséquent la table parallèle à l'équateur (fig. 3).

À noter sur la figure 3, ce qui sera valable pour tous les types de cadrans :

- ° l'angle du style avec le sol (plan horizontal du point A) est égal à celui de la latitude  $\Phi$  du lieu.
- ° le style est contenu dans le plan méridien passant à la verticale de notre point A.

<sup>3</sup> Il existe deux « Nord » : le premier est géographique (l'axe de rotation de la Terre), le second est magnétique. Ces deux points ne se trouvent pas au même endroit. La différence entre ces deux pôles varie avec le temps. Elle est appelée "déclinaison magnétique". En gnomonique on utilise la direction du Nord géographique.

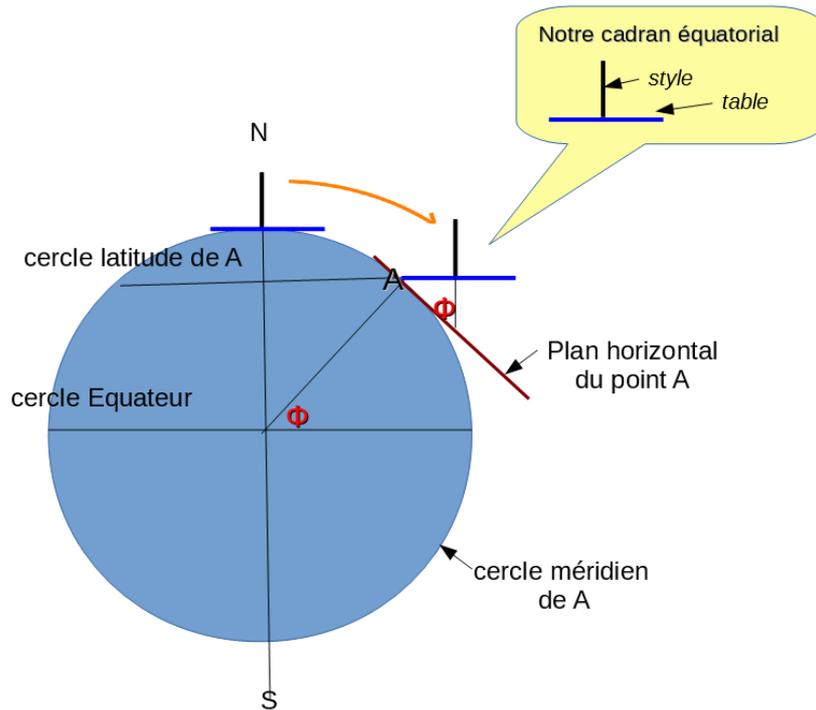


Fig. 3

Remarquons que plus nous nous rapprochons de l'équateur, l'angle  $\Phi$  du style avec la table horizontale va se refermer pour prendre la valeur minimale de  $0^\circ$ . À l'équateur, un cadran horizontal a un style qui est parallèle à la table horizontale.

Voilà, nous venons de placer, chez nous, le plus simple des cadrans solaires que nous appellerons "cadran équatorial" (fig. 4).

Attention sur ce type de cadran l'heure se lit sur la partie supérieure de la table du printemps à la fin de l'été. En automne et en hiver, l'heure se lit sur la partie inférieure. Se reporter à la figure 14 pour comprendre le phénomène.

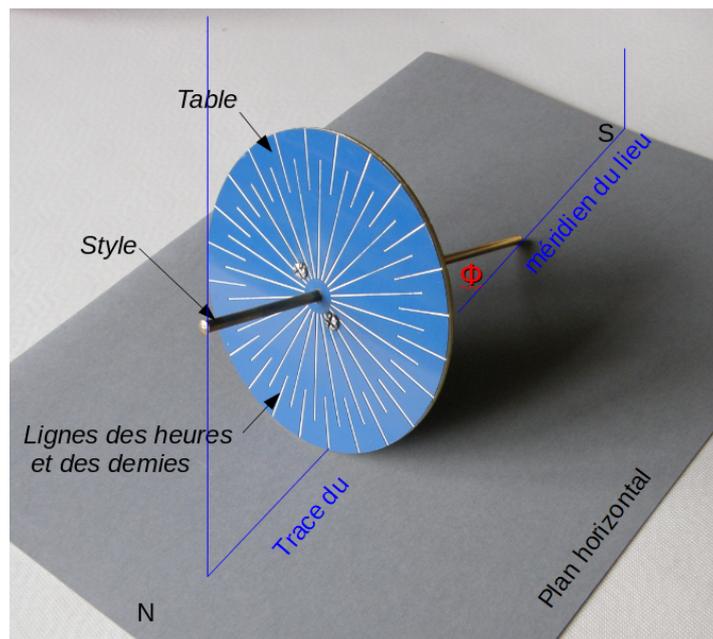


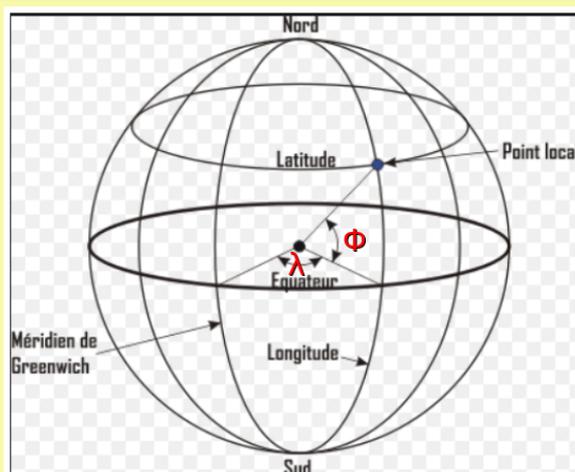
Fig. 4

**Info**

Un lieu "A" est défini sur le globe terrestre, par 2 coordonnées :

- Sa latitude  $\Phi$ : cercle parallèle à l'équateur dont la hauteur est donnée en degrés à partir de celui-ci. De  $0^\circ$  à  $90^\circ$  pour le Pôle Nord et de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  pour le pôle Sud.

- Sa longitude  $\lambda$  : cercle passant par les pôles (géographiques). Elle est donnée en degrés Est (-) ou Ouest (+) à partir du cercle méridien passant par Greenwich  $\lambda = 0^\circ$ "



Notre cadran équatorial va nous permettre maintenant de réaliser des cadrans horizontaux, verticaux, et de toutes les autres orientations sur des surfaces planes ou non.

**Les cadrans horizontaux et verticaux**

Pour tracer un cadran "vertical" ou "horizontal", il suffit de prolonger à l'aide d'un fil bien tendu (pointillés en rouge sur fig. 5), les lignes représentées sur le cadran équatorial, jusqu'à l'intersection avec la "table" du cadran à créer. Le cadran équatorial servant aux tracés est appelé "cadran équatorial auxiliaire".

Les points ainsi déterminés seront reliés au "pied du style polaire". Les lignes obtenues sont "les lignes horaires projetées" (lignes en bleu), sur lesquelles nous lirons l'heure.

Exemple fig. 5 pour un cadran horizontal. Le fil rouge en pointillé permet de tracer les heures (lignes bleues) du cadran horizontal.

Lorsqu'un cadran ne comporte que le tracé des heures vraies, la longueur du style polaire n'est pas imposée. C'est l'ombre couvrant la ligne horaire qui indique l'heure.

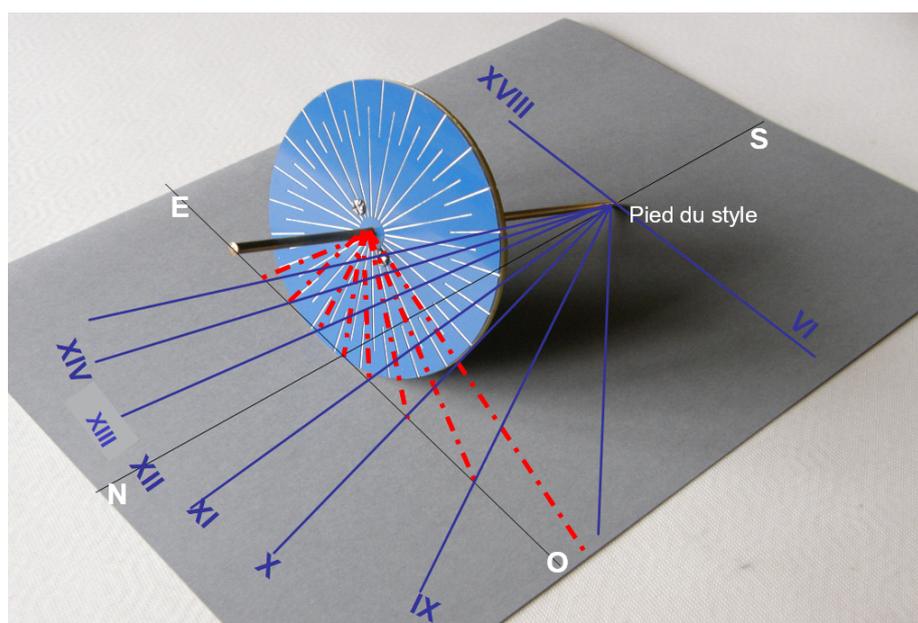


Fig. 5

Si nous souhaitons tracer des lignes intermédiaires aux heures entières (demie, quart, ...), nous pouvons graduer notre cadran équatorial de degré en degré, sachant que :

Un angle horaire sur le cadran équatorial de:	correspond à
15°	1 heure
7° 30'	½ heure
3° 45'	¼ heure
0° 15'	1 minute

Pour tracer un cadran vertical, nous utiliserions la même méthode. Nos fils rouges seront alors « tirés » jusqu'à l'intersection avec la table verticale.

Sur la figure 6, sont représentés le cadran équatorial, le cadran horizontal et le cadran vertical. Les points C1 et C2 sont respectivement le pied du style du cadran vertical et celui du cadran horizontal. Chaque ligne horaire a un point commun sur la ligne d'intersection des trois plans.

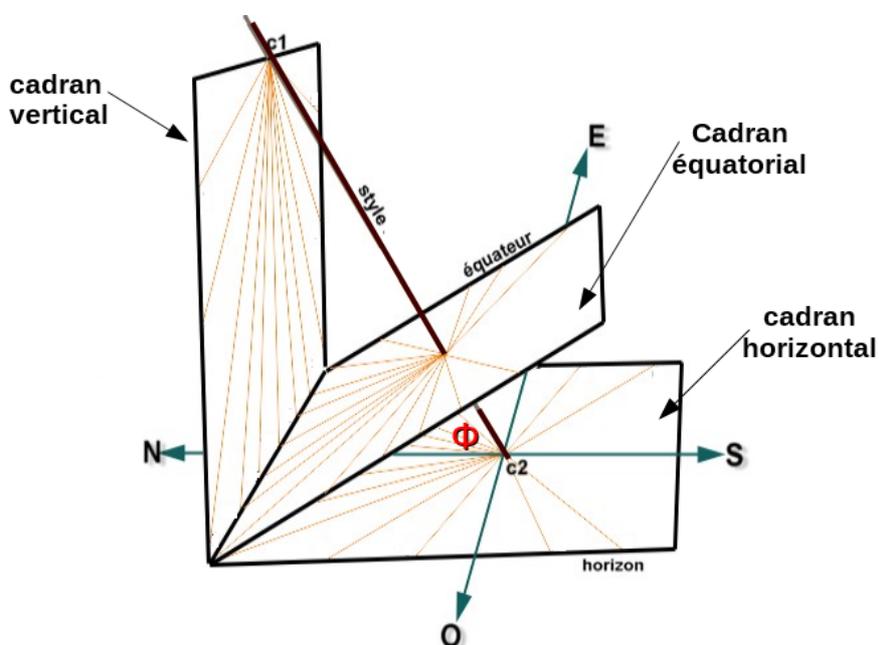


Fig. 6

### Orientation d'un cadran vertical

Les "angles horaires projetés" ci-dessus sont symétriques par rapport à la ligne de midi car nous sommes dans les cas :

- d'un cadran horizontal et nous avons orienté nous-même le cadran dans le plan méridien,
- d'un cadran vertical sur un mur plein Sud géographique.

