

# CADRAN-INFO

## Sommaire du N° 5

▪ Un cadran solaire plan, horizontal, à style bifilaire (article en diffusion libre: traduction)	Collin D
▪ Cadran solaire en projection stéréographique (chapitres 7/13 de "Cadrans de Corrèze)	Dallet P
▪ Cadran scaphé cylindrique (chapitres 8/13 de "Cadrans de Corrèze)	Dallet P
▪ Traçage des lignes d'un cadran solaire	Fort J
▪ Les "styles à poids"	Fort J, Grégori S
▪ Cadrans épicycloïdaux ou hypocycloïdaux	Rouxel B
▪ Cadrans luni-solaires	Savoie D
▪ Gnomonique satellitaire	Savoie D
▪ Cadrans orthomeridionaux à refraction (traduction D. Collin)	Soler Gaya R
▪ En fouillant les archives: <ul style="list-style-type: none"><li>° Description d'un cadran sidéral à "Bois-Adam</li><li>° Poème de G. Camus "Les cadrans solaires"</li></ul>	
▪ Infos-Echanges-Bric à Brac gnomonique: Reconstitution de la devise d'un cadran du XVIII <sup>ème</sup> - Méridienne: instrument astronomique?- Lemniscate! - Concours "LE OMBRE DEL TEMPO" – Des livres et des revues – Des sites internet	

# CADRAN-INFO

est un moyen **de diffusion d'articles gnomoniques** rédigés principalement par les membres de la "commission des cadrans solaires" et destinés essentiellement à ceux-ci.

Il vient en complément des publications de la SAF: "L'Astronomie" et "Observation & travaux" qui présentent épisodiquement des sujets concernant les cadrans solaires

CADRAN-INFO est une formule simple et flexible qui regroupe les articles reçus, sans mise en forme, sans contrainte d'impression.

Il paraît en Mai et en Octobre. Il est vendu lors des deux commissions ou adressé sur demande (participation aux frais).

## Remarques:

- ◆ Les articles sont présentés par ordre alphabétique des auteurs. Le contenu est sous leur responsabilité.
- ◆ Les articles sont à envoyer à Ph. Sauvageot (directement à son domicile) sous forme papier ou disquette PC (logiciel Word ou Excel). Certains sujets pourront être repris dans une parution ultérieure de "L'Astronomie" ou "Observations & Travaux".
- ◆ Les personnes qui souhaiteraient que leurs articles soient réservés exclusivement aux revues "L'Astronomie" ou "Observations & Travaux" devront le préciser dans leurs envois.
- ◆ Toute reproduction totale ou partielle des présents articles ne peut se faire qu'avec l'accord des auteurs.
- ◆ Les articles, documents, photos... ne sont pas retournés aux auteurs après publication.

Ph. Sauvageot

Vice-Président de la Commission des cadrans Solaires

# Un cadran solaire plan, horizontal, à système bifilaire généralisé

Note Technique n°30052001

## Sommaire

1.	INTRODUCTION .....	1
2.	GEOMETRIE DU CADRAN SOLAIRE PLAN, HORIZONTAL A SYSTEME BIFILAIRE GENERALISE .....	1
3.	ELEMENTS D'ANALYSE – NOTATIONS.....	2
4.	COORDONNEES DU POINT D'OMBRE P.....	3
	4.1 Coordonnées locales directes de P .....	3
	4.2 Pour une programmation informatique des coordonnées du point d'ombre P .....	4
	4.3 Pour une étude analytique des coordonnées du point d'ombre P .....	5
	4.4 Ecriture matricielle des coordonnées du point d'ombre P .....	5
5.	PETITE BIBLIOGRAPHIE SUR LA GNOMONIQUE BIFILAIRE. ....	7

## 1. Introduction

Il existe déjà une étude assez complète sur le cadran solaire bifilaire vertical déclinant (Collin, juin 2000) dont le système bifilaire est celui décrit par Michnik pour un cadran plan horizontal (Michnik, avril 1923).

Une suite très naturelle s'est engagée pour résoudre le cas où les fils ne sont plus à angle droit, mais font entre eux un angle quelconque " $\gamma$ ". Le système bifilaire considéré possède la même propriété que celle décrite par Michnik, à savoir que les fils, quelle que soit leur position angulaire autour de la normale au plan du cadran, sont contenus dans des plans parallèles au plan du cadran. Cette caractéristique est fondamentale car elle est responsable de certaines propriétés maintenant largement reconnues. L'article relatant en détail les différentes particularités gnomoniques encore inconnues, appuyé de ses démonstrations et intitulé "*Les cadrans solaires bifilaires à gnomons rectilignes quelconques*" est en cours de publication.

Différents auteurs qui m'ont fait part de leurs travaux retrouvent les mêmes résultats que pour le vertical déclinant à la grande différence près qu'ils se sont placés dans le cas d'un plan d'orientation et d'inclinaison tout à fait quelconque. J'ai donc décidé, sachant qu'avec un cadran horizontal on peut déduire la construction de tout autre cadran plan avec l'aide seulement de la latitude et de la longitude *équivalente*, d'appliquer la théorie du bifilaire généralisé au plan horizontal. Je ne donne ici que les coordonnées horizontales locales (intervention du couple  $(Az; h)$ ), et le formulaire propre à une programmation comme me l'a demandé le gnomoniste M. J.P. Dallet. Pour tout ce qui est de la suite de l'étude je ne peux que renvoyer le lecteur sur l'article : "*Les cadrans solaires bifilaires à gnomons rectilignes quelconques*".

## 2. Géométrie du cadran solaire plan, horizontal à système bifilaire généralisé

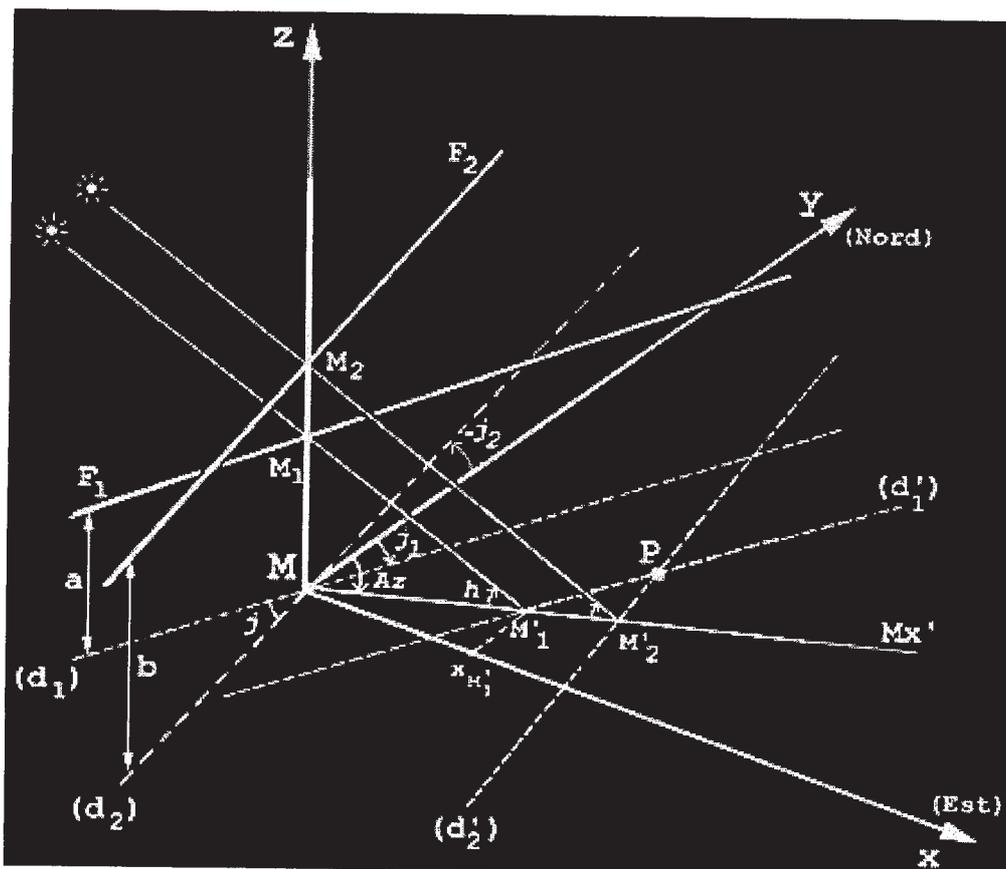


FIG. 1 : Géométrie du bifilaire généralisé pour un plan  $xy$  horizontal.

### 3. Éléments d'analyse – Notations

en ce qui concerne le  $r$

- $Mxyz$  : le repère de travail dans lequel seront développées les expressions des coordonnées du point d'ombre  $P$ .
- $xy$  : le plan du cadran horizontal.
- $xz$  : le plan du premier vertical avec  $Mx$  dirigé vers l'est.
- $yz$  : le plan du méridien avec  $My$  dirigé vers le nord.
- $Mz$  : axe vertical orienté vers le zénith du lieu du cadran.

[2°] en ce qui concerne le système bifilaire (aspect métrique et aspect angulaire):

- $F_1$  : nom donné au premier fil tendu horizontalement au-dessus du plan du cadran selon la direction  $(d_1)$  et au plus proche du plan  $xy$ .
- $F_2$  : nom donné au deuxième fil tendu parallèlement au-dessus du plan du cadran selon la direction  $(d_2)$ .  $F_2$  est installé préférentiellement *au-dessus* de  $F_1$ .
- $a$  : distance du fil  $F_1$  au-dessus du plan  $xy$ .
- $b$  : distance du fil  $F_2$  au-dessus du plan  $xy$  de telle sorte que  $b > a$ .

Pour l'orientation des fils :

- $j_1$  : azimut du plan vertical contenant le fil  $F_1$ . (il est compté depuis le nord  $My$  vers l'est).  $j_1$  est aussi l'angle que forme la droite  $(d_1)$  avec le méridien  $My$ .
- $j_2$  : azimut du plan vertical contenant le fil  $F_2$ .  $j_2$  est aussi l'angle que forme la droite  $(d_2)$  avec le méridien  $My$ . Condition sur les azimuts :  $j_2 \neq j_1$ .

[3°] en ce qui concerne les projections :

- $(d_1)$  : trace dans  $xy$  de l'intersection du plan vertical contenant le fil  $F_1$  avec le plan horizontal, ce qui donne la direction de  $F_1$ .
- $(d_2)$  : trace dans  $xy$  de l'intersection du plan vertical contenant le fil  $F_2$  avec le plan horizontal, et qui impose la direction du fil  $F_2$ .
- $(d'_1)$  : ombre du fil  $F_1$  dans le plan  $xy$ . Particularité :  $(d'_1) \parallel (d_1)$ .
- $(d'_2)$  : ombre du fil  $F_2$  dans le plan  $xy$ . Particularité :  $(d'_2) \parallel (d_2)$ .
- $Mx'$  : projection de direction  $h$  et en un instant moyen  $t$  de l'axe vertical  $Mz$  sur le plan  $xy$ .

[4°] en ce qui concerne les points particuliers :

- $M_1$  : intersection du fil  $F_1$  avec l'axe  $Mz$ .
- $M_2$  : intersection du fil  $F_2$  avec l'axe  $Mz$ . Condition :  $M_2 \neq M_1$ .
- $M'_1$  : projection selon la direction  $h$  de  $M_1$  sur l'axe instantané  $Mx'$ .
- $M'_2$  : projection selon la direction  $h$  de  $M_2$  sur l'axe instantané  $Mx'$ .  
Condition :  $M'_2 \neq M'_1$ .
- $P$  : point d'intersection des ombres des fils dans  $xy$ . On écrira :  $P = (d'_1) \cap (d'_2)$ .

[5°] en ce qui concerne les coordonnées horizontales locales du soleil :

$(Az ; h)$  respectivement azimut et hauteur du soleil sur l'horizon local du cadran  $xy$ .

## 4. Coordonnées du point d'ombre P

### 4.1 Coordonnées locales directes de P

Les expressions brutes des coordonnées du point d'ombre P sont données par la relation (1) suivante :

$$\begin{cases} x = \left( (b-a) \frac{\tan j_1 \tan j_2}{\tan j_2 - \tan j_1} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} - \left( \frac{b \tan j_1 - a \tan j_2}{\tan j_2 - \tan j_1} \right) \times \frac{\sin Az}{\tan h} \\ y = \left( \frac{b \tan j_2 - a \tan j_1}{\tan j_2 - \tan j_1} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} - \left( \frac{b-a}{\tan j_2 - \tan j_1} \right) \times \frac{\sin Az}{\tan h} \end{cases} \quad (1)$$

**DEMONSTRATION.** Etablir les coordonnées  $P(x; y)$  est relativement simple et si rapide qu'on peut le présenter ici sans difficulté.

Coordonnées de  $M'_1$  : Dans le triangle  $MM'_1x_{M'_1}$  on peut écrire :  $x_{M'_1} = MM'_1 \times \sin Az$ . Or, dans le triangle  $MM_1M'_1$  on a

immédiatement :  $MM'_1 = \frac{a}{\tan h}$ . La triviale substitution dans  $x_{M'_1}$  donne :  $x_{M'_1} = a \times \frac{\sin Az}{\tan h}$ .

La même démarche donne aussi rapidement l'ordonnée de  $M'_1$  :  $y_{M'_1} = a \times \frac{\cos Az}{\tan h}$ .

ÉQUATION DE LA DROITE  $(d'_1)$ . Sur la figure 1, l'ombre  $(d'_1)$  passe par le point  $M'_1$ . La pente de la droite  $(d'_1)$  dans  $Myz$  est  $m_1 = 1/\tan j_1$ , si l'on adopte une forme en  $y = m_1 z + p_1$ .

L'ordonnée à l'origine  $p_1$  est donnée par  $p_1 = y_{M'_1} - m_1 \times z_{M'_1}$ , c'est-à-dire :  $p_1 = a \left( 1 - \frac{\tan Az}{\tan j_1} \right) \frac{\cos Az}{\tan h}$

L'équation de la droite  $(d'_1)$  est par conséquent :

$$(d'_1) : y = \frac{x}{\tan j_1} + a \left( 1 - \frac{\tan Az}{\tan j_1} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} \quad (2)$$

ÉQUATION DE LA DROITE  $(d'_2)$ . L'ombre  $(d'_2)$  passe par le point  $M'_2$ . La pente de la droite  $(d'_2)$  dans  $Myz$  est  $m_2 = 1/\tan j_2$ , si l'on adopte une forme en  $y = m_2 z + p_2$ . De la même façon, l'équation de la droite  $(d'_2)$  s'écrira :

$$(d'_2) : y = \frac{x}{\tan j_2} + b \left( 1 - \frac{\tan Az}{\tan j_2} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} \quad (3)$$

COORDONNEES DU POINT D'INTERSECTION DES DROITES  $(d'_1)$  ET  $(d'_2)$ . Puisque  $P = (d'_1) \cap (d'_2)$ , alors  $(y)_{d'_1} = (y)_{d'_2}$ , ce qui permet de déterminer directement l'abscisse de  $P$ .