Mais cet éventail de lignes, varie en fonction de l'orientation du cadran par rapport au plan méridien du lieu. C'est ce que l'on appelle la "déclinaison gnomonique".

La déclinaison gnomonique est l'angle D formé par la perpendiculaire au mur et le Sud géographique (direction du plan méridien). On le compte positivement vers l'Ouest de 0° à 180° et négativement vers l'Est de 0° à -180°.

- Orientation plein Sud (cadran vertical méridional).

Le plan méridien (direction du Sud géographique) est perpendiculaire à la table, la "déclinaison D" est de 0° (fig. 7). Le style est contenu dans ce plan, sa projection orthogonale sur la table

(sous-stylo) recouvre la ligne de midi. L'angle S' (sous-stylo/ligne de midi) est donc égal à  $0^\circ$ .

L'angle entre le style polaire et la table est de  $90^\circ - \phi$ . Les heures sont données de 6 h à 18 h (Temps vrai). L'éventail des lignes est symétrique de celle de midi (fig. 8)

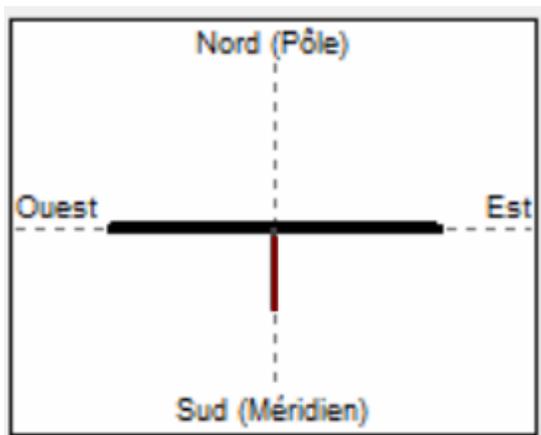


Fig. 7 - Le mur est dans le plan Ouest/Est ; il regarde vers le Sud

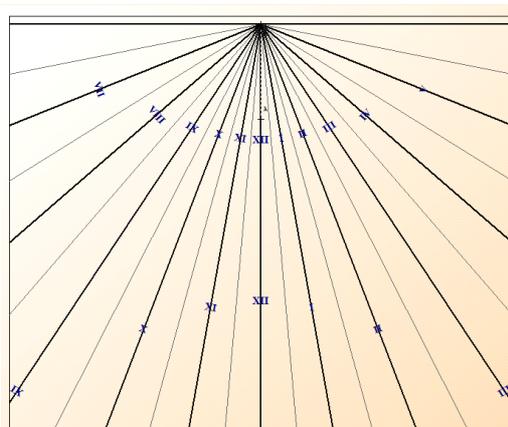


Fig. 8 - Représentation des lignes horaires

- Orientation Sud-Est (cadran déclinant du matin).

Le plan méridien forme un angle avec la perpendiculaire à la table (déclinaison gnomonique D) qu'il nous faudra mesurer (fig. 9). Le style est contenu dans le plan méridien. Il se trouve donc à gauche de la ligne de midi lorsque l'on est face au cadran. Sa projection orthogonale sur la table (sous-stylo) forme un angle S' avec la ligne de midi qu'il nous faudra déterminer.

L'angle entre le style polaire et la table varie suivant la déclinaison du support. Il est à calculer. L'éventail des lignes est plus dense à gauche de midi (heures du matin) que l'après-midi (fig 10).

Pour un cadran déclinant du soir tout serait inversé.

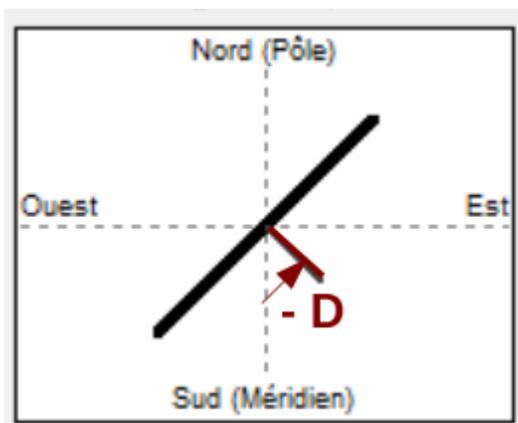


Fig. 9 - le mur fait un angle D avec le méridien ; il regarde vers le Sud-Est

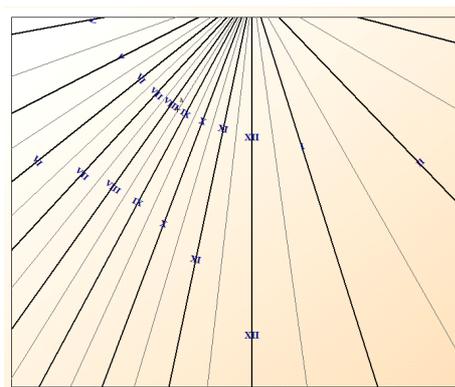


Fig. 10 - Représentation des lignes horaires

- Orientation Est ou orientation Ouest.

Le mur est dans le plan méridien.

L'angle D entre ce dernier et la perpendiculaire au mur est de  $90^\circ$  ( $- 90^\circ$  car côté Est) (fig. 11). Le style est parallèle aux lignes horaires et à la table. L'inclinaison des lignes et du style par rapport à l'horizon est égale à la valeur de la latitude  $\Phi$ . La sous-stylo recouvre la ligne de 6 heures. Les heures seront données du lever du Soleil et juste avant 12 h (Temps vrai) où l'ombre devient elle-même parallèle au mur (fig. 12).

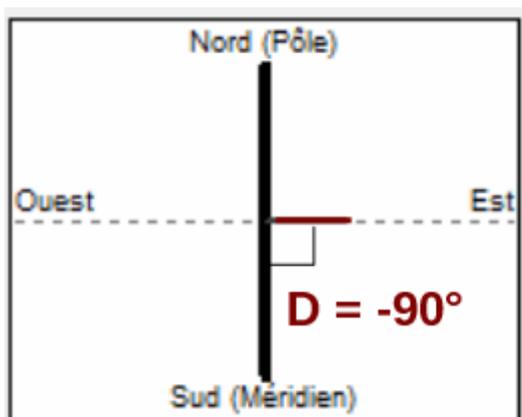


Fig. 11 - Le mur est dans le plan méridien ; il regarde vers l'Est

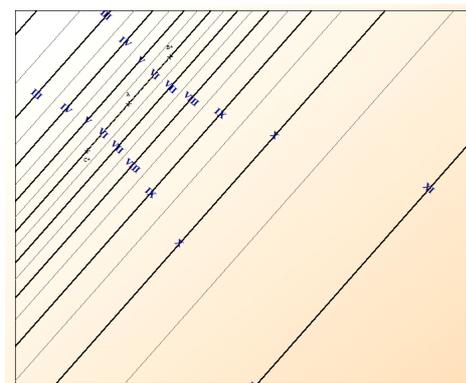


Fig. 12 - Représentation des lignes horaires

Les représentations sont réalisées avec le logiciel SHADOWS

## I- 2 La terre tourne autour du Soleil, son axe est incliné : un cadran solaire devient "calendrier".

### Le cadran devient calendrier

La Terre tourne autour du Soleil en 365,2422 jours et décrit une orbite elliptique. L'inclinaison de son axe de rotation, par rapport au plan orbital, est actuellement de  $23^{\circ}26'$  (fig. 13). L'obliquité terrestre diminue de  $46,84''$  par siècle.

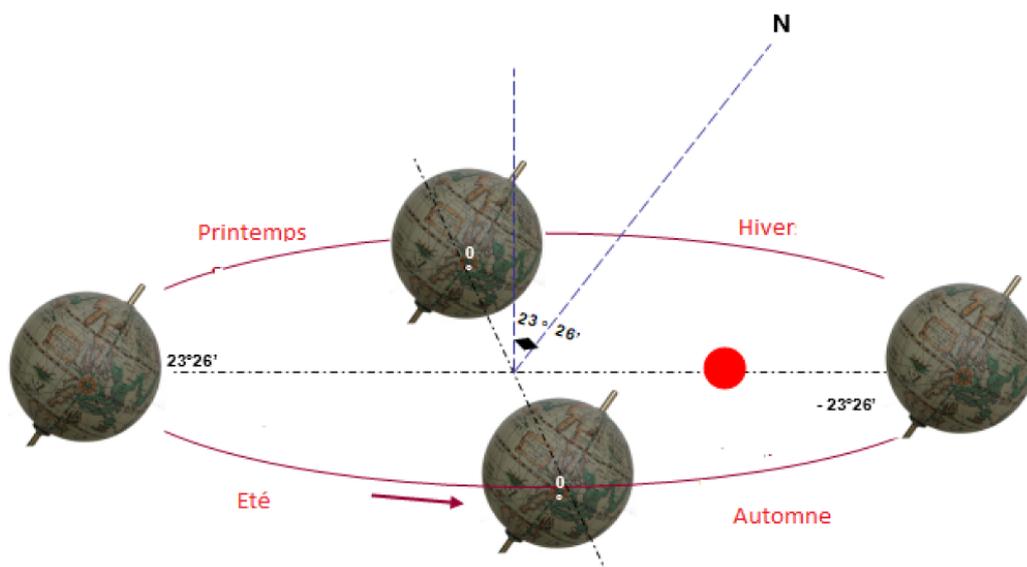


Fig.13

La position de la Terre sur son orbite est donnée en degré (longitude écliptique). L'origine est l'équinoxe de printemps (point vernal). A chaque position de la Terre (référence stable) correspond une déclinaison/date variable dans le temps raison de la "précession des équinoxes". Ci-dessous, les informations relatives à une progression de  $30^{\circ}$  en  $30^{\circ}$  de longitude céleste.

Longitude éclip-tique	Début saison	Entrée signe	Déclinaison (arrondie)	Correspondance date (approximative)
0° (équinoxe)	Printemps	Bélier	0°	20 mars
30°		Taureau	+11° 28'	20 avril
60°		Gémeaux	+ 20° 09'	21 mai
90° (solstice)	Été	Cancer	+ 23° 26'	21 juin
120°		Lion	+ 20° 09'	23 juillet
150°		Vierge	+11° 28'	23 août
180 (équinoxe)	Automne	Balance	0°	23 septembre
210°		Scorpion	-11° 28'	23 octobre
240°		Sagittaire	-20° 09'	22 novembre
270° (solstice)	Hiver	Capricorne	- 23° 26'	22 décembre
300°		Verseau	- 20° 09'	21 janvier
330°		Poissons	- 11° 28'	20 février

Vu de la Terre, le Soleil décline donc de -23° 26' au solstice d'hiver à +23°26' au solstice d'été en passant par 0° aux équinoxes. Le schéma (fig. 14) montre ces positions<sup>4</sup>.