*Abcisse de P.* En regroupant les équations (2) et (3) des ombres des fils et en les multipliant respectivement par  $\tan j_1 \tan j_2$ , on arrive à un groupe de relations dont l'équivalence conduit directement à  $x$ . On écrit :

$$\begin{cases} y \times \tan j_1 \tan j_2 = x \tan j_2 + a \times \left( 1 - \frac{\tan Az}{\tan j_1} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} \times \tan j_1 \tan j_2 \\ y \times \tan j_1 \tan j_2 = x \tan j_1 + b \times \left( 1 - \frac{\tan Az}{\tan j_2} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} \times \tan j_1 \tan j_2 \end{cases}$$

et après regroupement et factorisation on obtient l'abscisse du point d'ombre  $P$  :

$$x = \left( (b-a) \frac{\tan j_1 \tan j_2}{\tan j_2 - \tan j_1} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} - \left( \frac{b \tan j_1 - a \tan j_2}{\tan j_2 - \tan j_1} \right) \times \frac{\sin Az}{\tan h} \quad (4)$$

*Ordonnée de P.* Pour l'obtenir, il suffit de prendre l'une ou l'autre des équations des droites  $(d'_1)$  et  $(d'_2)$ . C'est ainsi qu'à partir de la relation (2) par exemple, on établit (5) après y avoir substitué (4) et effectué quelques simplifications :

$$y = \left( \frac{b \tan j_2 - a \tan j_1}{\tan j_2 - \tan j_1} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} - \left( \frac{b-a}{\tan j_2 - \tan j_1} \right) \times \frac{\sin Az}{\tan h} \quad (5)$$

On a ainsi regroupé dans (1) les coordonnées (4) et (5) de l'intersection des ombres formant le point d'ombre  $P$ . ■

## 4.2 Pour une programmation informatique des coordonnées du point d'ombre P

Afin d'éviter les cas indéterminés dus à la présence des tangentes, une simplification des coefficients de  $\frac{\cos Az}{\tan h}$  et  $\frac{\sin Az}{\tan h}$  s'impose. Cette simplification conduit à considérer les nouveaux coefficients :

$$\begin{cases} (b-a) \frac{\tan j_1 \tan j_2}{\tan j_2 - \tan j_1} = (b-a) \frac{\sin j_1 \sin j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \\ \frac{b \tan j_1 - a \tan j_2}{\tan j_2 - \tan j_1} = \frac{b \sin j_1 \cos j_2 - a \sin j_2 \cos j_1}{\sin(j_2 - j_1)} \end{cases} \quad (6)$$

puis :

$$\begin{cases} \frac{b-a}{\tan j_2 - \tan j_1} = (b-a) \frac{\cos j_1 \cos j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \\ \frac{b \tan j_2 - a \tan j_1}{\tan j_2 - \tan j_1} = \frac{b \sin j_2 \cos j_1 - a \sin j_1 \cos j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \end{cases} \quad (7)$$

De telle sorte que les équations (1) s'écrivent maintenant :

$$\begin{cases} x = \left( \frac{(b-a) \sin j_1 \sin j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} - \left( \frac{b \sin j_1 \cos j_2 - a \sin j_2 \cos j_1}{\sin(j_2 - j_1)} \right) \times \frac{\sin Az}{\tan h} \\ y = \left( \frac{b \sin j_2 \cos j_1 - a \sin j_1 \cos j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \right) \times \frac{\cos Az}{\tan h} - \left( \frac{(b-a) \cos j_1 \cos j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \right) \times \frac{\sin Az}{\tan h} \end{cases} \quad (8)$$

L'usage du formulaire (8) est assuré pour n'importe quelle situation en latitude et pour n'importe quelle position des fils au-dessus du plan du cadran pourvu que  $j_2 \neq j_1$ .

### 4.3 Pour une étude analytique des coordonnées du point d'ombre P

Si l'on pose  $g_1, g_2$  les gnomons auxiliaires et  $k_1, k_2$  les termes correctifs :

$$\begin{cases} g_1 = \frac{b \sin j_1 \cos j_2 - a \sin j_2 \cos j_1}{\sin(j_2 - j_1)} \\ g_2 = \frac{b \sin j_2 \cos j_1 - a \sin j_1 \cos j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \\ k_1 = e \frac{\sin j_1 \sin j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \\ k_2 = e \frac{\cos j_1 \cos j_2}{\sin(j_2 - j_1)} \end{cases} \quad (9)$$

avec  $e=b-a$ , alors les coordonnées de **P** s'écriront plus facilement sous la forme (10) :

$$\begin{cases} x = -g_1 \frac{\sin Az}{\tan h} + k_1 \frac{\cos Az}{\tan h} \\ y = -k_2 \frac{\sin Az}{\tan h} + g_2 \frac{\cos Az}{\tan h} \end{cases} \quad (10)$$

### 4.4 Ecriture matricielle des coordonnées du point d'ombre P

Les équations (10) peuvent aisément se mettre sous la forme  $P = M \times V$ . Les matrices  $P, M$  et  $V$  sont données dans l'expression (11) :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -g_1 & k_1 \\ -k_2 & g_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\sin Az}{\tan h} \\ \frac{\cos Az}{\tan h} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Remarque importante sur le déterminant de la matrice  $M$  :

$$\det(M) = k_1 k_2 - g_1 g_2 = ab$$

qui n'est autre que le produit des distances des fils au plan  $xy$ .

Partant de (11) il très aisé d'exprimer les coordonnées horaires locales du point d'ombre **P** (intervention du couple horaire  $(t; \delta)$ ).

De l'expression des coordonnées horizontales et des coordonnées horaires locales on peut en déduire les principales propriétés du bifilaire généralisé et en particulier étudier le cas des lignes horaires homogènes (voir pour cela l'article : "*Les cadrans solaires bifilaires à gnomons rectilignes quelconques*").

**Cas particuliers :**

\* Cas ou  $k_1 = 0$  : cela se produit lorsque ou  $j_1 = 0^\circ$ , ou  $j_2 = 0^\circ$ . Un des deux fils est dans le plan méridien, l'autre dans un plan azimuthal quelconque.

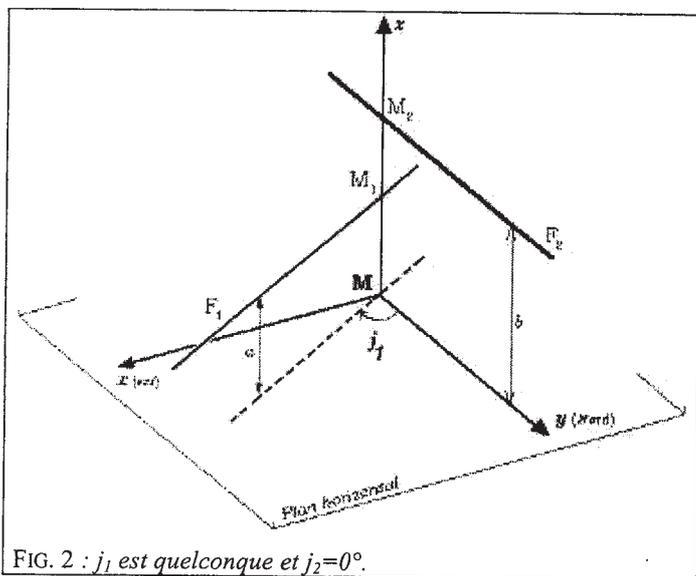


FIG. 2 :  $j_1$  est quelconque et  $j_2 = 0^\circ$ .

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -g_1 & 0 \\ -k_2 & g_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\sin Az}{\tan h} \\ \frac{\cos Az}{\tan h} \end{pmatrix}$$

\* Cas ou  $k_2 = 0$  : cela se produit lorsque ou  $j_1 = 90^\circ$ , ou  $j_2 = 90^\circ$ . Un des deux fils est dans le premier vertical, l'autre dans un plan azimuthal quelconque.

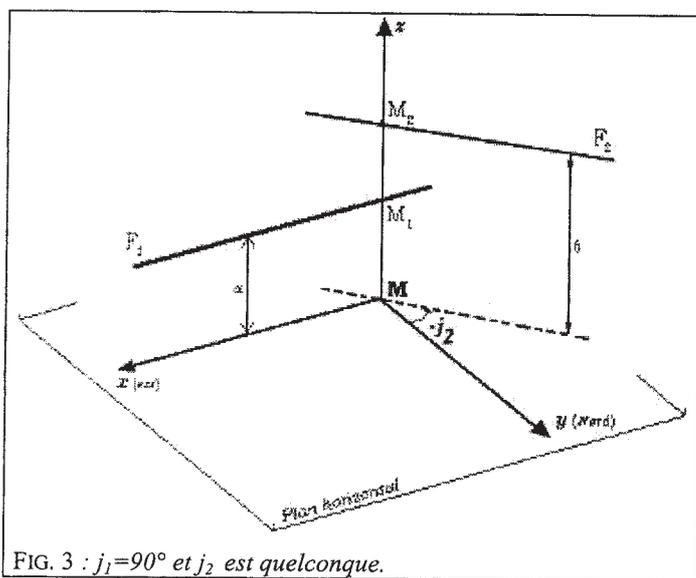


FIG. 3 :  $j_1 = 90^\circ$  et  $j_2$  est quelconque.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -g_1 & k_1 \\ 0 & g_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\sin Az}{\tan h} \\ \frac{\cos Az}{\tan h} \end{pmatrix}$$

\* Cas ou  $k_1 = k_2 = 0$  : cela se produit lorsque ou  $(j_1 ; j_2) = (0^\circ ; 90^\circ)$  ou  $(j_1 ; j_2) = (90^\circ ; 0^\circ)$ . C'est le bifilaire de Michnik pour le plan horizontal : un fil dans le plan du méridien et un fil dans le premier vertical.

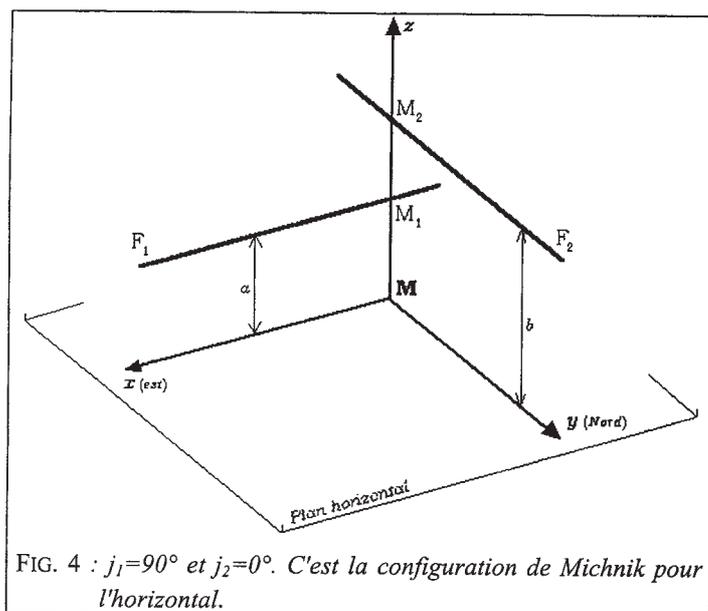


FIG. 4 :  $j_1=90^\circ$  et  $j_2=0^\circ$ . C'est la configuration de Michnik pour l'horizontal.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -g_1 & 0 \\ 0 & g_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\sin Az}{\tan h} \\ \frac{\cos Az}{\tan h} \end{pmatrix}$$

A partir des relations (9) on détermine aisément les termes auxiliaires  $g_1, g_2$ , puis  $k_1$  ou  $k_2$ .

## 5. Petite bibliographie sur la gnomonique bifilaire.

- [1] H. MICHNIK : "Theorie einer bifilar-Sonnenuhr", *Astronomische Nachrichten*, 1923, Vol.217, Nr.5190, p.81-90. (Traduction : D. Collin & C. Ségard)
- [2] F.W. SAWYER : "Bifilar gnomonics", *J. Brit. Astro. Assoc.*, 1978, Vol.88, N°4, p.334-351.
- [3] Th.J. DE VRIES: "De tweedraads-Zonnewijzer met rechte en gekromde draden", *De Zonnewijzerkring*, Beekbergen,1979, N°3, p.55-70. (Traduction : D. Collin & C. Ségard)
- [4] R. SAGOT, D. Savoie : "Quelques aspects des cadrans solaires bifilaires", *SAF : Observations & Travaux*, 1995, II, n°42, p.27-32.
- [5] J.N. TARDY : "Cadrans à deux gnomons fixes", dans : *Cadrans solaires - les comprendre et les construire* (Édisud), Aix-en-Provence : Édisud édit., 1996, pages 59-68.
- [6] D. SAVOIE : "Cadrans bifilaires", dans : *Gnomonique moderne* (Société Astronomique de France), Tours : SAF édit., 1997, Chapitre XVII, pages 177-184.
- [7] Y. OPIZZO : "Les cadrans solaires bifilaires", dans : *Cadrans solaires de précision - Ombres et lumières*, Paris : Masson édit., 1997, Chapitre 16, pages 132-134.
- [8] F.J. DE VRIES: "Un cadran solaire bifilaire à fils cylindriques", *De Zonnewijzerkring*,1997, N°3, p.32—33. (Traduction : D. Collin & C. Ségard)
- [9] D. COLLIN : "Théorie sur le cadran solaire bifilaire vertical déclinant", *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada (JRASC)*, juin 2000, Vol.94, N°3, p.95-111.

[10] G. FERRARI : "*A curious property of bifilar sundials*", The Compendium, dec.2000, Vol.7, N°4, pp.12—16. (traduction française disponible)

Le même article se trouve également référencé dans : « Storia, Arte, Cultura e Tecniche degli Orologi Solari, Bollettino della Sezione Quadranti Solari dell' U.A.I. — Supplemento al Gnomonica n°6, mars 2000.

[11] D. SAVOIE, *Nouveau traité de Gnomonique Moderne*, Edition Les belles lettres, juin 2001.

\* *Articles en cours ...*

F. SAVIAN, "*Bifilare, un nuovo approccio semplificato*", Avril 2001. En cours de publication dans une revue scientifique en Italie.

D. COLLIN, "*Les cadrans solaires bifilaires à gnomons rectilignes quelconques*"; en cours de publication. Juillet 2001.

D. COLLIN, "*Quelques variétés de cadrans bifilaires horizontaux*"; en cours de rédaction. Juillet 2001.

*L'auteur du présent article invite les lecteurs à lui signaler toute parution d'articles, d'ouvrages, de notes ou de réalisations sur les cadrans solaires bifilaires. Qu'ils en soient remerciés à l'avance !*

*D. Collin.*

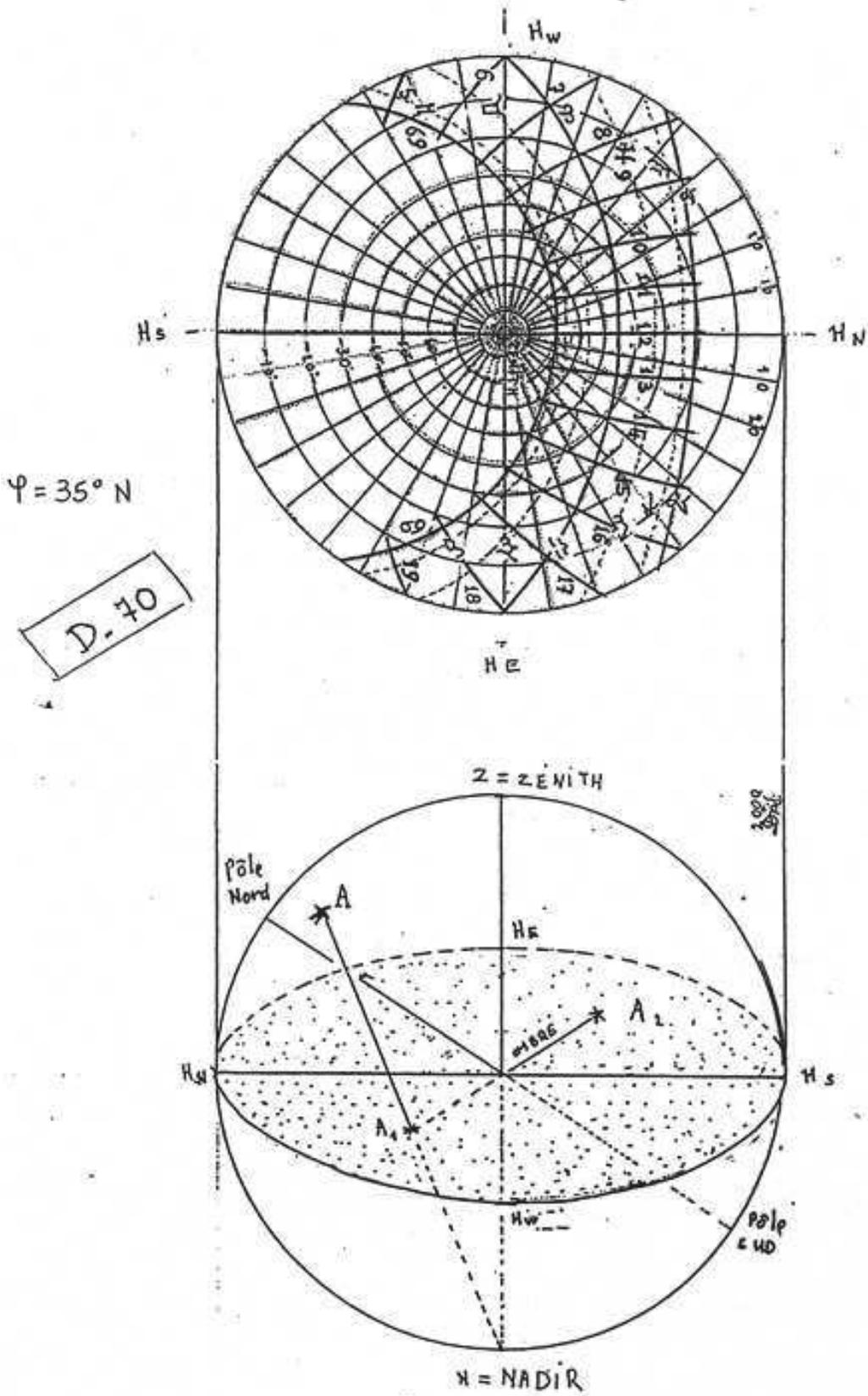
**Cadrans solaires  
de Corrèze .**

**Chapitre VII**

**Un cadran solaire en projection stéréographique.**

Figure 07\_01

Un cadran en projection stéréographique.



$A_2$  : image du point A sur un cadran en projection stéréographique.

## Schéma :

Voir figure 07\_01

### Description.

C'est un plan en forme de cercle, son style est une tige fine plantée perpendiculairement à sa surface, en son centre. Utilisé horizontalement l'ombre du style nous procure l'azimut du Soleil. Utilisé verticalement elle nous procure l'angle hauteur du Soleil. Les graphismes de ce cadran sont conçus de manière à permettre de convertir la hauteur, ou l'azimut en angle horaire, donc l'heure.

Les heures se lisent de trois façons :

A l'intersection d'une ligne d'azimut est d'une ligne de date.

A l'intersection d'une ligne de hauteur est d'une ligne de date.

A l'intersection d'une ligne d'azimut est d'une ligne de hauteur.

Ces différentes manières de l'utiliser le rendent « auto-orientable ». C'est, réalisé, en pierre, un bon décor de jardin.

### Les systèmes de projection.

Nous sommes un peu obligé de parler de plusieurs systèmes de projection pour aborder la projection stéréographique.

#### La projection gnomonique.

Un cadran plan classique pourrait être dit « Cadran en projection gnomonique ». Pour ce cadran on pourrait considérer que chaque point de la sphère céleste pourrait être obtenu par une droite partant de ce point, passant par le point S, sommet du style droit, et rencontrant la table du cadran pour nous procurer un point de ses graphismes. La sphère céleste imaginée dans ce cas possède pour centre le sommet du gnomon ( dit « style droit » ) et un rayon indéterminé, souvent plus grand que le cadran sur les épures.

#### La projection orthographique.

Le cadran est analogue au cadran stéréographique.

Chaque point des graphismes est obtenu par une droite verticale, perpendiculaire au cadran, passant par un point de la demi-sphère céleste construite sur le cadran. La sphère céleste imaginée dans ce cas possède le même rayon que le cadran. L'effet « ombre » fait que le point est sur le cadran symétrique du point normal, par rapport au pied du style.





## La projection stéréographique.

Chaque point des graphismes est obtenu par une droite partant du nadir de la sphère céleste imaginée pour le cas, et rejoignant un de ses points dont on veut obtenir l'image sur le cadran. La sphère céleste imaginée dans ce cas possède le même rayon que le cadran. L'effet « ombre » fait que le point est sur le cadran symétrique du point normal, par rapport au pied du style.

Pour un cadran solaire en projection stéréographique les points du cadran sont obtenus sur un plan horizontal, dont on peut matérialiser l'image par celle d'une « surface immobile de liquide ».

Il existe plusieurs possibilités : La projection stéréographique proprement dite, (utilisée aussi pour les astrolabes) et d'autres systèmes, « carte du ciel » par exemple. Nous envisagerons ces deux systèmes, mais ils ne sont pas les seuls, on peut en imaginer facilement d'autres.

Le principe de la projection stéréographique proprement dite est le suivant :

Imaginons une demi-sphère placée sous notre surface horizontale

Traçons une droite joignant le nadir (N) de cette sphère au point (A) de sphère céleste dont nous voulons l'image. Le point A2, symétrique de son intersection (A1) avec le plan horizontal du cadran est le point que nous cherchons.

Il faut remarquer deux importantes propriétés de la projection stéréographique :

Les grands cercles de la sphère céleste passant par le zénith (Z) deviennent des droites sur le cadran.

Les autres cercles de la sphère céleste deviennent des cercles sur le cadran.

Ces deux propriétés font qu'il est extrêmement facile de dessiner les lignes d'azimut et de hauteur (on dit almicantarats ou almucantarats) d'un cadran en projection stéréographique. Les lignes d'azimut sont toutes des droites. Ce sont des rayons du cercle formé par le cadran.

Les lignes d'almicantarats sont des cercles ayant pour centre celui du cadran, et un rayon fonction de la hauteur. Leurs rayons sont obtenus par épure ou par un calcul trigonométrique. Par exemple le cercle de l'almicantarats  $80^\circ$  aura pour rayon :  $M = R * \tan(90 - 80) / 2$ . (R étant le rayon du cadran, M celui du cercle d'almicantarats).

*( Pour la projection dite « carte du ciel » on utilise simplement  $1/90^\circ$  du rayon du cadran pour  $1^\circ$  de distance zénithale. ( la distance zénithale «  $\xi$  » est le complément de la hauteur )  $^\circ$ . Par exemple le cercle de l'almicantarats  $80^\circ$  aura pour rayon  $M = R * (90 - 80) / 90$ .*

La projection stéréographique permet de construire par épure, les lignes de déclinaisons ( dates ), ainsi que les lignes d'heures. Les lignes de date sont des cercles Les épures permettent d'en déterminer les centres et les rayons ( voir figure 07\_02 ). Les lignes d'angles horaires sont aussi des cercles sauf pour l'angle horaire zéro. On peut aussi en déterminer les centres et les rayons par épure ( voir figure 07\_03 ). Cette méthode est celle du tracé des astrolabes. Elle n'entre pas dans le cadre du présent ouvrage, trop petit. Il est plus avantageux de tracer ce cadran par calcul complet. Nous allons donc décrire comment on peut transformer les coordonnées célestes du Soleil en coordonnées rectangulaires d'un point du graphisme du cadran. En plus ce système est automatisable et peut être utilisé pour dessiner le cadran à l'ordinateur.

### **Matériaux de réalisation.**

Nous n'envisagerons ici que la réalisation par gravure sur pierre. La méthode est exactement la même que pour les cadrans déjà décrits ici. Pour réaliser le cadran nous devons réaliser en atelier un poncif. C'est comme pour les autres cadrans : dessins grandeurs réelles des deux tables et des deux styles, tirages en plusieurs exemplaires. Puis perçages des tirages à la roulette de couturière, ponçages des barbes des trous, paraffinage du papier, vérification que tout les trous laissent passer la lumière...

Le report du dessin se fera sur la pierre à la peinture acrylique en suspension aqueuse. La découpe de la pierre se fait à l'aide d'un disque diamant. Les plaques de marbre peuvent être découpées à la scie sauteuse. La gravure des lignes peut s'ébaucher à la disqueuse et se terminer au ciseau de graveur. On peut aussi utiliser une mini-perceuse et des fraises diamant. Les canaux sont ensuite peints à l'aide de pigments résistant aux rayons du Soleil. On utilisera par exemple un mélange de pigments à colorer les mortiers ( ocres, oxyde vert de chrome... ) et un liant acrylique (type « Rustol »). Les coulures de peinture s'enlèvent sur la pierre à l'aide d'un os de seiche.

### **Rappelons les formule de transformations des coordonnées que nous aurons à utiliser.**

Les calculs répétitifs :

#### **Calcul de la hauteur h :**

La hauteur, symbolisée par h, est un angle qui a pour sommet l'observateur, et qui se mesure à partir de l'horizon local jusqu'à l'astre, de 0° à 90° vers le zénith ou de 0° à -90° vers le nadir.

$$\sin h = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos H$$

#### **Calcul de l'azimut A :**

L'azimut, symbolisé A, en astronomie, est un angle qui a pour sommet l'observateur, et qui se mesure sur l'horizon local, à partir d'un arc de méridien terrestre allant de l'observateur au pôle SUD, jusqu'au pied d'une verticale contenant l'astre. Il se mesure de 0° à 360° positivement du SUD vers l'OUEST.

$$\tan A = [\cos \delta * \sin H] / [\sin \varphi * \cos \delta * \cos H - \cos \varphi * \sin \delta]$$

#### **La fonction arc-tangente à deux argument .:**

Soient :

B la variable à laquelle la valeur de l'angle est affectée ;

NF la variable du numérateur de la fraction ;

DF la variable du dénominateur de la fraction.

Si DF = 0, lui affecter une très petite valeur, 0.00001 par exemple

Calculer la valeur de l'angle B :  $B = \text{ATN} (NF / DF)$

si DF < 0 affecter à B la valeur :  $180^\circ + B$

puis si B < 0 effectuer :  $B = 360^\circ + B$

B est obtenu dans le bon quadrant, de zéro à 360°

#### **Calcul de la durée du jour :**

Nous aurons probablement besoin d'utiliser la formule qui nous procure la demi-durée du jour « DJ », pour tracer les lignes d'heures italiques ou babyloniennes :

$$\cos (DJ) = [\tan (\varphi) * \tan (-\delta)] / 15^\circ ;$$

ou son inverse :

$$\tan(\delta) = -\cos(DJ * 15) / \tan(\varphi);$$

Ces formules servent à calculer le « temps de passage » dans ces systèmes.

#### **Autres formules :**

Si l'on désire dessiner les graphisme « huit de temps moyen », nous devons écrire le calcul de la déclinaison et de l'équation du temps en fonction de la longitude écliptique vraie du Soleil.

#### **Calculs propres à ce type de cadran.**

Si le calcul est automatisé ces programmes porteront un numéro ( ou un nom) de type de cadran qui servira à les appeler à partir d'une « boucle de ligne ».

C'est la transformation de h la hauteur du Soleil et A son azimut en coordonnées sur cadran :

Soit R le rayon du cadran et Om le rayon du cercle de déclinaison

$$Om = R * \tan(90 - h) / 2$$

Pour l'hémisphère SUD le signe de Om est à inverser.

$$x = Om * \sin A$$

$$y = Om * \cos A$$

Si l'on veut dessiner un cadran en utilisant la projection « carte du ciel » nous aurons un calcul trigonométrique en moins, mais nos lignes de dates et d'angles horaires ne seront plus des cercles :

Soient R le rayon du cadran et Om le rayon du cercle de déclinaison

$$Om = R * (90 - h) / 90$$

**Pour l'hémisphère SUD le signe de Om est à inverser.**

$$x = Om * \sin A$$

$$y = Om * \cos A$$

#### **Calculs des coordonnées du Soleil, point par point, pour les lignes du cadran**

On appelle « lignes du cadran » les graphismes des renseignements figurant sur le cadran : lignes d'heures, lignes de dates, lignes de hauteur et d'azimut.