A une même heure, mais suivant sa déclinaison, le Soleil sera plus ou moins "haut" dans le ciel.

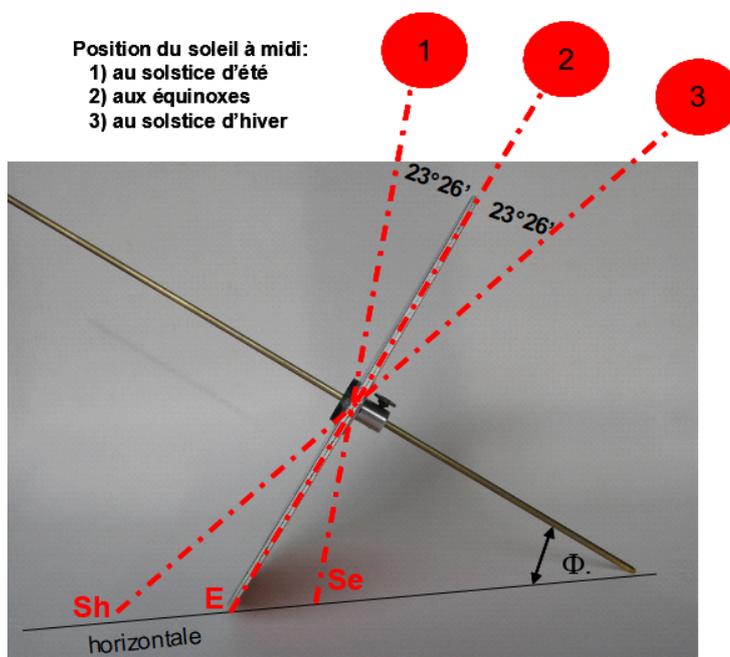


Fig. 14

<sup>4</sup> Le schéma explique visuellement pourquoi l'heure sur un cadran équatorial est lue alternativement sur la table supérieure et inférieure en fonction du semestre.

## Tracé des valeurs de la déclinaison.

Si nous traçons le chemin parcouru par l'extrémité de l'ombre du style ou d'un point lumineux produit par un œilleton au cours d'une journée à différentes époques de l'année (saison/date/entrée dans un signe zodiacal/valeur d'une déclinaison particulière...) nous traçons en fait le parcours du Soleil dans le ciel. Attention, celui-ci est inversé car plus le Soleil est haut plus le point d'ombre ou de lumière est bas sur un plan vertical et l'inverse sur un plan horizontal. Ces chemins sont les "courbes de déclinaisons" appelées également "arcs diurnes". La courbe est maximale aux solstices et se réduit à ligne droite aux équinoxes.

Lorsque l'extrémité de l'ombre du style ou le point lumineux de l'œilleton suivra exactement ce parcours nous saurons que la Terre a telle valeur de déclinaison ou que nous sommes à telle date<sup>5</sup>. Notre cadran est devenu calendrier.

Comme pour le traçage des lignes horaires la méthode décrite ci-après est purement pédagogique. Pour comprendre concrètement ce traçage nous utiliserons l'outil des anciens cadraniers : le "trigone" (fig. 15).

Un trigone est un rapporteur d'angle limité aux déclinaisons d'été et d'hiver. Il est emmanché sur le style du cadran équatorial vu précédemment et pivote autour de ce dernier. Sa graduation peut être de ° en ° ou ne mentionner que des valeurs particulières.

Un fil est fixé en O. Ce point est "la référence" du tracé. Il détermine la longueur du style polaire, de l'extrémité d'un style droit ou le centre d'un œilleton... L'autre extrémité du fil vient en contact avec le plan de la table, pointer une ligne horaire. Le fil doit être tendu et appliqué contre la face du trigone. Ce fil représente de fait, un rayon de Soleil.

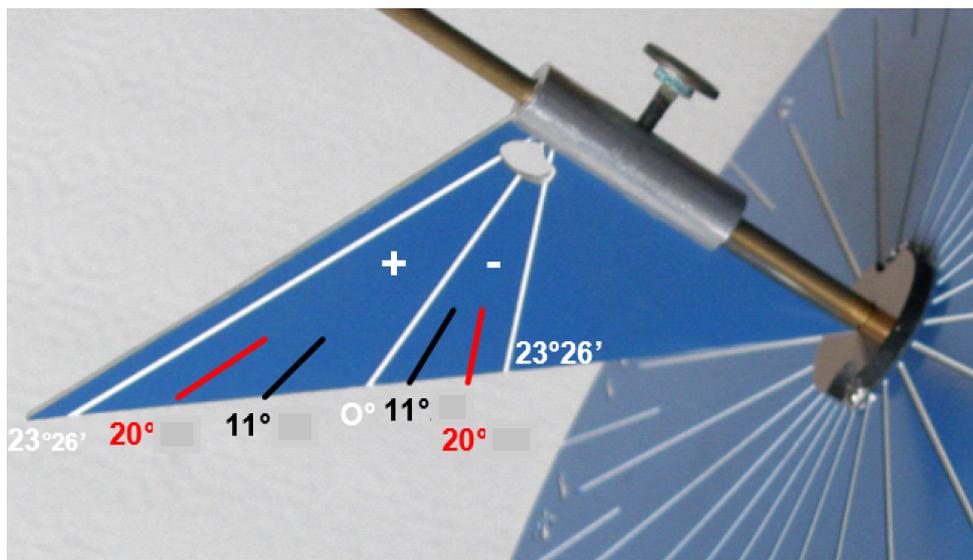


Fig. 15 - Le trigone est monté sur l'axe du style du cadran équatorial. Ici, sa graduation est limitée aux angles de déclinaison des entrées dans les signes zodiacaux

<sup>5</sup> L'écart entre le temps réel de révolution de notre planète et l'année grégorienne (malgré l'introduction d'années bissextiles) ainsi que, d'une manière moindre, l'ensemble des mouvements "parasites", font que l'on ne peut établir durablement une liaison directe : déclinaison et date calendaire.

Ainsi en 2044, l'équinoxe de printemps tombera un 19 mars alors qu'en 1995, elle a eut lieu le 21 mars à 2 h 14 min UT (Temps Universel). C'est pour cela que le gnomoniste (qui comme tout bon astronome ne croît pas à l'astrologie) trace généralement les arcs diurnes à l'entrée dans chaque signe du zodiaque c'est-à-dire tous les 30° de longitude écliptique, et non en "dates calendaires".

## Principe

Il ne s'agit bien d'un principe et non de pas de méthode, car le trigone est d'un autre âge et difficile à manier.

Par pivotement sur l'axe du style, on amène la face du trigone dans le plan de chacune des lignes horaires, l'une après l'autre (fig. 16 et 17). Pour chaque plan horaire, on place le fil successivement sur les différents angles gradués de la face du trigone représentant une déclinaison (date).

On tend le fil jusqu'à la ligne tracée sur la table. Le point de contact fil/ligne horaire est un point de l'arc diurne considéré (fig. 16).

On trace sur la ligne horaire tous les points correspondants aux déclinaisons que l'on souhaite représenter en faisant pivoter du point O, le fil sur la face graduée du trigone de  $+23^{\circ} 26'$  (été) à  $-23^{\circ} 26'$  (hiver).

On joint ensuite les points correspondants à une même déclinaison.

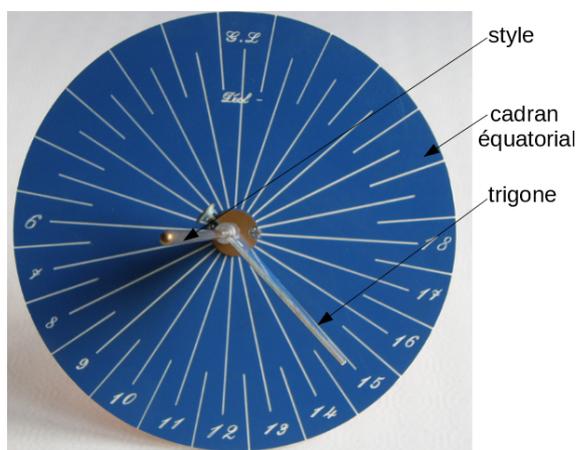


Fig. 16 - Trigone dans le plan de la ligne de 15h

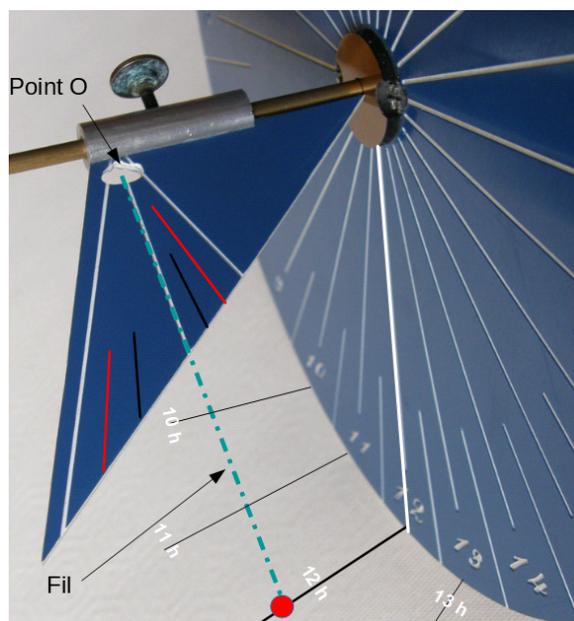


Fig. 17 Trigone dans le plan de la ligne de 12 h, le fil partant du point O intercepte la ligne horaire de 12h du plan horizontal et marque le point rouge où passera l'arc diurne ici pour la déclinaison  $0^{\circ}$  ►

## Représentation des arcs diurnes sur un cadran

Ci-après le tracé des arcs diurnes est représenté sur un cadran vertical. Cadran plein Sud  $D = 0^{\circ}$  (fig. 18) ; cadran déclinant du matin,  $D = -45^{\circ}$  (fig. 19) ; cadran plein Est,  $D = -90^{\circ}$  (fig. 20).

Les valeurs des déclinaisons sont données pour les longitudes écliptiques multiples de  $30^{\circ}$  (entrée dans chaque signe du zodiaque).

Par rapport aux tracés des cadrans fig. 8, 10 et 12, nous avons ici limité la longueur des lignes horaires aux arcs diurnes des solstices.