Il est à remarquer que chacune de ces suites de formules ( on dit « algorithmes » de « boucle de ligne » ) sont propres aux renseignements qu'elles permettent de dessiner et utilisables pour tous les types de cadrans. Seul le numéro du sous-programme propre au cadran change.

#### **Lignes d'« Heure vraie locale »**

Pour chaque heure on fait varier

la déclinaison de +30° à -30° par exemple, par étape de 10°.

On calcule successivement :

Le temps de passage : il est toujours 12 h.

L'angle horaire :  $H = (\text{heure} - TP) * 15$

L'azimut et la hauteur.

Tester la hauteur pour s'assurer qu'elle n'est pas négative (nuit).

Transformer à l'aide des formules propres au cadran en coordonnées sur cadran

Répéter les calculs.

### **Lignes de déclinaisons fonction de la longitude éclipique**

On fait varier la longitude éclipique de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$  par tranche de  $30^\circ$

On calcule les déclinaisons correspondantes

Pour chaque déclinaison on calcule les heures des levers et couchers du Soleil en heure vraie, on arrondit les levers au 1<sup>er</sup> quart d'heure entier précédant le lever .

Le temps de passage est toujours 12 h.

De quart d'heure en quart d'heure on calcule les angles horaires. Ce procédé permet de tracer sur les cadrans les lignes de temps vrai toutes les 15 min. Entre ces lignes on peut interpoler pour avoir d'autres lignes.

Par appels de sous programmes on calcule :

L'angle horaire est :  $H = (\text{heure} - \text{TP}) * 15$

L'azimut et la hauteur.

La transformation des coordonnées célestes en coordonnées sur cadran à l'aide des formules propres au cadran.

Répéter les calculs.

### **Lignes de déclinaisons fonction des durées de jours**

Calculer la durée des jours longs, arrondir la durée à l'entier supérieur ( ex. 16h 35 arrondi à 17h )

Calculer la durée des jour courts, arrondir la durée à l'entier inférieur ( ex. 7h 25 arrondi à 7h )

Pour chaque déclinaison on calcule les heures des levers et couchers du Soleil

Nous calculons la déclinaison correspondante .

En heure vraie le temps de passage est toujours 12 h.

De quart d'heure en quart d'heure on calcule les angles horaires. Ce procédé permet de tracer sur les cadrans les lignes de temps vrai toutes les 15 min. Entre ces lignes on peut interpoler pour avoir d'autres lignes.

Par appels de sous programmes on calcule :

L'angle horaire est :  $H = (\text{heure} - \text{TP}) * 15$

L'azimut et la hauteur.

La transformation des coordonnées célestes en coordonnées sur cadran à l'aide des formules propres au cadran.

Répéter les calculs.

### **Lignes d' « Heure vraie du fuseau »**

Dites par les médias « Heure du Soleil » C'est inconsciemment le système préféré du grand public.

Seul le calcul du temps de passage change, il peut être en sous programme et être appelé :

$$\text{TP} = 12 + \lambda + F$$

### **Lignes de « Temps Universel » en forme de huit.**

Pour chaque heure on fait varier

La longitude éclipique du Soleil de  $0^\circ$  à  $360^\circ$ , par étape de  $10^\circ$ . Aux périodes proches des solstices et des sommets de l'équation du temps nous choisirons des successions espacées seulement d'un degré, depuis 5 degrés avant jusqu'à 5° après les sommets. Il est bon aussi d'inclure dans la liste des longitudes éclipiques choisies celles qui correspondent aux 1<sup>er</sup> de chaque mois, par exemple pour une année « bisextile+2 ».

On calcule successivement :

La déclinaison du Soleil.

L'équation du temps.

Le temps de passage : il est  $TP = 12 + \lambda / 15 + E$  ;

L'angle horaire :  $H = (\text{heure} - TP) * 15$

L'azimut et la hauteur.

Tester la hauteur pour s'assurer qu'elle n'est pas négative (nuit).

Transformer à l'aide des formules propres au cadran en coordonnées sur cadran

Répéter les calculs.

### **Lignes d'« Heure italique »**

Nom de référence proposé: HORA AB OCCASU

Ce qui signifie : heures restant à passer avant le coucher

Pour chaque heure on fait varier

la durée du jour de 16 à 8h. ( en France), par étape de ½ heure.

On calcule successivement :

Le temps de passage : il est toujours en heures :  $TP = 24 - DJ / 2$  .

L'angle horaire :  $H = (\text{heure} - TP) * 15$

La déclinaison  $\delta$

L'azimut et la hauteur.

Tester la hauteur pour s'assurer qu'elle n'est pas négative (nuit).

Transformer à l'aide des formules propres au cadran en coordonnées sur cadran

Répéter les calculs.

### **Lignes d'« Heure babylonique »**

Nom de référence proposé: HORA AB ORTU

Ce qui signifie : heure depuis le lever.

Par rapport à l'heure italique, seul le calcul du temps de passage change, il peut être en sous programme et être appelé :

$$TP = DJ / 2$$

### **Lignes d'«almicantarats »**

Ce sont des cercles que l'on peut facilement tracer au compas. Le rayon se calcule à l'aide de la formule propre au cadran

$$Om = R * \tan (90 -h) / 2$$

Dans le cas de la projection stéréographique vraie.

Elle peuvent aussi être tracées point par point par l'algorithme suivant :

Pour chaque almicantarats, choisi de 10° en 10°, on fait varier

L'azimut par étape de 10° par exemple.

*Si la boucle est à utiliser pour d'autres cadrans on calcule l'angle horaire (H) et la déclinaison ( $\delta$ ) correspondant aux angles horaires et azimuts choisis.*

On transforme hauteur (h) et azimut (A), à l'aide des formules propres au cadran en coordonnées x et y sur cadran

Répéter les calculs.

### **Lignes d'«azimuts»**

Ce sont des droites que l'on peut facilement tracer à la règle et en utilisant un bon rapporteur d'angles

Elle peuvent aussi être tracées point par point par l'algorithme suivant :

Pour chaque azimut choisi de  $10^\circ$  en  $10^\circ$ , on fait varier

L'almicantarats par étape de  $10^\circ$  par exemple.

*Si la boucle est à utiliser pour d'autres cadrans on calcule l'angle horaire (H) et la déclinaison ( $\delta$ ) correspondant aux angles horaires et azimuts choisis.*

On transforme hauteur (h) et azimut (A), à l'aide des formules propres au cadran en coordonnées x et y sur cadran

Répéter les calculs.

### **Au sujet des calculs complets**

La méthode de tracé des lignes décrite ci-dessus est une partie de la « solution générale ». Bien comprise elle permet de dessiner les graphismes de tous les types ( ou presque) de cadrans. Il suffit de lui ajouter les algorithmes propres de ces cadrans. Le cadran plan classique à style droit devient accessible. Ce cadran est beaucoup plus facile par calculs complets organisés de cette façon que par épure. De nombreux autres cadrans réapparaissent grâce à l'automatisation des calculs.

Ce sont les cadrans de vers l'an 2000...

**Fin du cadran en projection stéréographique.**

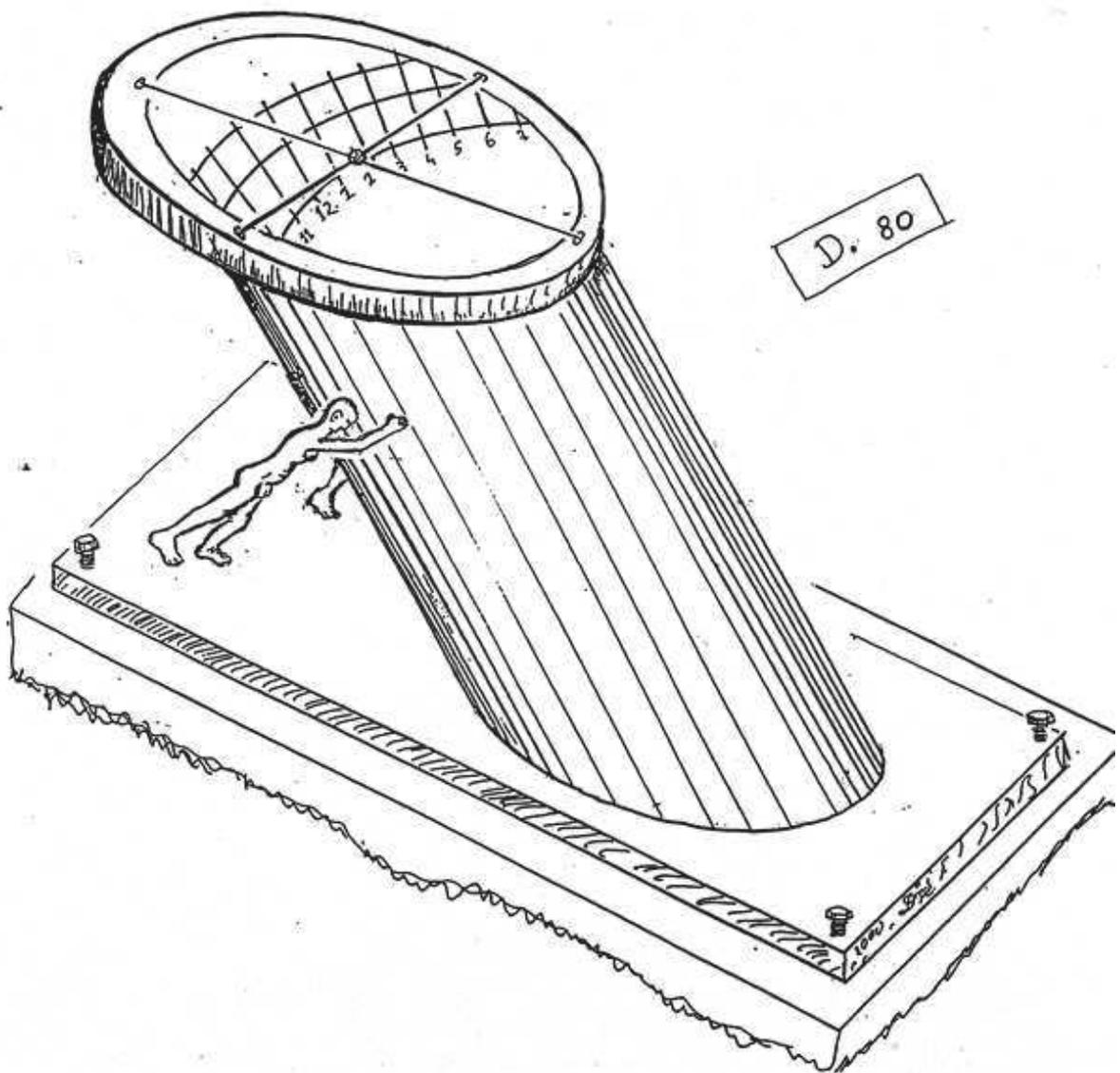
**Cadrans solaires  
de Corrèze.**

**Chapitre VIII**

**Un cadran scaphé cylindrique.**

Figure 08\_01

Un cadran scaphé cylindrique.



(voir figure 08\_01 )

Le mot « scaphé » signifie à l'origine « cavité ». Ce mot est employé en gnomonique pour exprimer que les renseignements procurés par le cadran sont lisibles à l'intérieur de sa cavité. On pourrait remplacer ce mot par « avec graphismes procurant les renseignements à l'intérieur d'une cavité » suivie de la forme géométrique du cadran. Il existe des « scaphés » de classes sphériques, demi-sphériques, coniques, cylindriques. Certains sont de familles « classiques » et les coordonnées de leurs points se calculent à partir de la déclinaison et de l'angle horaire du Soleil. C'est le cas du scaphé cylindrique que nous allons étudier. D'autres sont « d'azimut et de hauteur » : les coordonnées de leurs points se calculent à partir de la hauteur et de l'azimut du Soleil, c'est par exemple le scaphé sphérique à trou zénithal, dit « cadran caverne » (parfois, à tort, « antiboreum »).

Le cadran scaphé cylindrique est le plus facile à tracer, mais « facile » ne veut pas dire « court ». Le poncif de ce cadran est en effet long à établir et de multiples détails ne doivent pas échapper au gnomoniste pour que la réalisation soit exacte : Par exemple, lors des réalisations en métal, le rayon du métal à cintrer est à augmenter de la demi-épaisseur du métal à cintrer, pour les calculs concernant le périmètre du cylindre, et inchangé pour les calculs sur les génératrices.

### **Son style**

Il se limite à un point au milieu de l'ellipse formée par la section horizontale haute du cylindre. Ce point peut être matérialisé par la croix de deux fils tendus EST / OUEST et NORD / SUD dans la section horizontale du haut du cadran. Il peut aussi être concrétisé par une bille enfilée par l'un de ces fils ou les deux.

### **Les formes suivant les latitudes.**

A l'équateur l'axe est horizontal. Le cadran est un cylindre coupé par un plan horizontal passant par son axe. Le cylindre est couché sur le sol, son axe est une méridienne locale. Sa section horizontale est un rectangle. Ses lignes de déclinaison sont des demi-cercles.

En zone intertropicale autre qu'à l'équateur la section horizontale est une ellipse très allongée et le cylindre peut être coupé un peu au dessus des lignes de déclinaisons extrêmes. Cette manière de couper le cylindre existe en réalité jusqu'à des latitudes importantes d'Europe.

Aux pôles l'axe est vertical. Le cadran est un cylindre vertical coupé par un plan horizontal perpendiculaire à son axe. Sa section horizontale est un cercle. Ses lignes de déclinaison sont des cercles complets et n'existent que pour le printemps et l'été.

Aux latitudes moyennes l'axe est incliné. Le cadran est un cylindre tronqué incliné, coupé par un plan horizontal. Sa section horizontale est une ellipse. Ses lignes de déclinaison sont des arcs de cercles de longueurs proportionnelles aux durées des jours qui leurs correspondent.

Entre les cercles polaires et les pôles l'axe est incliné. Le cadran est un cylindre incliné coupé par un plan horizontal. Sa section horizontale est une ellipse peu aplatie. Ses lignes de déclinaison sont soit des arcs de cercles complets, soit des arcs de cercles de longueurs proportionnelles aux durées des jours qui leurs correspondent.

- **Matériaux de réalisation**

Nous allons envisager deux solutions : la pierre et le métal cintré.

### **La pierre**

Les tailleurs de pierre, dans les marbreries, disposent de carotteuses permettant de creuser des cylindres de diamètre pouvant atteindre 40 cm dans des blocs de pierre. Ce sont des « couronnes » mues par un moteur, sur lesquelles sont soudés des « dents au diamant ».

Après avoir creusé le cylindre il reste à scier le bloc de pierre de manière à obtenir que le cylindre soit coupé par deux plans parallèles formant avec l'axe du cylindre un angle égal à la latitude du lieu d'utilisation du cadran.

Les autres faces du volume sont coupées de manière à obtenir par exemple un cube, mais on peut envisager une tout autre forme : sculpture abstraite ou figurative.

Il n'existe pas de moyen motorisé pour poncer et polir l'intérieur d'un cylindre. On peut choisir une roche tendre facile à poncer à la main. Il n'est pas, non plus facile de graver les lignes du cadran à l'intérieur de cette cavité. Il faut donc envisager la gravure par sablage. Le périmètre du cylindre à utiliser sera obtenu en plaquant le stencil à l'intérieur du cylindre et en faisant une coupe en suivant une génératrice à un endroit où les deux épaisseurs se superposent. Le rayon retenu pour les coordonnées verticales sera la moitié du diamètre mesuré au pied à coulisse, ou calculé par mesure de la circonférence à l'aide d'un mètre en ruban de faible épaisseur. Le poncif est établi comme pour les autres cadrans, plusieurs exemplaires, même perçage, paraffiné. Le report du dessin se fait sur le stencil au lieu de se faire sur la pierre. Il faut ensuite découper au cutter les graphismes dans le stencil. Le stencil est ensuite plaqué à l'intérieur du cylindre. La gravure se fait par sablage au corindon « G ». Elle nécessite un compresseur et une « chambre à sabler ».

Les canaux seront peints par le procédé habituel.

### **Le métal cintré.**

( voir figure 08\_01 )

Nous allons le penser comme un grand cadran pour jardin public, ou décor de ville. Il sera placé sur un support bâti : dalle en béton ou en pierre.

Le cadran est réalisable dans un atelier de chaudronnerie, et s'il est en fer doit être peint comme une carrosserie automobile. Dans la mesure du possible il faut envisager de le réaliser en acier inoxydable. Le métal et la conception devront être prévus pour résister aux enfants qui ne manqueront pas de jouer à grimper dans le cadran. Le style constitué par deux fils en croix est facile à restaurer. Toutes les lignes doivent être gravées dans le métal ainsi que les caractères. Ce cadran doit être monté avec de nombreuses précautions empêchant la flexibilité du métal de le déformer : couronne elliptique horizontale avec cornière verticale, double jambe de force pour soutenir le cylindre.

La coupe basse du cylindre doit être soudée à un plateau, pouvant tourner pour régler le cadran. Ce dernier reposera sur un plan horizontal par quatre grosses vis de réglage placées dans les angles du plateau. Au milieu du plateau un trou permettra d'attacher le cadran à son support, de fixer son orientation. Le boulon de serrage, sera cadencé pour lutter contre le vol.

L'inclinaison d'un tel cadran est toujours difficile à obtenir exacte. Il est nécessaire de la régler en se basant sur l'ombre de la bille et une ligne de déclinaison. Il est donc important que les déclinaisons d'entrée en tiers de saison (calendrier zodiacal) soient tracées, au besoin en lignes fines. Ensuite les vis de réglage et la rotation du cadran permettent son réglage précis. Il doit procurer l'heure à moins d'une minute près sans difficulté.

- **Tracé de l'épure du cadran.**

Il ne semble guère possible de tracer ce cadran avant d'avoir bien compris comment on l'obtient par épure. Elle semble être indispensable pour réaliser le cadran sans erreur. Ceci ne veut pas dire que des maquettes réalisées par tracés automatisés ne doivent pas précéder l'épure.

Pour les réalisations en métal cintré le rayon ( R ) à utiliser dans le sens « cintrage » devra être augmenté de la demi-épaisseur (  $\frac{1}{2} \epsilon$  ) de la feuille de métal. Pour les mesures dans le sens des génératrices nous utiliserons le rayon réel.

Pour les réalisations en pierre des précautions analogues seront prises pour tenir compte de l'épaisseur du stencil.

Sur l'épure et dans les formules nous noterons ces rayons « R », bien qu'il soient différents, afin de simplifier le document.

**Voir figure 08\_02**

Dessiner la section équatoriale du cadran.

Diviser la section équatoriale en huit parties par exemple. On peut envisager 24 parties, comme les heures. Repérer ces divisions par les chiffres des heures qui leur correspondent. Le zéro correspond aux lignes extrêmes de l'épure. Il est la ligne d'assemblage des cadrans en métal, le bord du stencil pour les réalisations en pierre.

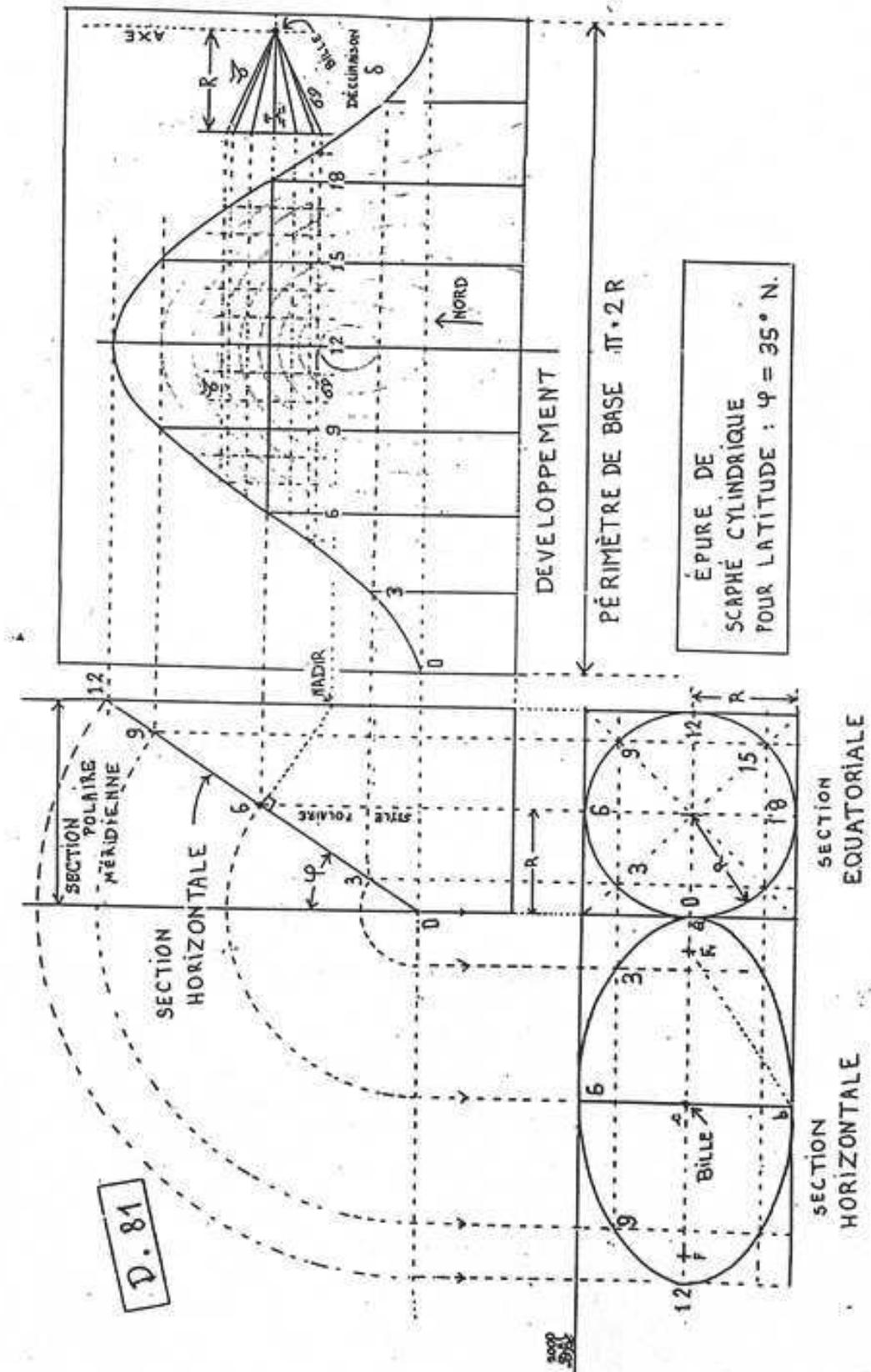
Tracer la coupe « polaire » du cylindre sans tenir compte de la section basse ( on peut faire autrement mais cette coupe n'est pas représentée figure 08\_02 ). C'est une coupe du cylindre par un plan vertical NORD / SUD contenant son axe. Pour réaliser la section basse il suffit de choisir une longueur de génératrice et de les tracer toutes d'égales longueurs.

Tracer un rectangle « développement » : sa longueur ( L ) est égale au périmètre utile : celui mesuré à l'intérieur du cylindre de pierre, ou pour le métal :  $L = \pi * 2 * ( R + \frac{1}{2} \epsilon )$ .

Diviser la base du rectangle en autant de parties que la section équatoriale. Tracer les génératrices. Déterminer leurs longueurs par les génératrices analogues tracées sur la section polaire.

Figures 08\_02.

Epure d'un scaphé cylindrique.



Joindre les sommets des génératrices par une ligne continue. Nous avons obtenu l'horizon du cadran.

La vraie grandeur de la section horizontale s'obtient à gauche de la section équatoriale.

Construire le « triangle des déclinaisons » en haut à droite. La droite horizontale 6/18 du rectangle de développement est la ligne de déclinaison zéro.

Chaque génératrice tracée tous les 15° à partir du bord du rectangle est une ligne d'heure vraie.

- **Les repères orthonormés du cadran**

L'axe x'x sera la ligne équatoriale du cadran, sur l'épure la ligne horizontale partant du point « 6 » de la section polaire. Le point origine sera son intersection avec la génératrice de 12h du rectangle. Les valeurs seront positives à droite de cette origine.

L'axe des y sera la génératrice de 12 h. Les valeurs seront positives vers le haut.

- **Calculs propres à ce type de cadran.**

Si le calcul est automatisé ces calculs porteront un numéro ( ou un nom) de type de cadran. Ce numéro servira à appeler la partie du programme qui les exécute à partir d'une « boucle de ligne ».

C'est une transformation de  $\delta$  la déclinaison et H l'angle horaire en coordonnées sur cadran :

Soit R le rayon du cadran :

$$x = H \cdot R \cdot \pi / 180$$

$$y = \tan \delta \cdot R$$

Pour tracer les lignes de hauteur et d'azimut nous devons avant d'appeler l'algorithme du cadran transformer les coordonnées horizontales ( h et A) en coordonnées équatoriales ( $\delta$  et H).

Les formules de transformations des coordonnées horizontales en coordonnées horaires et équatoriales sont les suivantes, elles sont à écrire en fonction ou procédure suivant le langage utilisé :

En degrés : La déclinaison se calcule par la formule :

$$\sin \delta = \sin(h) \cdot \sin(\varphi) - \cos(h) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(A)$$

L'angle horaire demande une discussions soit C le cosinus de cet angle:

$$C = \sin(h) - \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) / [(\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta))]$$

Si  $|C| > 1$  ( valeur absolue de C supérieure à 1 ) affecter à C la valeur 1 ou -1 pour que le signe de C soit inchangé.

Ensuite :

$$H = \arccos(C)$$

Affecter à H le signe de l'azimut( compté négativement à l'EST)

Les algorithmes de lignes de ce cadran sont les mêmes que pour les autres.

- **La ligne horizon du cadran.**

C'est la ligne du bord de la section horizontale, elle est visible sur la section horizontale, et c'est aussi la ligne qui joint les sommets des génératrices

On peut calculer les coordonnées de ces points

$$x = R * \pi / 180 * H$$

$$y = R * \cos H / \tan \varphi$$

- **Les lignes de déclinaison du soleil.**

(voir figures 08\_03 )

### **Déclinaisons correspondant à des durées de jours.**

Elles sont obtenues par les intersections des génératrices d'heure vraie et de l'horizon du cadran. La ligne des équinoxes, l'équatoriale, coupe la ligne « horizon » du cadran à 6h vraie et 18h vraie. La durée du jour vrai est aux équinoxes de 12h.

Le jour vrai est l'intervalle qui sépare les instants où le centre du Soleil passe la hauteur zéro. Il n'est pas tenu compte du demi-diamètre du Soleil ni de la réfraction. A la latitude de la France, au dessus de la mer le bord supérieur du Soleil apparaît au lever environ 6 min avant le lever vrai, alors que le centre du Soleil est encore à 0,8° sous l'horizon. En moyenne montagne, sur l'horizon terrestre, on constate que le bord supérieur du Soleil apparaît souvent quand le centre du Soleil est déjà à 1° au dessus de l'horizon, en étant placé sur une hauteur. C'est une moyenne.

Si l'on considère les intersections des lignes de 7h et 17h avec la ligne horizon nous déterminons les jour de 10h, ils ont une heure de moins le matin et le soir. Pour obtenir les lignes de durée de jour d'heure en heure il faut tracer les génératrices des demi-heures.