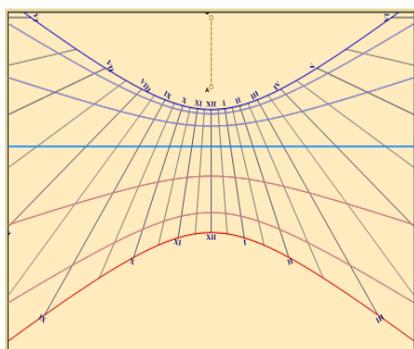


Fig. 18

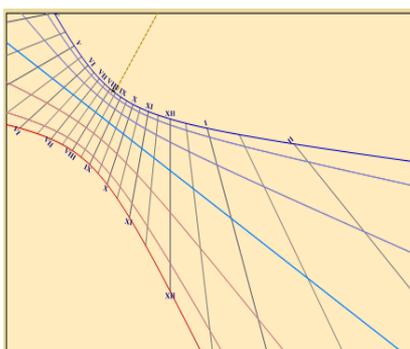


Fig. 19

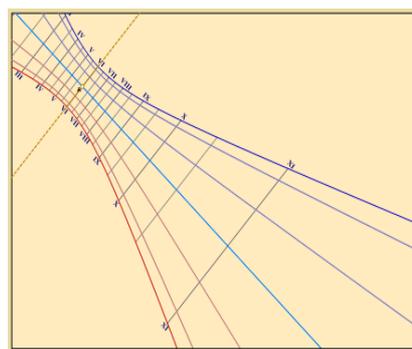


Fig. 20

Lorsqu'un cadran comporte le tracé des arcs diurnes, c'est l'ombre de l'extrémité du style polaire ou un point de celui-ci (point O dans notre exemple) ou centre de l'ocillon qui indique la valeur à lire.

### I - 3 La terre tourne autour du Soleil, son axe de rotation sur elle-même est incliné : un cadran solaire nous indique les écarts entre le temps de la montre et le temps du Soleil.

**Le cadran indique les écarts entre "temps vrai" et "temps moyen".**

Le fait que la Terre se déplace sur une ellipse (presque circulaire) dont le Soleil occupe un foyer et qu'elle soit inclinée sur son orbite induit des écarts variables durant l'année entre les midis vrais du Soleil et les midis moyens de la montre (toujours égal à 24 h). Le "temps solaire" n'est pas uniforme !

Le premier phénomène fait intervenir la deuxième loi de Kepler (loi des aires fig. 21) démontrant que la Terre se déplace plus rapidement lorsqu'elle est à son périhélie en hiver que lorsqu'elle est à son aphélie en été.

Sa vitesse n'est donc pas constante.

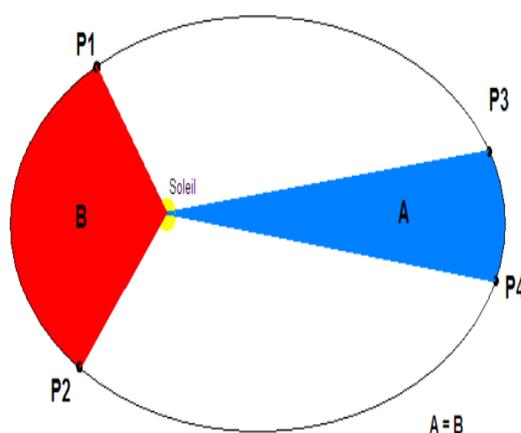


Fig. 21 - Une planète balaie des aires égales ( A et B) en des intervalles de temps égaux.

Le temps pour parcourir P1-P2 est le même que pour parcourir P4-P3

alors que la distance P1-P2 est supérieure à P4-P3.

La Terre va donc accélérer en approchant du Soleil et décélère en s'éloignant du Soleil.

Le deuxième phénomène (cause principale de l'équation du temps présentée plus loin) est le fait que c'est la distance parcourue sur l'équateur céleste (contenu dans le même plan que l'équateur terrestre) qui nous intéresse<sup>6</sup> alors que le Soleil parcourt l'écliptique incliné de 23° 26' par rapport à celui-ci (fig. 22). Il nous faut donc faire une "projection" du déplacement du Soleil de l'écliptique sur l'équateur céleste.

Le schéma fig. 23 nous montre que pour un même déplacement d'un degré du Soleil la distance AB ou CD sur l'écliptique représente des valeurs variables et différentes que A'B' ou C'D' sur l'équateur céleste d'où notre deuxième variation.

Dans la représentation fig 23, la longueur de l'arc AB est plus grande que la longueur du segment rectiligne A'B'.

<sup>6</sup> L'angle horaire utilisé pour nos tracés et calculs (1h = 15°) est un "angle équatorial".

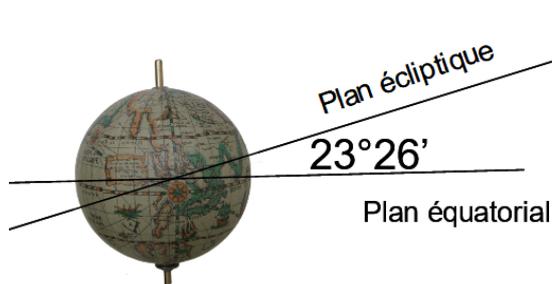


Fig. 22

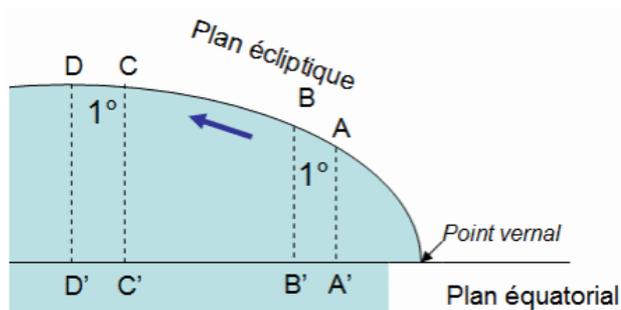


Fig. 23

## L'équation du temps

La première variation induite de la loi des aires donne pour une année, une courbe ondulée passant par la valeur 0 au périhélie (distance la plus petite avec le Soleil) et à l'aphélie (distance la plus grande du Soleil). Il s'agit de la courbe rouge sur le schéma de l'équation du temps "E" donnée plus bas (fig. 24).

La seconde variation plus conséquente que la première donne également une courbe ondulée. Elle passe 4 fois par an (aux équinoxes et aux solstices) par la valeur 0. Courbe bleue sur le schéma (fig. 24).

L'équation du temps "E" est la courbe ondulée (en noire) résultante des deux courbes précédentes (fig 24). Elle varie lentement dans le temps. Cette courbe représente en fait les écarts de temps sur une année entre le vrai Soleil et un Soleil moyen. Cette courbe nous sera donc indispensable pour traduire l'heure solaire donnée par le cadran (TV) en heure de la montre. Si E est négatif, on retranche les minutes indiquées de l'heure lue sur le cadran (TV). Si E est positif, on ajoute les minutes au temps lu sur le cadran<sup>7</sup>.

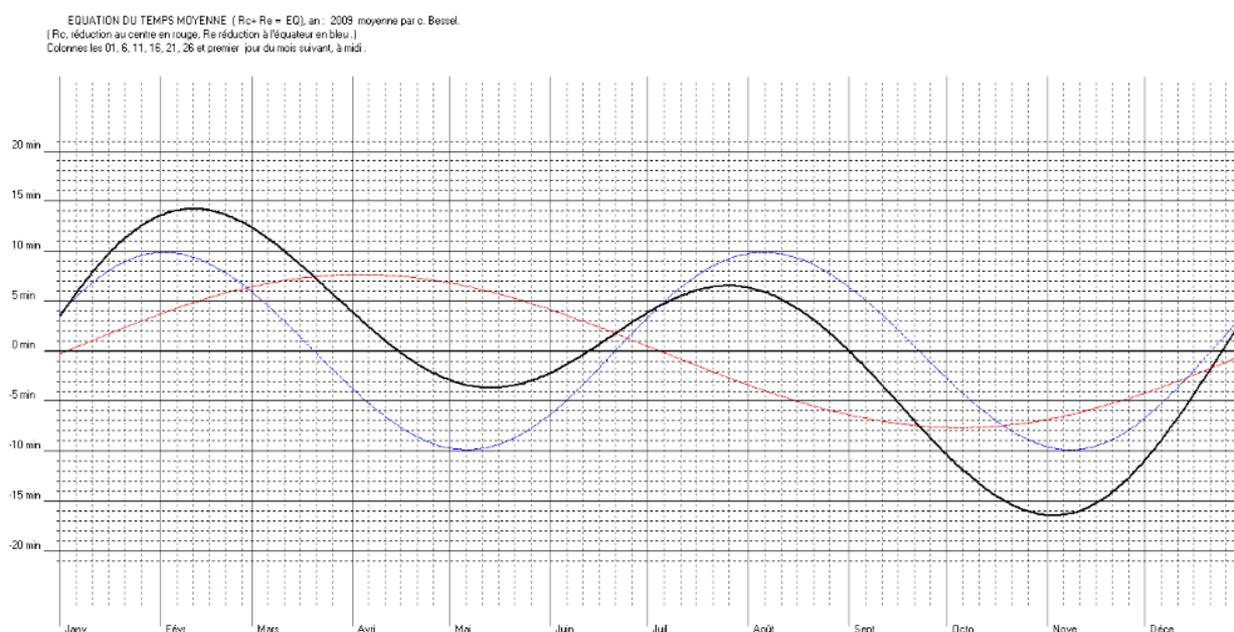


Fig. 24

<sup>7</sup> En notation anglo-américaine de l'équation du temps, les signes sont inversés. Réf. *Cadran Info* N° 35.

## Tracé de la courbe en 8

Un cadran peut faire figurer les écarts mentionnés.

Si pendant une année complète (sans déplacer l'appareil photographique), nous prenons sur une même photo le soleil exactement toutes les 24 heures, nous obtenons une courbe ayant l'allure d'un huit allongé (fig. 25).

Cette courbe en huit représente les « avances et retards » du Soleil.

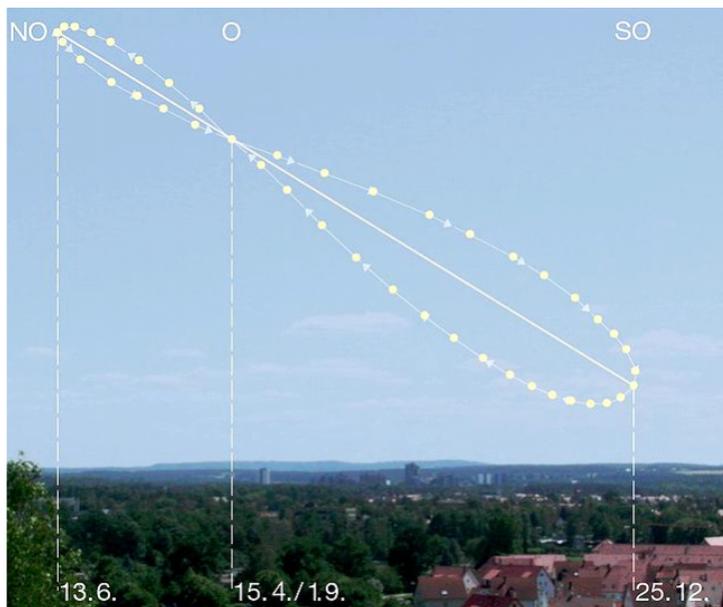


Fig. 25 - Image issue du site Wikipédia en 2015

Nous pouvons retrouver ce « 8 » sur un cadran solaire en pointant, durant une année, l'ombre de l'extrémité d'un style à midi moyen (heure de la montre).

En dessinant ce 8 sur la ligne de midi de notre cadran, nous obtenons une "méridienne de temps moyen" et la ligne droite de midi sera appelée la "méridienne de temps vrai".

Cette courbe en 8 permet de lire directement la correction à appliquer pour passer du TV au TM, comme nous le verrons plus loin. Elle se substitue à l'emploi du graphisme de "l'équation du temps".