Figure 08\_03, Dessin 82, nous voyons les lignes de durée de jour à une latitude de 35°, certaines déclinaisons extrêmes peuvent n'être jamais atteintes par le Soleil. Le trigone, à droite, permet de les mesurer. Ces déclinaisons peuvent également se calculer en fonction de la demi-durée du jour DJ :

$$\tan (\delta) = -\cos (DJ * 15) / \tan (\varphi) ;$$

Ici la déclinaison extrême obtenue est de 28.7° pour les jours de 15 h, elle est de 20.3° pour les jours de 14h. Si l'on désire disposer des lignes de durées de jour, il est bien nécessaire de tracer des lignes extrêmes de +/-28.7°

### **Déclinaisons correspondant à des longitudes écliptiques..**

Figure 08\_03, Dessin 83: Les lignes de déclinaisons sont celles obtenues en fonction de la longitude écliptique vraie du Soleil. Leurs positions sont obtenues à l'aide du trigone dessiné à droite. Le cadran est dessiné pour une latitude NORD de 55°. Nous remarquons que les jours longs à cette latitude peuvent avoir une durée d'environ 17h

### Lignes d'heures italiques.

Figure 08\_03, Dessin 82

Nous avons tracé, à droite, les lignes d'heure vraies 16h, 17h, 18h, 19h . A droite nous avons l'horizon où l'ombre de la bille est portée au coucher du Soleil. Par définition le Soleil se couche en heure italique à 24h. Les lignes de déclinaison étant sur cette figure des lignes de durée de jour, les droites d'heure vraie les découpent en « heures restant avant le coucher ». Nous pouvons donc sans peine obtenir tous les points de la ligne « 23h » italique en joignant par une ligne continue les 1<sup>re</sup> intersections des heures vraies et des ligne de durée de jour.

### Lignes d'heures babyloniennes.

Figure 08\_03, Dessin 82

Nous avons tracé, à gauche, les lignes d'heure vraies 5h, 6h, 7h, 8h, 9h . A gauche nous avons l'horizon où l'ombre de la bille est portée au lever du Soleil. Par définition le Soleil se lève en heure babylonique 0h. Les lignes de déclinaison étant sur cette figure des lignes de durée de jour, les droites d'heure vraie les découpent en « heures écoulées depuis le lever ». Nous pouvons donc sans peine obtenir tous les points de la ligne « 1h » babylonique en joignant par une ligne continue les 1<sup>re</sup> intersections, près de l'horizon gauche, des heures vraies et des lignes de durée de jour.

### Lignes de temps universel.

Figures 08\_04

Ce sont des graphismes dits « HUIT ».

Sur ce cadran elles sont toute identiques. Il faut dessiner un huit, repérer sa position par rapport à une ligne médiane d'heure vraie. Cette ligne repère est une ligne d'angle horaire égal à la longitude géographique :

$$H = -\lambda * 15$$

$$x = H * \pi / 180$$

x est la distance de la ligne de temps vrai de même numéro horaire que le HUIT.

Il faut bien remarquer que si la longitude  $\lambda$  est à l'EST du méridien origine, le HUIT est à droite de la ligne d'heure vraie de même chiffre.

Les coordonnées des points du HUIT son obtenues par la formule :

$$x = R * E/4 * \pi / 180$$

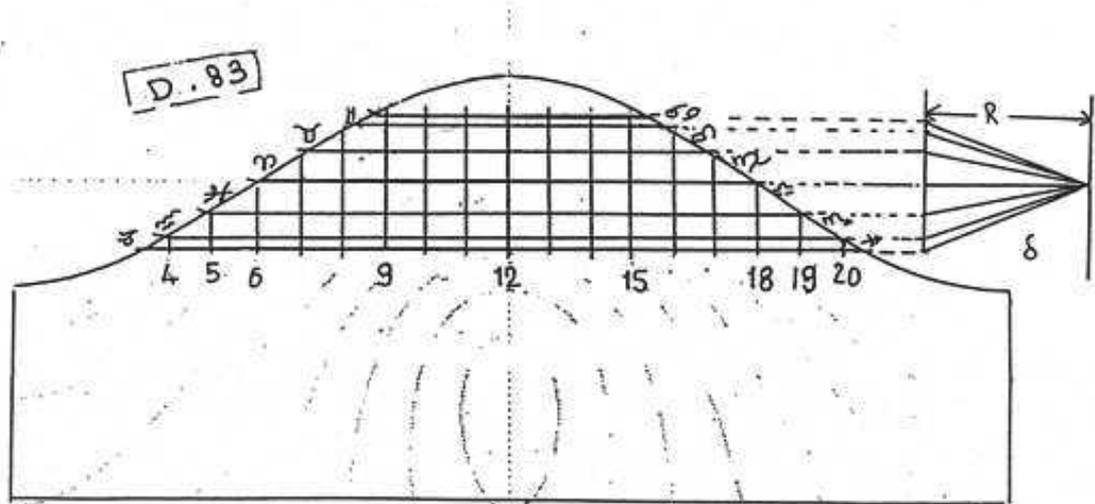
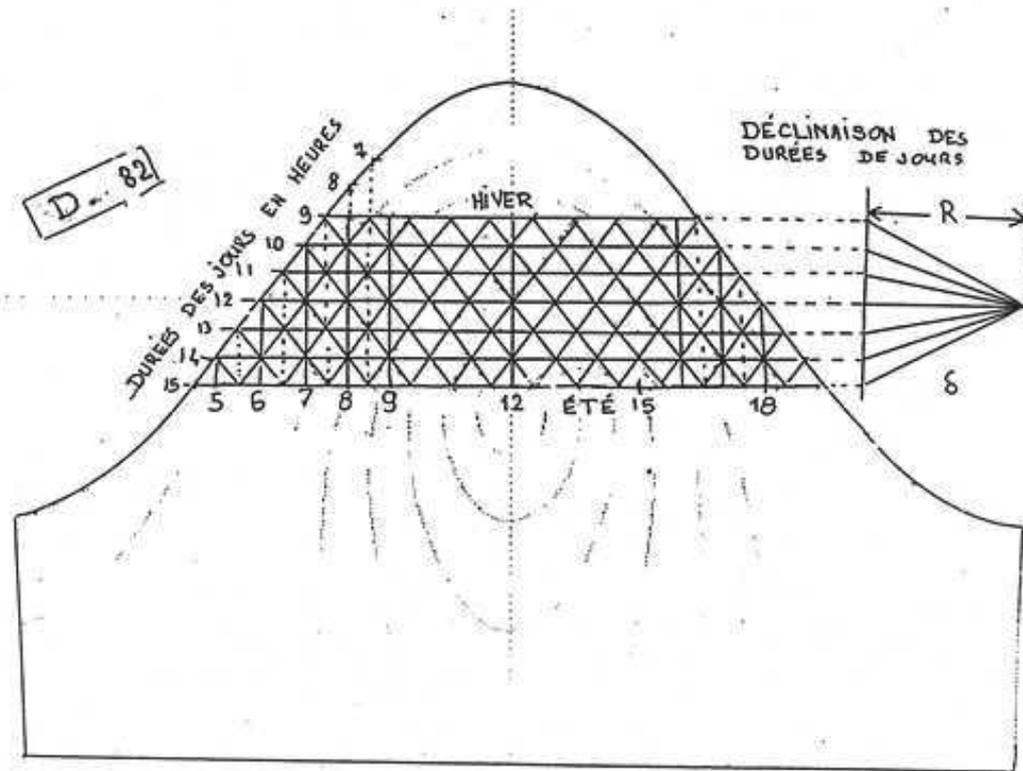
$$y = R * \tan \delta$$

x est compté depuis la ligne médiane du huit.

E étant l'équation du temps en minutes décimales. L'équation du temps doit provenir de la même longitude écliptique que la déclinaison utilisée .

Figure 08\_03

Lignes de déclinaison et canevas italo-babylonique.



Il existe plusieurs manières de rendre lisibles les huit. Il semble qu'il faut en utiliser plusieurs.

[Figure 08\\_03, dessin 85](#) , nous pouvons distinguer les numéros des mois de notre calendrier, ils sont repérés par leur chiffres. C'est le plus simple et probablement le meilleur. La position des 1<sup>er</sup> de chaque mois est un peu variable, il faut le savoir. Les signes du calendrier zodiacal sont esthétiquement très utiles et sont recherchés par le grand public. Cependant ils sont difficiles à utiliser pour savoir où le cadran doit être lu. Le nombre de degrés de longitude écliptique distant de l'équinoxe, semble commode pour savoir où l'on doit lire sur le segment mensuel..

### **Lignes de temps sidéral.**

(voir figures [08\\_07](#) )

En temps sidéral le Soleil passe au SUD ( dans l'hémisphère NORD) à une heure égale à  $\alpha$  l'ascension droite. Ce sont des lignes, courbes et inclinées qui traversent le cadran d'un solstice à l'autre. En calcul automatisé nous procéderions de la façon suivante :

Pour toutes les heures, de 0 à 24

Pour le 1<sup>er</sup> semestre, pour toutes les longitudes écliptique de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$  par pas de  $5^\circ$

Pour le 2<sup>e</sup> semestre, pour toutes les longitudes écliptique de  $+90^\circ$  à  $+270^\circ$  par pas de  $5^\circ$ .

Calculer la déclinaison et l'ascension droite.

Calculer l'angle horaire. (  $TP = \alpha$  )

Calculer la hauteur et l'azimut.

Tester la hauteur. (Les points n'existent que si elle est positive).

Transformer en coordonnées sur cadran.

Répéter les calculs

Il est indispensable de dessiner deux tables de manière qu'aucun point n'appartiennent à deux lignes différentes de temps sidéral. Ces lignes ont pour origines les intersections des droites d'heure vraie et des lignes des solstices. Pour que le cadran soit lisible, ces points doivent être visibles, matérialisées par un point par exemple. ( les graveurs disent « une épine »).

Sans calculs nous devons utiliser les éphémérides publiées par la Société Astronomique de France.

### **Lignes d'heure biblique ( ou heures temporaires)**

[Figure 86](#)

Il s'agit d'un très ancien système d'heures. Dans ce système le jour est l'intervalle qui sépare le lever du coucher du Soleil. Chaque jour est divisé en 12 heures égales. La durée des jours variant avec la déclinaison la longueur des heures varie aussi : elles sont longues en été, courtes en hiver.

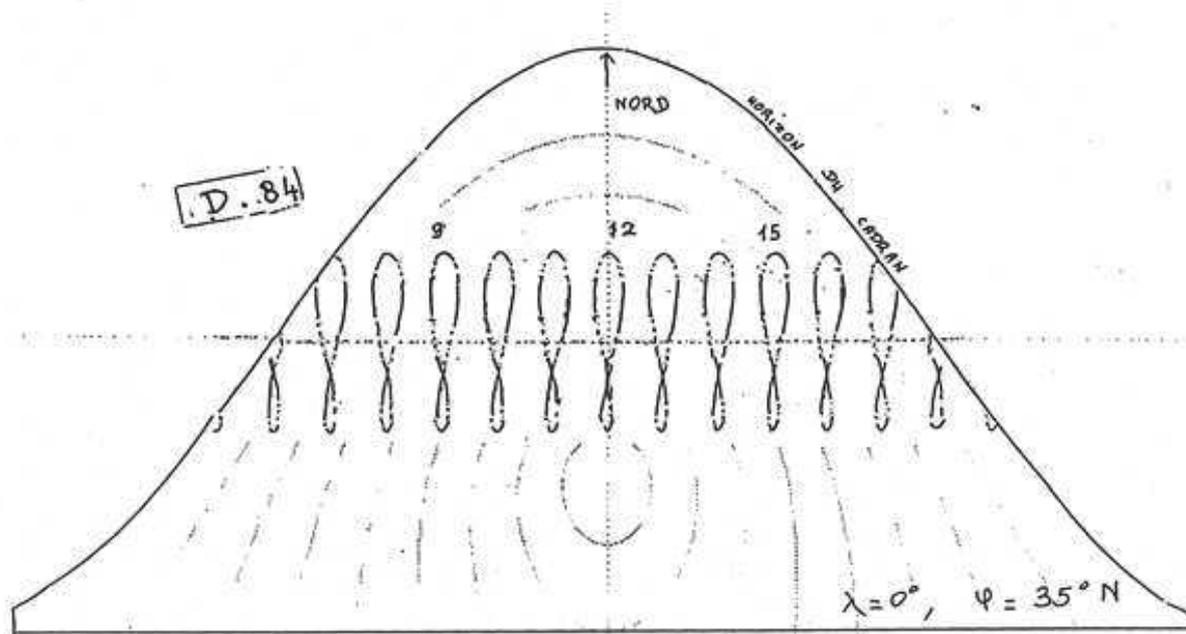
La 1<sup>re</sup> heure débute au lever du Soleil. C'est la prime. La sixième heure se termine à midi vrai. La douzième heure se termine au coucher du Soleil. Les numéros des heures sont placés entre les lignes, et les heures sont des intervalles.

Pour tracer ces lignes il suffit de diviser les lignes de déclinaison en 12 parties égales. On mesure leurs longueurs et on les divise en 12 tout simplement.

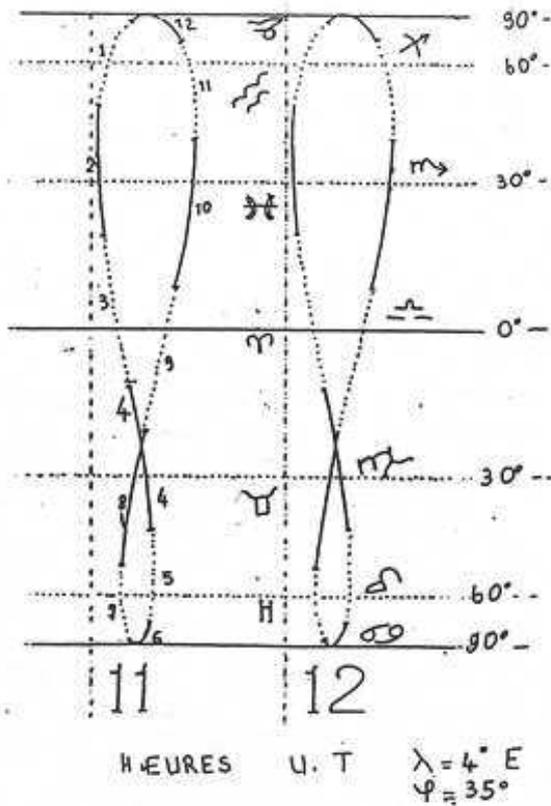
Il nous reste à joindre par une ligne continue les points de même numéro pour tracer les lignes séparatrices de ces heures

Figure 08\_04

Lignes de Temps Universel



D.85



## **Ligne du début du temps de l'ASR.**

### **Figure 08\_03, dessin 87**

Le temps de l'ASR ( on prononce a s s r r le « a » allongé sur les deux consonnes) est un temps de prière islamique qui débute au milieu de l'après midi et se termine au coucher du Soleil. Les gnomonistes considèrent qu'il débute lorsque l'ombre d'un homme est égale à « la hauteur de l'homme augmentée de la longueur de son ombre à midi » En réalité cette règle varie selon les directives locales des responsables religieux.