Pour la compréhension du tracer de la courbe en 8, nous pouvons revenir au principe du cadran équatorial auxiliaire et du trigone (avec graduations de ° en °).

Pour une réalisation concrète, il faudra utiliser un logiciel de calcul et de tracé des cadrans. (voir plus loin).

Première étape : relever dans les éphémérides, la correspondance : écart de temps/valeur de la déclinaison.

Exemple pour les valeurs particulières (points d'extrémums de la courbe E et passages par 0) :

Maximum de E (pts extrémums)	+14m14s (11 février)	-3m 38s (14 mai)	+6m32s (26 juillet)	-16m29s (3 novembre)
Correspondance avec la déclinaison "δ" lue dans les éphémérides	- 13° 53'	+18° 43'	+19°20'	-15°11'

Zéro de E	0 (15 avril)	0 (13 juin)	0 (1 septembre)	0 (25 décembre)
Correspondance avec la déclinaison "δ" lue dans les éphémérides	+ 9°54'	+23°13'	+8°08'	-23°23'

Valeurs à 0h UT 2021

Deuxième étape : traduire toutes les valeurs de temps de la courbe E en angles horaires (les angles sur le cadran équatorial). Par exemple pour les valeurs maximales :

+ 14 m 15 s de temps correspond à un angle horaire de 3°34' (+14 m 15 s x 0°15 s = + 3°33')

- 3 m 41 s de temps correspond à un angle horaire de - 0°55' (-3 m 41 s x 0°15 s = - 0°55')

### Principe du trigone :

° Le plan du trigone est pivoté afin d'être dans le plan de l'angle horaire correspondant à la valeur de E, vers les lignes de l'après-midi lorsque la valeur de E est négative<sup>8</sup>, pivoté vers les lignes du matin lorsque la valeur de E est positive.

° Le fil, fixé au même point O que pour tracer les arcs diurnes, couvre l'angle de déclinaison correspondant à la valeur de E. Le fil tendu vient pointer sur la table de notre cadran un point de la courbe en 8.

Ainsi pour le point maximal de + 14 m 15 s du 11 février, le trigone est pivoté vers les lignes du matin d'un angle de 3°33', le fil placé sur la graduation -14° 02' du trigone (réf : tableau plus haut). Pour le point 0 du 15 avril, le trigone sera dans le plan de la ligne de midi, le fil placé sur la graduation +9°44'14". Pour le point de -3 m 41 s du 14 mai, le trigone est pivoté vers les lignes de l'après-midi d'un angle de 0°55', le fil placé sur la graduation +18°36'31", etc.

Nous nous apercevons vite de la difficulté pour obtenir une bonne précision de traçage avec des angles horaires si faibles. C'est pour cela que dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, les traités de gnomonique présentaient des planches de courbe en 8 afin d'aider le cadranier dans sa réalisation.

Ici, seul nous intéressait le côté pédagogique car il va de soi que le tracé des courbes en 8 se traite actuellement par des formules mathématiques reliant l'ensemble des paramètres : E, déclinaison du Soleil et sa variation, les angles horaires projetés.... Il en ressort qu'il suffit de reporter sur la table du cadran les coordonnées calculées. Les logiciels "sortent" également les tracés en grandeur nature de l'ensemble des lignes et courbes. Voir chapitre 3 : "Bibliographie et sites WEB".

### Représentation de la courbe en 8

Nous complétons maintenant nos cadrans en plaçant notre courbe en 8 sur la ligne de midi (fig. 26 et 27). À noter qu'il n'est pas possible de la tracer sur un cadran oriental ou occidental, puisque à midi le Soleil est dans le plan du support.

Lorsqu'un cadran comporte le tracé de courbes en 8, c'est l'ombre de l'extrémité du style ou bien le point lumineux de l'œilleton qui indique la valeur à lire (notre point O).

<sup>8</sup> Lorsque E est négatif, il faut retirer la valeur E de l'heure (TV) lue sur le cadran, c'est donc que le Soleil vrai (TV) est en avance sur le Soleil moyen (TM), c'est à dire que le point d'ombre ou le point lumineux a déjà passé la ligne de midi vrai. Lorsque E est positif, il faut ajouter des minutes au TV car le Soleil vrai est en retard sur le Soleil moyen. Le point d'ombre ou le point lumineux n'a pas encore passé la ligne de midi vrai.

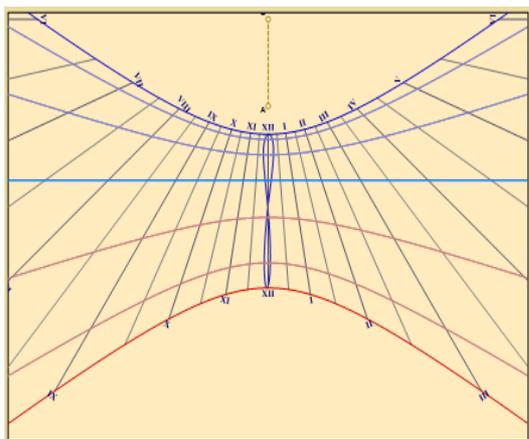


Fig. 26

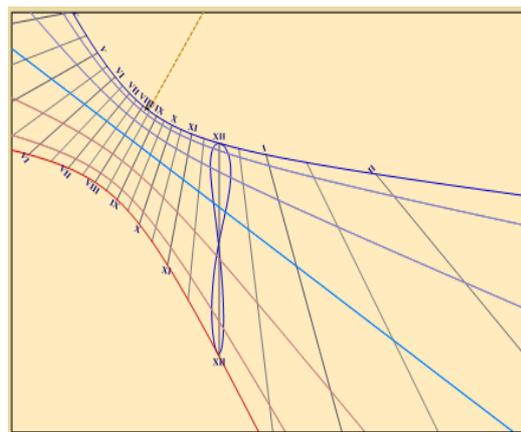


Fig. 27

Si nous n'avions tracé que la courbe en 8, notre cadran porterait le nom de "méridienne de temps moyen" (fig. 28).

Les "méridiennes de temps moyen" étaient utilisés pour régler... l'heure des montres et horloges mécaniques lorsque l'heure officielle en France était celle du Soleil.

Si nous avons tracé des courbes en huit pour chaque heure, notre cadran serait un "cadran de Temps Moyen".

Fig. 28 - Partie gauche de la méridienne des Invalides à Paris ►



## I - 4 - Représentation d'un cadran et lecture

### Synthèse

Un cadran se compose d'un porte ombre appelé suivant sa forme ou sa position : "gnomon" (tige droite perpendiculaire au sol), "style polaire" (tige parallèle à l'axe de rotation de la Terre), "style droit" (tige perpendiculaire au support) et dans ce cas, seul son extrémité est utilisée ou d'un "œilleton" projetant un point lumineux du Soleil sur la "table" où sont tracées les différentes indications.

- Le style peut être une simple tige, se présenter sous forme d'équerre pleine ou évidée (c'est l'arête qui est utile), ou autre.

- La sous-stylaire est la trace sur la table du plan qui lui est perpendiculaire et qui contient le style. L'angle entre le style polaire et la sous-stylaire est indiqué "f". Cet angle a une valeur maximale lorsque le cadran est horizontal ( $f = \phi$ ) ou vertical méridional ( $f = 90^\circ - \phi$ ). Il disparaît dans le cas d'un cadran oriental ou occidental puisque le style est parallèle au support.

- L'angle de la sous-stylaire avec la ligne de midi est indiqué « S' ». Il est plus ou moins ouvert suivant la déclinaison de la table. Cet angle est nul (le style est dans le plan de la ligne de midi) dans le cas des cadrans horizontaux ou des cadrans verticaux méridionaux.

- La longueur du style pour un tracé limité aux lignes horaires est simplement à proportionner aux dimensions de la table pour couvrir convenablement les lignes horaires en toute saison.

Elle doit être calculé et précise lorsqu'il y a représentation des arcs diurnes, courbes en 8, azimuts, hauteurs... dont les tracés lui sont directement proportionnés.

- Le point de convergence de l'ensemble des lignes horaires projetées est le pied du style polaire également appelé « centre du cadran ».

- La table est en général une surface parfaitement plane, soit horizontale soit verticale. Les gnomonistes ne manquant pas d'imagination ont réalisé des cadrans dont la table était à la fois déclinante et inclinée. Il est aussi possible qu'elle soit cylindrique, sphérique, ou... quelconque.

- C'est sur la table que sont tracées toutes les lignes et courbes indicatives du cadran.

### Potentiel d'un cadran solaire

Nous avons vu qu'à partir des mouvements de la Terre et du Soleil, un cadran solaire peut indiquer le temps vrai, le temps moyen, la déclinaison du Soleil durant l'année.

Nous avons écrit également qu'un cadran solaire était capable d'indiquer l'ensemble des informations relatives à la position de la terre et du Soleil.

Sans le démontrer nous pouvons citer ces différentes informations :

- Heures des levers et couchers du Soleil.

- Heures des différents crépuscules (crépuscule civil, le Soleil est de  $0^\circ$  à  $-6^\circ$  sous l'horizon ; crépuscule nautique, le Soleil est entre  $-6^\circ$  et  $-12^\circ$  sous l'horizon ; crépuscule astronomique jusqu'à  $-18^\circ$  sous l'horizon) correspondant à la nuit noire.

- Durée des jours.

- Nombres d'heures écoulées depuis le lever du Soleil et nombre d'heures restantes avant son coucher. Dans ce cas nous faisons appel au tracé des "heures babyloniennes" (les heures sont comptées à partir du lever du Soleil, de 0 à 24) et des "heures italiques" (les heures sont comptées à partir du coucher du Soleil, de 0 à 24).

- Hauteur (ou almicantarats) et azimut du Soleil.

- L'heure dans un autre lieu.

- Le temps sidéral : le jour sidéral (des étoiles) est plus court que le jour solaire d'environ 4 minutes.

- La direction d'une ville par exemple la Mecque sur des cadrans islamiques.

Certains cadrans peuvent indiquer (approximativement) l'heure à partir de l'ombre portée par la pleine Lune. D'autres sont capables de déterminer l'heure des marées. Il est même possible de tenir compte de la réfraction de la lumière pour améliorer la précision de la lecture des heures extrêmes du matin ou du soir.

### Lecture de l'heure sur un cadran

Pour convertir l'heure indiquée par l'ombre du Soleil (TV) en heure légale TL de la montre, il faut appliquer 3 corrections :

- La première est administrative puisqu'elle concerne le passage des heures d'été en heures d'hiver régit par la loi.

- La deuxième est la prise en compte de l'équation du temps à relever dans les éphémérides

ou à trouver sur le WEB.

- La troisième est due à la longitude ( $\lambda$ ) d'implantation du cadran. Le méridien de référence ( $0^\circ$ ) pour notre montre (et pour se positionner sur notre globe) est celui de Greenwich (à peu près la longitude de Lisieux). Si nous habitons à l'Est de ce méridien par exemple Strasbourg, notre cadran solaire indiquera midi avant Greenwich. Il avancera donc et il nous faudra retrancher le temps que mettra le Soleil pour parcourir la distance Strasbourg - Greenwich, inversement si nous habitons Brest.