Si l'on désire tracer cette ligne sans calculs il faut préalablement l'obtenir sur un cadran horizontal à style droit, les lignes de déclinaison étant tracées au poncif du cadranier. Il est facile sur ce cadran d'obtenir des segments dont la longueur est « la longueur du gnomon augmentée de la longueur de son ombre à midi ». Ensuite en prenant pour centre le pied du style droit, pour rayon ce segment on cherche au compas son point d'intersection avec la ligne de déclinaison à laquelle il correspond. Ce point nous procure un angle horaire, il est le même sur tous les types de cadran.

En automatisant les calculs nous procéderions de la façon suivante :

Il faut faire une série de calculs :

Nous utilisons les déclinaisons fonction de la longitude éclipstique.

Nous calculons successivement :

La longueur de l'ombre d'un gnomon de longueur 1 à midi

Nous lui ajoutons 1

Nous calculons la hauteur du Soleil découlant de cette longueur d'ombre

Nous calculons l'angle horaire correspondant à cette hauteur et à cette déclinaison.

Nous plaçons le point obtenu sur le cadran.

Nous répétons les calculs pour toutes les longitudes éclipstiques de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$ .

## **Lignes d'azimuts et de hauteurs.**

Voir figure 08\_03, dessin 88.

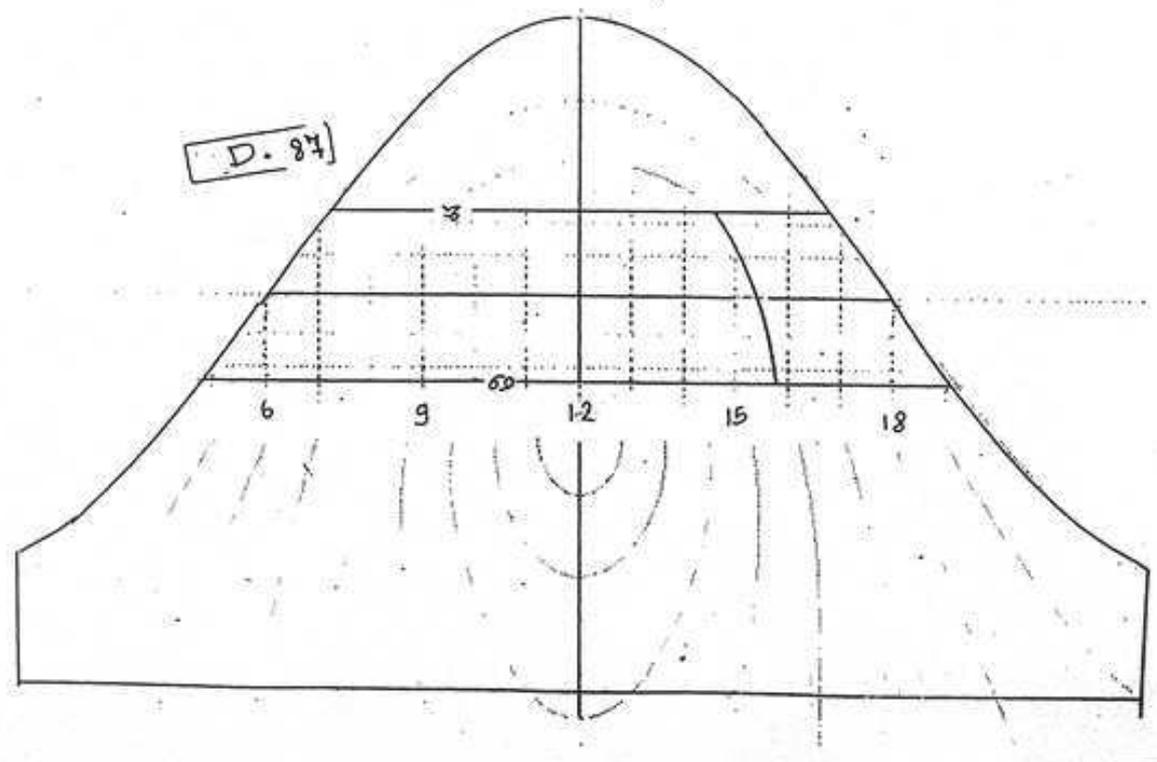
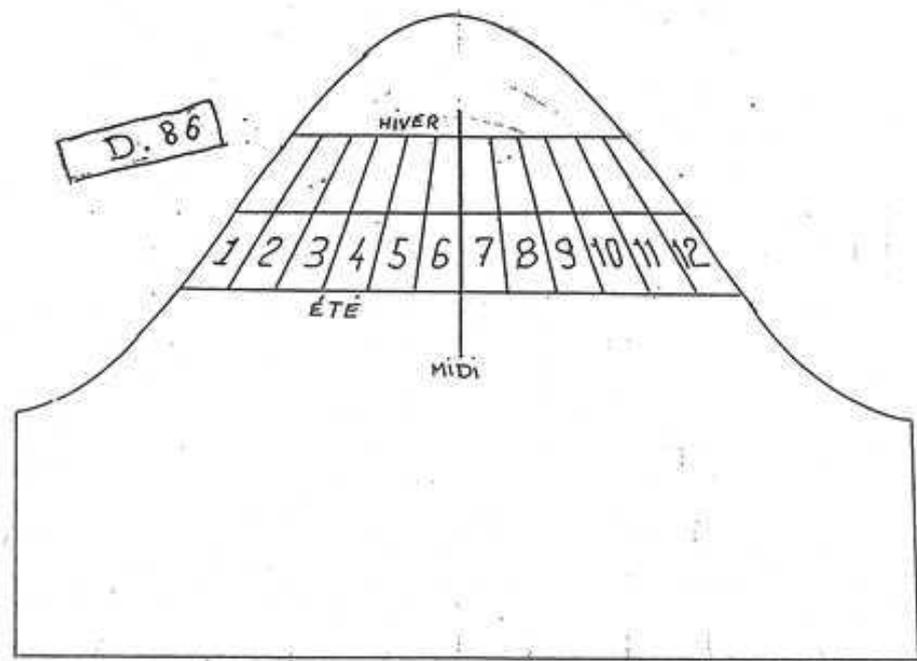
Les lignes d'azimuts sont les intersections de plans « azimutaux », verticaux, se coupant sur une ligne verticale passant par la bille du cadran.

Les lignes de hauteur sont les traces d'intersection de cônes ayant pour axe une ligne verticale passant par la bille du cadran, et pour demi –ouverture au sommet l'angle complémentaire de l'angle « hauteur ».

Nous ne décrivons pas leurs tracés par épure mais au fil tendu, sur le cadran construit. Ceci nous permettra de bien comprendre ce que sont ces lignes.

Figure 08\_05

Lignes d'heure « biblique » (D. 86)  
Ligne du début du temps de l'ASR (D. 87).



Dans la pratique ce tracé se fera par calcul. Sur l'épure :

Remonter de la hauteur (h) et l'azimut (A) à la déclinaison ( $\delta$ ) et à l'angle horaire (H) et placer les points sur l'épure.

#### Tracé au fil tendu :

Placer au niveau de l'horizon du cadran, à l'aide d'une règle, un cercle ou un rapporteur horizontal. Son centre coïncidant avec celui de l'ellipse. Il devra permettre de mesurer les angles de  $10^\circ$  en  $10^\circ$  à partir du NORD. Par son centre nous ferons passer le fil.

Sous ce disque nous monterons un demi-cercle de même diamètre, mobile, vertical, fixé par exemple, à l'aide de crochets au cercle horizontal. Ce demi-cercle pourra aussi être un rapporteur et servira à mesurer les angles « hauteur » (h) à partir de l'horizon du cadran.

A l'aide du fil nous pourrions déterminer sur la surface du cadran les emplacements des points correspondant à des azimuts et à des hauteurs que nous aurons choisis.

### **Lignes séparatrices des maisons Campanus.**

Voir figure 08\_03, dessin 89.

Les lignes séparatrices des maisons Campanus sont les intersections de plans inclinés, se coupant sur une ligne horizontale NORD / SUD passant par la bille du cadran. Il y a un plan séparateur tous les  $30^\circ$ .

Les lignes de « proclinaisons », que nous ne tracerons pas, sont les traces d'intersections de cônes ayant pour axe une ligne horizontale NORD / SUD passant par la bille du cadran, et pour demi-ouverture au sommet l'angle « proclinaison ». Leur sommet est la bille porte-ombre du cadran.

La 1<sup>re</sup> maison est l'intervalle où se trouve le Soleil juste avant son lever. Après son lever le Soleil est dans la 12<sup>e</sup> maison, puis passe dans la 11<sup>e</sup>, etc..

Nous tracerons donc les maisons de la 12<sup>e</sup> à la 7<sup>e</sup>.

Pour les tracer au fil tendu nous placerons un axe NORD / SUD dans la section horizontale du cylindre. D'une manière analogue à celle que nous avons utilisée pour tracer les hauteurs et les déclinaisons nous monterons un rapporteur vertical, contenu dans un plan EST / OUEST, dont le centre coïncidera avec celui de l'ellipse.

Contre ce disque nous monterons un demi-cercle de même diamètre, mobile, tournant autour d'un axe horizontal, fixé par exemple, à l'aide de crochets au cercle vertical. Ce demi-cercle pourra aussi être un rapporteur et servira à mesurer l'angle « proclinaison » (h) à partir du plan EST / OUEST.

En calculs automatisés nous procéderions ainsi :

Pour toutes les maisons , de 1 à 12

Pour toutes les proclinaisons de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$ , par étape de  $10^\circ$ .

Calculer la hauteur et l'azimut ( on peut utiliser les formules de Gauss).

Tester la hauteur. ( elle doit être positive)

Remonter à la déclinaison et l'angle horaire.

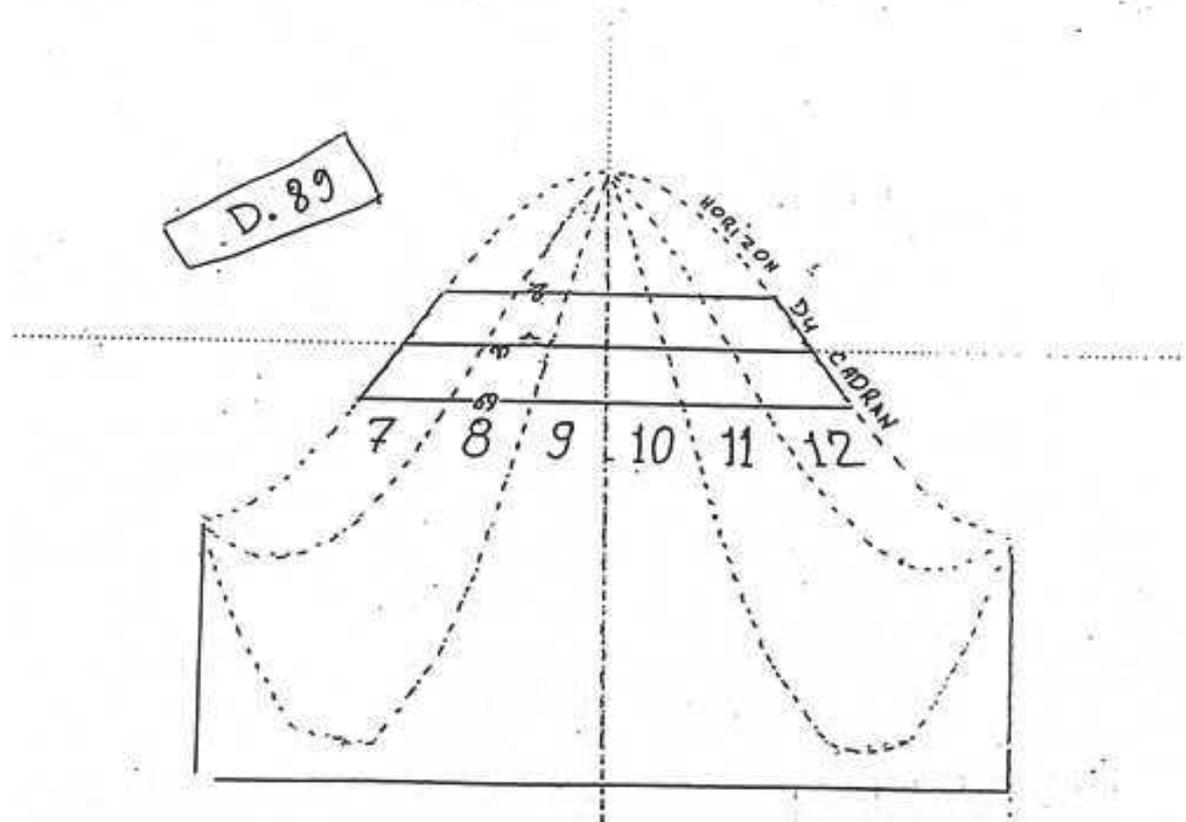
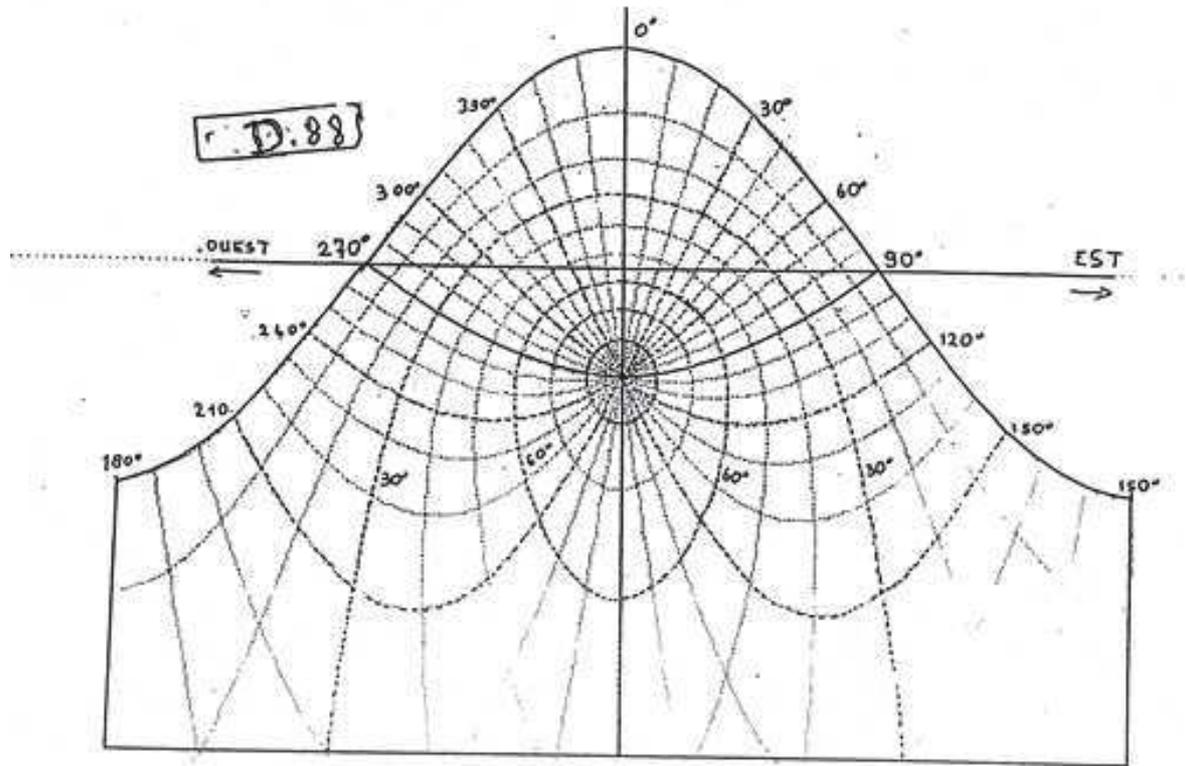
Transformer en coordonnées sur cadran.