Rappel du chapitre 1-1 : pour parcourir un  $^\circ$  de longitude, le Soleil met :

$24 \text{ heures}/360^\circ = 0,066 \text{ heures}$  soit 4 minutes.

**A) AJOUTER 1 HEURE EN HIVER**  
ou  
**AJOUTER 2 HEURES EN ÉTÉ**

**B) EN FONCTION DE LA DATE, AJOUTER OU RETRANCHER LA VALEUR indiquée sur l'équation du Temps \***

**C) AJOUTER OU RETRANCHER L'ÉCART DE LONGITUDE**

- 4 min x Nombre de  $^\circ$  de Longitude Est.  
ou  
+ 4 min x Nombre de  $^\circ$  de Longitude Ouest.

\* Éphémérides de la SAF, éphémérides sur notre site rubrique « outils », sur l'application gratuite TpSol de Y. Massé.

Si notre cadran possède une courbe en huit, la correction B est à lire sur la courbe.

### Pour conclure

Un cadran solaire qui semble simple de réalisation, ne l'est pas tant que cela.

La première difficulté pour un débutant sera de déterminer la direction du plan méridien. Il existe plusieurs méthodes. Les plus précises nécessitent des relevés d'ombre (le plus souvent d'un fil à plomb), puis des calculs ou l'utilisation de logiciels/tableurs.

### Mesure de l'orientation du plan méridien

La référence CCS est la méthode dite de "la planchette de R. Sagot" (voir " Guide *Orienta-tion et déclinaison gnomonique* »).

Dans le guide spécifique à la mesure de la déclinaison sont présentés différentes méthodes et leur précision.

En première approche utilisons :

1) Une boussole dont nous corrigerons la direction indiquée (Nord magnétique) de la déclinaison magnétique mentionnée sur toutes les cartes IGN 1/25000.

## II- RÉALISATION de CADRANS

Le tracé des cadrans proposé ci-après, se fait sans aucun calcul, juste à l'aide d'un rapporteur d'angle, d'un compas et d'une règle.

### II -1 Cadran équatorial

Pour un premier cadran, nous réaliserons bien sûr un cadran équatorial.

Le style est parallèle à l'axe de la terre et la table qui lui est perpendiculaire est donc parallèle au plan de l'équateur.

#### Paramètres primaires

Ce sont les informations que l'on doit collecter avant d'entreprendre un cadran. Dans le cas présent, ils se limitent à relever les coordonnées du lieu et à déterminer la direction du plan méridien.

° Coordonnées du lieu (latitude  $\Phi$  et longitude  $\lambda$ ) : lecture directe en pointant le lieu sur une carte numérique (Google/autre) ou relevé sur une carte IGN au 1/25000<sup>9</sup>.

° Plan méridien (axe N-S géographique) : se reporter au Guide orientation et déclinaison gnomonique. Dans un premier temps, on peut utiliser une boussole en corrigeant de la déclinaison magnétique (elle est indiquée sur les cartes au 1/25000e de l'IGN).

**Construction** (d'après le site : [Cadran équatorial \(free.fr\)](http://Cadran%20%C3%A9quatorial%20(fr%2Efr)) de Michel Lalos (CCS)

#### Matériel :

Une plaque de contreplaqué marine 50 cm x 50 cm, épaisseur 10 mm pour le support (facultatif, le cadran peut être posé sur une surface horizontale plane quelconque). Une tige filetée de 30 cm avec deux écrous et deux rondelles pour le style.

#### Tracé :

Tracer les lignes horaires sur les deux faces (Nord et Sud) de la table.

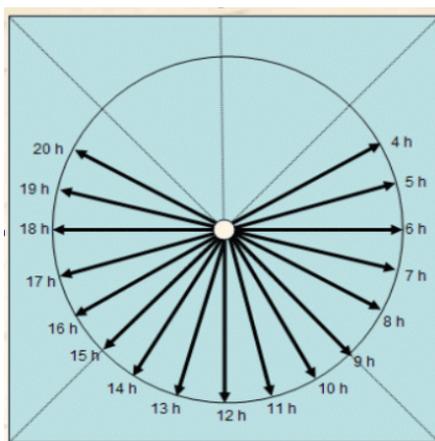


Fig. 29 – Tracé face Nord

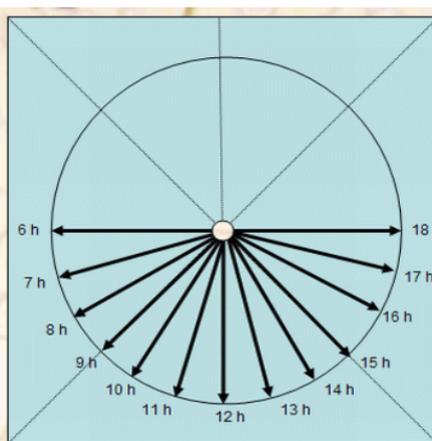


Fig. 30 – Tracé face Sud

<sup>9</sup> Un smartphone donne également la latitude et la longitude, soit en direct par le biais d'une application de localisation (GPS, maps.me, google.map, boussole, view Ranger, etc), soit en différé en prenant simplement une photo de l'endroit où se trouvera le futur cadran et en lisant les informations EXIF de l'image (sur PC/Mac) : il y a les données GPS inscrites dans les infos de l'image outre des données photographiques (Information de D. Collin).

Procéder aux tracés sur la face Nord : fig. 29

- déterminer le centre de la table en prenant l'intersection des deux diagonales,
- tracer la ligne de midi (ligne perpendiculaire) passant par le centre,
- tracer un cercle de rayon 20 cm,
- diviser ce cercle en secteurs de  $15^\circ$  à l'aide d'un rapporteur,
- tracer les lignes horaires de 4 h à 20 h (dans le sens des aiguilles d'une montre) comme sur le schéma fig 29.

Procéder aux tracés sur la face Sud : fig. 30

- tracer les lignes horaires de 6 h à 18 h (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) en suivant les mêmes indications.

Percer au centre le trou pour le passage du style au diamètre de la tige filetée.

### Fixation du style

- fixer le style sur la table à l'aide des écrous et rondelles,
- régler la longueur qui dépasse côté Sud de telle sorte que l'angle du style et du support soit égal à la latitude  $\Phi$ ,
- vérifier que le style est bien perpendiculaire à la table.

Le style doit être dans le plan contenant l'axe N-S géographique que nous avons déterminé approximativement. La ligne de 12 h est dans ce même plan (fig. 31).

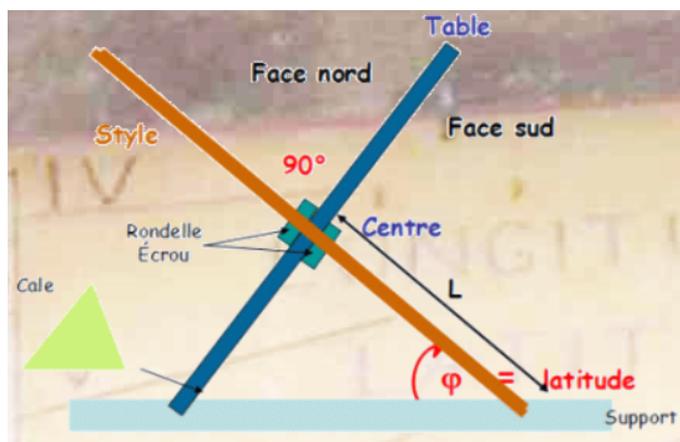


Fig. 31

À partir du principe de ce cadran "équatorial", il est possible de créer des variantes tout aussi simple de réalisation :

- un cadran équatorial classique (fig. 32),
- un cadran équinoxial (fig. 33), on ne garde que la circonférence du cercle de la table,
- un cadran armillaire (fig. 34)
- ...



Fig. 32



Fig. 33



Fig. 34

Photos de PJ Dallet

## Lecture

Nous sommes au printemps ou en été, l'ombre du style se projette sur la partie du cadran qui est face au Nord. Nous sommes en automne ou en hiver, l'ombre se projette sur la partie face au Sud.

L'heure lue sera celle du Soleil le Temps Vrai.

Correction pour passer de l'heure vraie à celle de la montre comme mentionné précédemment :

A) AJOUTER 1 HEURE EN HIVER ou AJOUTER 2 HEURES EN ÉTÉ

B) EN FONCTION DE LA DATE, AJOUTER OU RETRANCHER LA VALEUR indiquée sur l'équation du Temps ([Ephémérides – Commission des Cadrans Solaires \(saf-astronomie.fr\)](http://Ephémérides – Commission des Cadrans Solaires (saf-astronomie.fr)))

C) AJOUTER OU RETRANCHER L'ÉCART DE LONGITUDE : - 4 min x Nombre de ° de Longitude Est ou + 4 min x Nombre de ° de Longitude Ouest.

Exemple : l'ombre indique 10 h 25 min le 15 février à Paris, il sera à la montre :  
10 h 25 min + 1 h (A) + 14 min 10 s (B) – 4 min x 2° 20' Est (C) = 11 h 29 min 50 s

## II -2 Cadran polaire

Le style est parallèle à l'axe de la terre ainsi que la table. Tous les deux sont donc perpendiculaires à l'équateur. Ils forment avec l'horizontale un angle égal à la latitude du lieu  $\phi$ .

Il donne l'heure de 7 à 17 h (l'ombre de 6 h et de 18 h est rejetée à « l'infini »). Les lignes horaires du matin sont à l'Ouest et celles de l'après-midi à l'Est.

Son tracé ne dépend que de la hauteur du style par rapport à la table.

### Paramètres primaires

Idem aux cadrans équatoriaux.

Construction d'après le site :

[http://michel.lalos.free.fr/cadrans\\_solaires/doc\\_cadrans/theorie\\_cs/cs\\_polaire.php](http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/theorie_cs/cs_polaire.php))

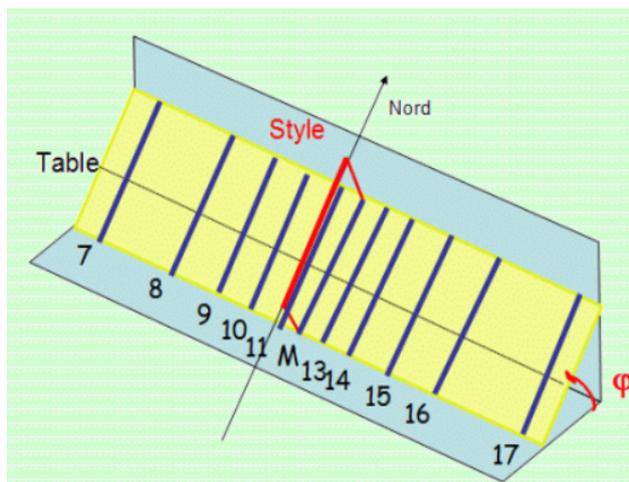


Fig. 35

### Matériel

Une plaque de contreplaqué marine 50 cm x 20 cm, épaisseur 10 mm pour la table.

1. deux plaques de contreplaqué marine 4 cm x 8 cm, épaisseur 10 mm pour supporter le style,
2. une tige filetée de 22 cm avec quatre écrous et quatre rondelles pour fixer le style,
3. prévoir deux plaques pour le support de la table (fig. 35).

### Tracé des lignes horaires

Sur un cercle de rayon "a", tracer des rayons de 15° en 15° de chaque côté de la verticale de 12 h.

$$H = 11 \text{ h} / 13 \text{ h} = 15^\circ$$

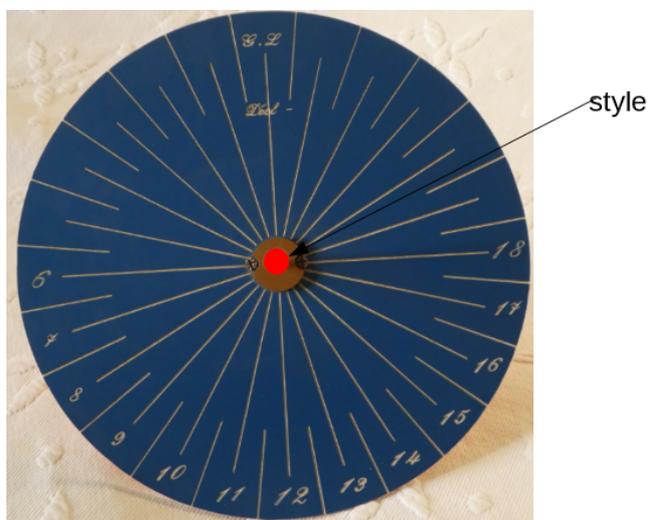
$$H = 10 \text{ h} / 14 \text{ h} = 30^\circ$$

$$H = 9 \text{ h} / 15 \text{ h} = 45^\circ$$

$$H = 8 \text{ h} / 16 \text{ h} = 60^\circ$$

$$H = 7 \text{ h} / 17 \text{ h} = 75^\circ$$

Fig. 36 ►



Sur une tige parallèle à la table (et l'ensemble incliné de la valeur de la latitude), fixer le disque ci-dessus (en vert sur la figure 37). Prolonger les lignes correspondant aux diverses heures afin d'obtenir les distances d.

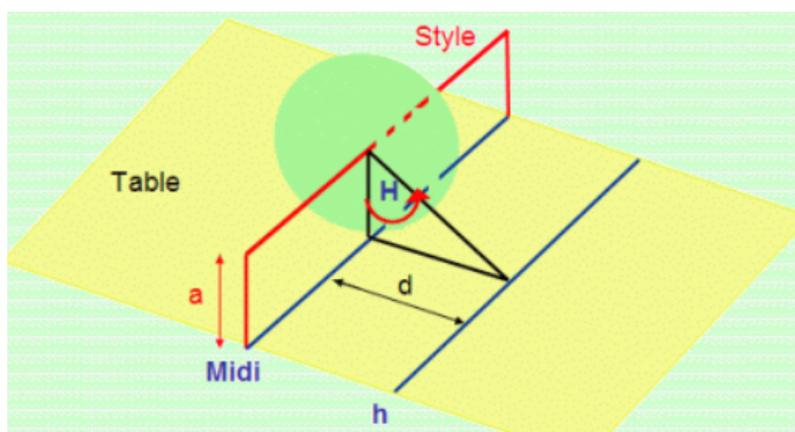


Fig. 37

Exemple pour une hauteur du style de 6 cm par rapport à la table (rayon de notre disque = 6 cm) :

Heure	Angle (H)	Distance en cm
12	0	0
11/13	-15°/+15°	1,16
10/14	-30° /+30°	3,46
9/15	-45°/+45°	6
8/16	-60°/+60°	10,39
7/17	- 75°/+75°	22,39

Si nous souhaitons tracer des lignes intermédiaires aux heures entières (demie, quart, ...), nous pouvons graduer notre disque plus précisément que de 15° en 15°, sachant que

Un angle horaire sur le cadran équatorial de :	correspond à
15°	1 heure
7° 30'	½ heure
3° 45'	¼ heure
0° 15'	1 minute

### Fixation du style

- fixer le style sur la table à l'aide des deux petites plaques et des écrous et rondelles (voir fig. 38)
- vérifier que le style est bien parallèle à la table et situé à la distance "a".

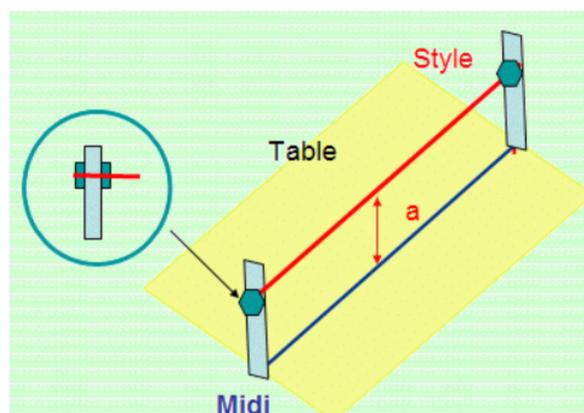
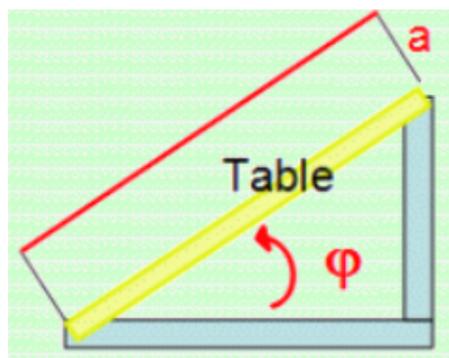


Fig. 38 ►

## Fixation du cadran sur son support

Fixer la table sur un support. Vérifier que l'angle avec l'horizontale est égal à la latitude (Fig. 39).

Fig. 39 ►

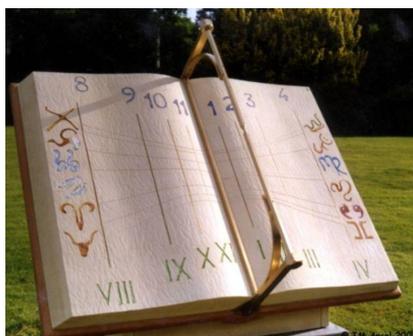


Ce cadran polaire, permet de donner libre court à l'imagination, comme ci-dessous.



Cadran polaire, adaptable à la latitude par rotation autour de l'axe horizontal

<http://www.gem-math.be/spip.php?article693&PHPSESSID=7pk8qhr5ghg1vvgbvj051rvit3>



Cadran polaire de notre collègue Jean-Michel Ansel, parc de Genk (Belgique).

[http://michel.lalos.free.fr/cadrans\\_solaires/doc\\_cadrans/theorie\\_cs/cs\\_polaire.php](http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/theorie_cs/cs_polaire.php)



Cadran polaire de notre collègue Jean-Michel Ansel, parc de Ludiver (Manche)

<http://www.cadrans-solaires.fr/cadran-parc-ludiver.html>

## II -3 Cadran horizontal et cadran méridional

Le style est parallèle à l'axe de la terre. Il est donc dans le plan méridien. Son angle d'inclinaison avec la table horizontale est égal à la latitude du lieu ( $\phi$ ) et ( $90^\circ - \phi$ ) avec la table verticale face au Sud géographique.

### Paramètres primaires

Idem aux cadrans équatoriaux.

**Construction** d'après « Les cadrans solaires : LEUR CALCUL ET LEUR CONSTRUCTION » par Claude GARINO publié entre autre dans le « Bulletin du physicien » n° 710.

Elle reprend le principe de l'utilisation d'un cadran équatorial (chapitre I – 1)

### Matériel

Une plaque de contreplaqué marine 50 cm x 20 cm, épaisseur 10 mm pour la table.

Pour un style :

- ° triangulaire, il peut être réalisé dans le même matériau, mais doit être moins épais principalement au niveau de son arête porte-ombre.
- ° tige métallique, sa fixation sera plus délicate à réaliser.

## Tracé des lignes horaires d'un cadran horizontal

Suivant le principe représenté sur la figure 5 utilisant un cadran "équatorial auxiliaire" (Point O = pied du style polaire) :

a) Construction du cadran à l'aide d'un cadran équatorial auxiliaire (fig. 40).

On trace la ligne O-XII sur le plan horizontal, intersection de celui-ci avec le plan méridien. On place le style formant avec cette ligne un angle égal à la latitude  $L^{10}$  du lieu.

On situe le cadran auxiliaire perpendiculairement à la direction du style. Ses lignes horaires font entre elles des angles égaux à  $15''$ .

On prolonge ces lignes jusqu'à ce qu'elles coupent le plan horizontal en  $B_0, B_1, B_2, \dots$

Les lignes horaires du cadran horizontal sont les droites  $B_0, B_1, B_2, \dots$

b) Construction géométrique. Sur la table horizontale du cadran, on trace une ligne de bas en haut, ce sera la ligne O-XII du cadran (fig. 41) ; soit  $y'y$ .

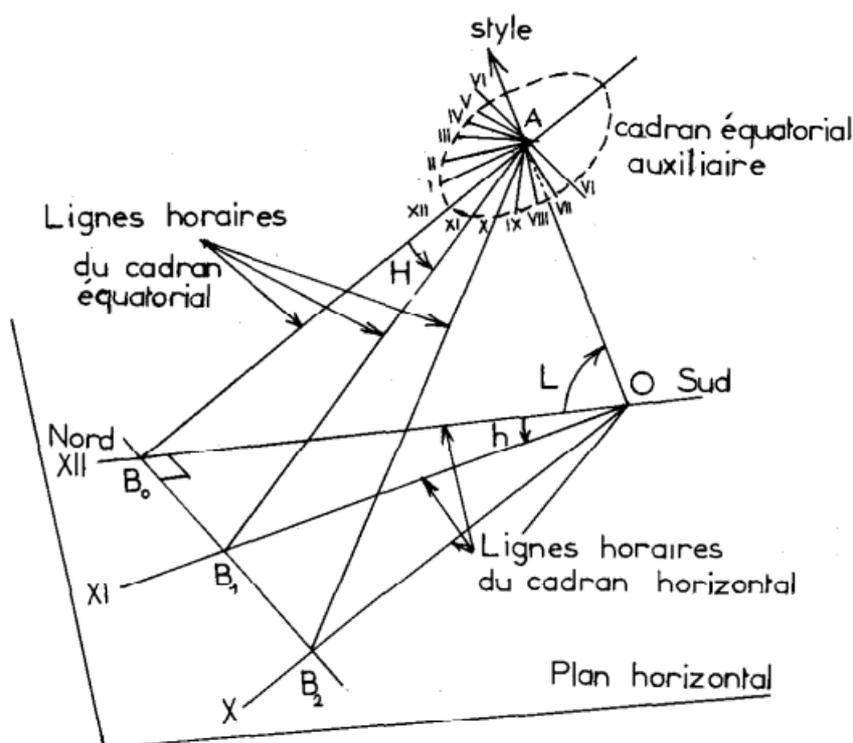


Fig. 40. - Construction d'un cadran horizontal à l'aide d'un cadran équatorial (le point C utile à la construction de la fig. 41 est placé sur l'axe  $OB_0$ , à la distance  $CB_0 = AB_0$  de  $B_0$ ).

Tracer la perpendiculaire  $x'x$  en O, ce sera la ligne horaire VI (6 heures du matin) -VI (6 heures du soir).

On obtiendra les autres lignes horaires de la façon suivante :

Tracer un angle  $y'O_z$  égal à la latitude  $L$  du lieu. Choisir sur  $O_z$  un point A tel que OA soit égal à la longueur du style.

A partir de A, tracer la perpendiculaire à  $O_z$ . Elle coupe  $y'y$  en  $B_0$  ; mesurer la longueur  $AB_0$  et la reporter sur  $B_0y'$ . On obtient le point C (fig. 41).

<sup>10</sup> Dans les schémas 40 et 41 la latitude  $\phi$  est mentionnée  $L$

Tracer en  $B_0$  la perpendiculaire à  $y'y$ .<sup>11</sup>

Tracer un cercle de centre  $C$  et de rayon  $B_0C$  (ce rayon pourrait être quelconque) et des rayons faisant entre eux des angles égaux à  $15^\circ$ , de part et d'autre de la ligne  $y'y$ , ce qui revient à utiliser un cadran équatorial auxiliaire.

En effet, il revient au même, pour déterminer  $B_1, B_2, \dots$ , de tracer les droites  $AB_1, AB_2, \dots$  ou  $CB_1, CB_2, \dots$  (fig. 40).

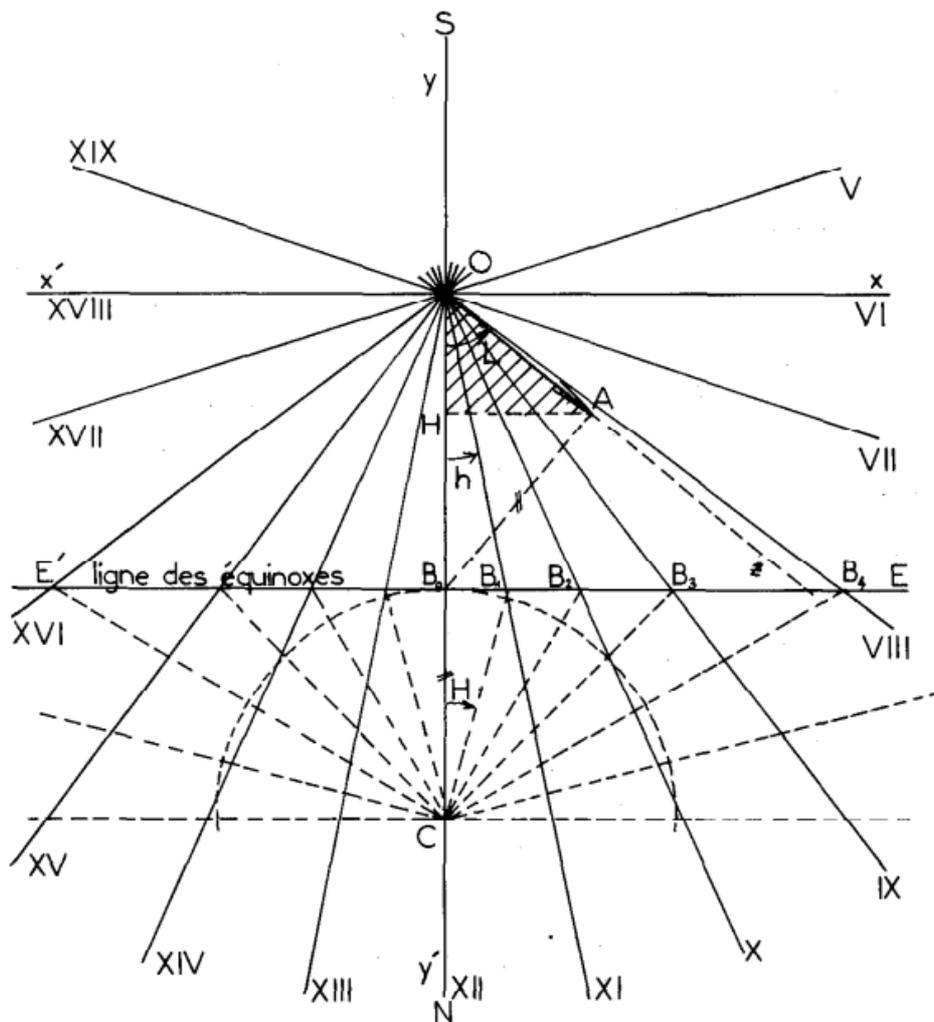


Fig : 40 Tracé d'un cadran solaire horizontal ;  $L$  est la latitude, le triangle  $OAH$  représente le style à plat.

En réalité, il sera perpendiculaire au plan du cadran  
(c'est à dire que le triangle  $OAH$  doit être tourné de  $90^\circ$  autour de  $OY'$ ).

Elles coupent la ligne des équinoxes aux points  $B_0, B_1, B_2$ , etc., où passent les lignes horaires cherchées, issues de  $O$ . On peut, bien entendu, ajouter les lignes des demi-heures en traçant les rayons intermédiaires, faisant entre eux des angles de  $7,5^\circ$ .

Le style sera à placer dans un plan perpendiculaire au cadran faisant, avec la ligne  $0 - XII$ , un angle égal à  $L$  ( $\phi$ ).

Si vous souhaitez conserver sur votre cadran que les lignes horaires (ne pas représenter la ligne des équinoxes  $E'E$ ) vous pouvez donner à votre style une longueur supérieure à  $l$  afin que son ombre soit plus longue et recouvre bien les lignes horaires principalement en été.

<sup>11</sup> Pour information, cette ligne est appelée ligne des équinoxes. Aux deux dates des équinoxes, l'extrémité de l'ombre du style  $OA$  de longueur  $l$  parcourra cette ligne au cours de ces journées.

## Tracé des lignes horaires d'un cadran méridional

La construction géométrique d'un cadran vertical méridional est strictement la même que celle du cadran horizontal ; en transformant l'angle  $L$  ou  $\phi$  (de la latitude) en son complément, c'est à dire  $90^\circ - L$  (ou  $\phi$ )

La ligne  $y'y$  est verticale.

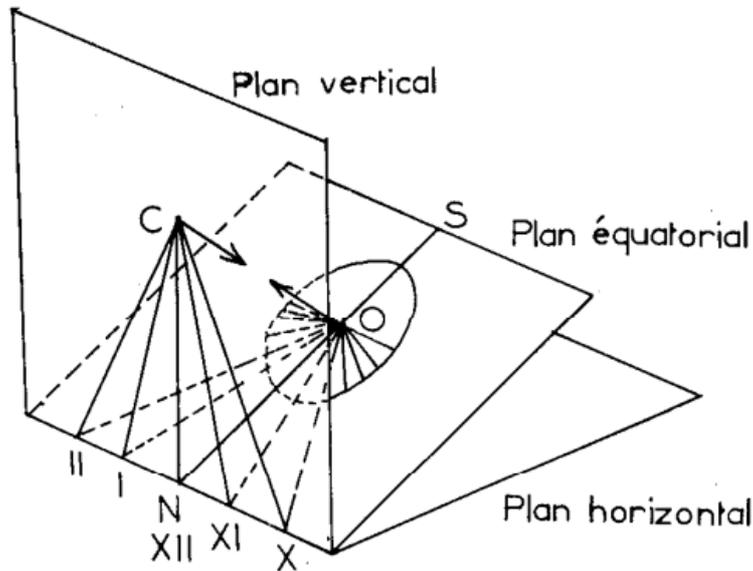


Fig : 40 Tracé d'un cadran solaire méridional

A noter que l'utilisation du cadran "équatorial auxiliaire" permet également le tracé de cadran verticaux déclinant (non face au Sud) le tracé des lignes horaires est alors dissymétrique entre matin et soir.

Cadran méridional à Malvières (43) photo et réalisation Didier Benoit.

Longitude :  $-3.733^\circ$ , Latitude :  $45.338^\circ$ .

Déclinaison gnomonique : quasi méridional ( $-89.6^\circ$ ).

Dimension du cadran : 90 cm x 120 cm.

Réalisé sur dalle de ciment armé et enduite de marbre blanc de Carrare.



### III- FEUILLE de ROUTE

Il est nécessaire de comparer des approches différentes pour réaliser des cadrans de plus en plus complexes : par calculs mathématiques, tracés géométriques et projection, par l'utilisation de logiciels clés en mains.

Dans tous les cas il faut d'abord :

- Comprendre les fondements de la gnomonique.
- Choisir une méthode ou un logiciel que l'on maîtrisera parfaitement.
- Étendre ses compétences par la lecture de livres spécialisés et /ou d'articles pratiques publiés dans notre revue *Cadran info*.

Les orientations que nous donnons ci-dessous ne sont que partielles. Nombreux sont les membres qui ont écrit des méthodes, créés des sites répondants aux critères ci-dessus. Le guide présenté est donc subjectif, sélectif et limité.

Que tous ceux qui peuvent apporter aide aux débutants communiquent leurs informations et précisions pour étayer ce guide.

#### Comprendre :

##### Par la lecture :

° de Denis Savoie : *Les cadrans solaires tout comprendre pour les construire* chez Belin pour la Science. Livre de 145 pages, explications simples, nombreux schémas.

° des membres de la CCS, de nombreux livres, livrets... reprenant les bases de la construction des cadrans solaires ou à réaliser en carton.

**En ligne** : avec la formation gratuite de Roger Torrenti : <http://www.cadrans-solaires.info/acces-au-mooc/>. « Ce site s'adresse à tous, et notamment aux débutants (sans base mathématique ou astronomique importante) que l'on conduit progressivement depuis les bases de la gnomonique à la construction de cadrans sophistiqués. Pour ceux qui n'ont pas le courage, l'envie ou le temps de suivre le cours, il est même proposé des cadrans à découper ».

**A télécharger** : le manuel gratuit de 138 pages grandement illustré du site Shadows : <https://www.shadowspro.com/fr/manuel-utilisateur.html>. Outre le maniement du logiciel, ce livret en couleurs « Cadrans solaires & Astrolabes » présente les différentes techniques de relevé des coordonnées et des déclinaisons, des modes de tracés avec rapporteur et règle, les matériaux à utiliser, etc.

#### Réaliser des cadrans :

° Site de Michel Lalos : [http://michel.lalos.free.fr/cadrans\\_solaires/](http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/). Explications des tracés

de différents cadrans.

° Logiciels : Shadows : <https://www.shadowspro.com/fr/index.html>. « La version de base est gratuite. Elle est idéale pour fabriquer facilement son premier cadran solaire. Shadows permet de créer et d'imprimer un cadran solaire en quelques minutes ».

Une vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=ebUJDkvuO34> présente le logiciel ainsi que la manière de dessiner un cadran solaire vertical.

### **Approfondir :**

Sur notre site [Commission des Cadrans Solaires \(commission-cadrans-solaires.fr\)](http://commission-cadrans-solaires.fr) : des informations pour tout niveau ; des vidéos ; des listes d'ouvrages, des adresses de sites, des logiciels/applications...

Accès par code à la partie « MEMBRES ».

Ce guide comporte des images et des textes issus de documents et d'images de divers collègues de la Commission des Cadrans Solaires :

- ° Association Recherche Midi 42 - ASA M42 ;
- ° objets gnomoniques réalisés par G. Labrosse ;
- ° le logiciel « Shadows » de François Blateyron ;
- ° la revue le gnomoniste d'André Bouchard ;
- ° photos de cadrans réalisés par Pierre Joseph Dallet ;
- ° textes de Claude Garino,
- ° le site de Michel Lalos
- ° ...

Qu'ils en soient remerciés.