Répéter les calculs

Cet algorithme est commun à tous les types de cadran.

Figure 08\_06

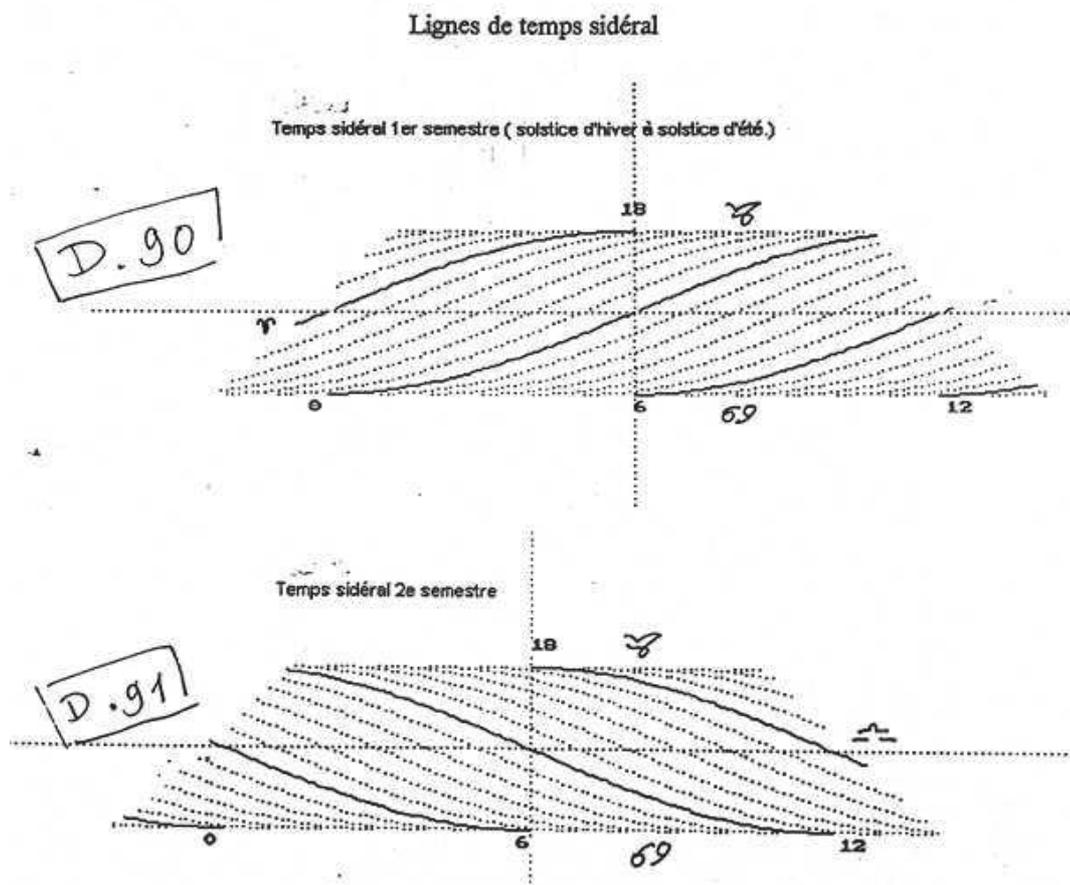
Lignes d'azimut et de hauteur, (D. 88.)  
Lignes séparatrices des maisons Campanus, (D: 89)



Le cadran scaphé cylindrique est peut être difficilement réalisable par un amateur mais il est très intéressant à étudier. Celui qui a compris ce cadran sera définitivement un gnomoniste qui aimera les lignes d'heures italiques et babyloniennes. Ces dernières sont tracées sur les cadrans muraux modernes qui décorent nos habitats. Leurs propriétaires s'en servent pour connaître le temps restant avant le coucher ou écoulé depuis le lever du Soleil. Les heures bibliques permettent de comprendre certains textes anciens.

Figure 08\_07

Lignes de temps sidéral



Fin du cadran scaphé cylindrique.

# TRAÇAGE DES LIGNES D'UN CADRAN SOLAIRE

La précision d'un cadran solaire dépend en partie de la précision géométrique obtenue lors du traçage des angles formés par les lignes horaires.

L'utilisation toujours délicate d'un rapporteur, celui-ci étant généralement petit, ne permet pas d'obtenir le tracé le plus rigoureux.

C'est pourquoi il est préférable de tracer pour chaque ligne un triangle rectangle, le plus grand possible, dont l'un des côtés est la ligne méridienne.

La mesure des longueurs est plus facile et plus précise que celle d'un angle, toujours délicate et moins commode.

Pour cela, il suffit d'utiliser une équerre et une règle plate graduée voire un double-décimètre sur lequel on peut apprécier une fraction de millimètre.

L'emploi d'un tel instrument est préférable à celui d'un mètre de qualité courante.

La méthode n'exige qu'un calcul trigonométrique élémentaire.

Il est cependant possible de l'éviter par un procédé n'utilisant que la règle graduée et un compas; la manière d'opérer peut être adaptée à la valeur de l'angle à tracer afin d'obtenir la meilleure précision possible.

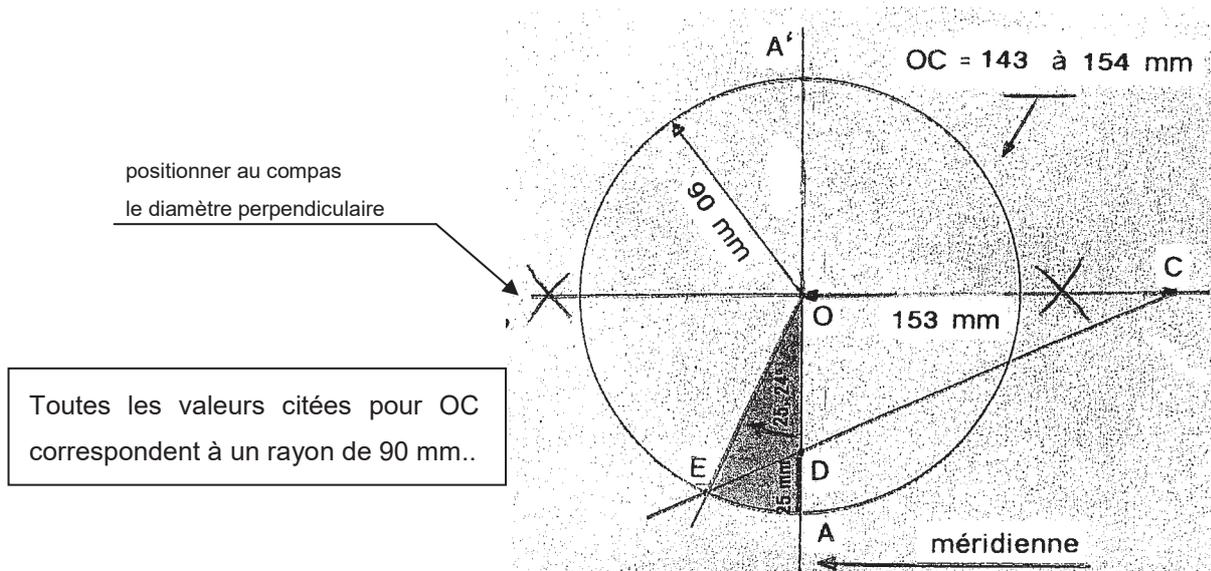
Cette précision est largement suffisante et la méthode a l'avantage d'être rapide et de permettre de tracer des angles en série.

Elle a été décrite dans la revue " Science et Vie " sous le titre " Tracer un angle sans rapporteur."

Nous indiquons ci-dessous la manière d'opérer, sans explications complémentaires :

1. En prenant le pied du style comme centre, tracer un cercle de 9 cm de rayon. La valeur du diamètre indiquée est celle de la figure, mais il est possible de choisir une valeur qui en soit un multiple afin d'accroître la précision des pointages et ainsi celle des tracés.
2. Tracer le diamètre A A' qui doit correspondre à la ligne méridienne.
3. Au compas en prenant successivement comme centres les points A et A' tracer deux cercles qui, se coupant, donneront deux points permettant de tracer un diamètre exactement perpendiculaire au précédent.
4. Prolonger le diamètre horizontal de chaque côté de telle façon qu'il mesure en tout au moins 320 mm, davantage si on a changé d'échelle.

Figure page suivante : Pour simplifier, le point C' symétrique de C n'a pas été représenté sur la figure.



5. Porter sur OC, à partir de O une longueur de 153 mm ( ou moins : voir plus loin )
6. Sur le rayon OA, à partir de A, porter en millimètres une longueur dont la valeur est celle de l'angle cherché en degrés. A cette échelle  $1^\circ = 1 \text{ mm}$ . (Sur la figure celle valeur a été choisie arbitrairement comme étant égale à  $25^\circ$ . On obtient le point D).
7. Tracer la ligne droite CD qui vient couper le cercle en E, en la prolongeant.
8. L'angle AOE correspond à l'angle recherché soit, dans ce cas,  $25,24^\circ$
9. Le report sur AO d'une série de longueurs permet d'obtenir très rapidement toute une série d'angles ; c'est l'avantage de la méthode.

L'utilisation du point C permet d'obtenir les lignes horaires du matin, celle du point C', symétrique, les lignes horaires de l'après-midi.

#### PRECISION :

La précision géométrique dépend de la longueur OC. Avec OC 153,5 mm l'erreur est inférieure à  $1/6$  ème de degré entre 45 et  $90^\circ$ , elle est inférieure à  $1/4$  de degré entre 0 et  $45^\circ$ . On peut choisir cette longueur pour un rayon de 90 mm ,

En allongeant OC on diminue l'erreur pour les petits angles mais on l'accroît pour les autres et réciproquement. Avec OC 143 mm l'erreur est de 1 minute entre 0 et  $5^\circ$  mais dépasse  $1^\circ$  au delà de  $45^\circ$ , par exemple.

La précision obtenue dépend aussi de celle du pointé ; on a donc intérêt à choisir une échelle plus grande, en doublant toutes les valeurs par exemple.

Dans tous les cas la précision est suffisante pour un cadran solaire, elle est même parfois supérieure pratiquement à celle obtenue par la méthode des triangles calculés.

Cette méthode est décrite dans la revue " SCIENCE ET VIE " N° 886 Juillet 1991 pages 42 à 47 sous le titre " Tracer un angle sans rapporteur " Le texte est disponible dans notre documentation " cadrans solaires " au siège de la SAF. ■

# LES " STYLES A POIDS "

Lors de la réunion de la Commission des cadrans solaires du 13 Octobre 2001, des diapositives montrant des cadrans verticaux piémontais dont le style souple est constitué par un fil ou une fine chaînette, ont été présentés.

Cette façon de construire un style parallèle à l'axe de la Terre a surpris car, à notre connaissance, ce type de cadran n'existe pas en France.

Les styles formés par un fil sont connus depuis longtemps puisqu'ils ont été utilisés pour les cadrans portables diptyques, pour quelques cadrans polaires ainsi que pour les rares cadrans bifilaires.

Ils présentent des avantages dont le principal est que la minceur de l'ombre projetée améliore beaucoup la précision de lecture.

Les cadrans classiques montrent une ombre assez large car les styles, constitués par une tige ou une plaque, ont généralement un diamètre ou une largeur de 8 à 12 mm parfois plus, car ils doivent être rigides, étant tenus par une seule extrémité.

Certains styles sont même beaucoup plus larges comme ceux qui sont constitués d'une pierre triangulaire que l'on rencontre parfois sur des cadrans multifaces ou horizontaux. La largeur de l'ombre est telle qu'il est parfois nécessaire de tracer deux lignes méridiennes pour utiliser successivement les deux bords de l'ombre.

Malgré leur rigidité les tiges formant les styles peuvent être pliées, le plus souvent près du pied, voire simplement déformées ce qui conduit à des lectures erronées. Le cas est très fréquent.

Cette déformation du style peut être volontaire et nombreux sont les " petits malins " parfois fort musclés qui, à plusieurs reprises, essayent de "mettre à l'heure " un cadran solaire avant de se décourager. Le grand cadran horizontal de l'église de Palavas ( Hérault ), bien que possédant un style formé d'un fer T de plusieurs centimètres de large, est caractéristique de ce fait.

Dans d'autres cas, plus nombreux, l'acte destructeur est accidentel : le style du cadran de Pierrefort ( Cantal ) a été plié par les tirs de ballons des enfants jouant sur la place et celui du très beau cadran de Névache ( Hautes-Alpes ) est régulièrement la victime du passage des charrettes de foin. La photo jointe montre le robuste tripode qui tient l'une des extrémités du fil d'un cadran à poids.

On conçoit qu'un tel système soit fort solide mais, sur plusieurs cadrans de ce type, le tripode, pour une raison d'esthétique, est assez petit étant prolongé par une tige: on perd ainsi le bénéfice de la solidité du support.

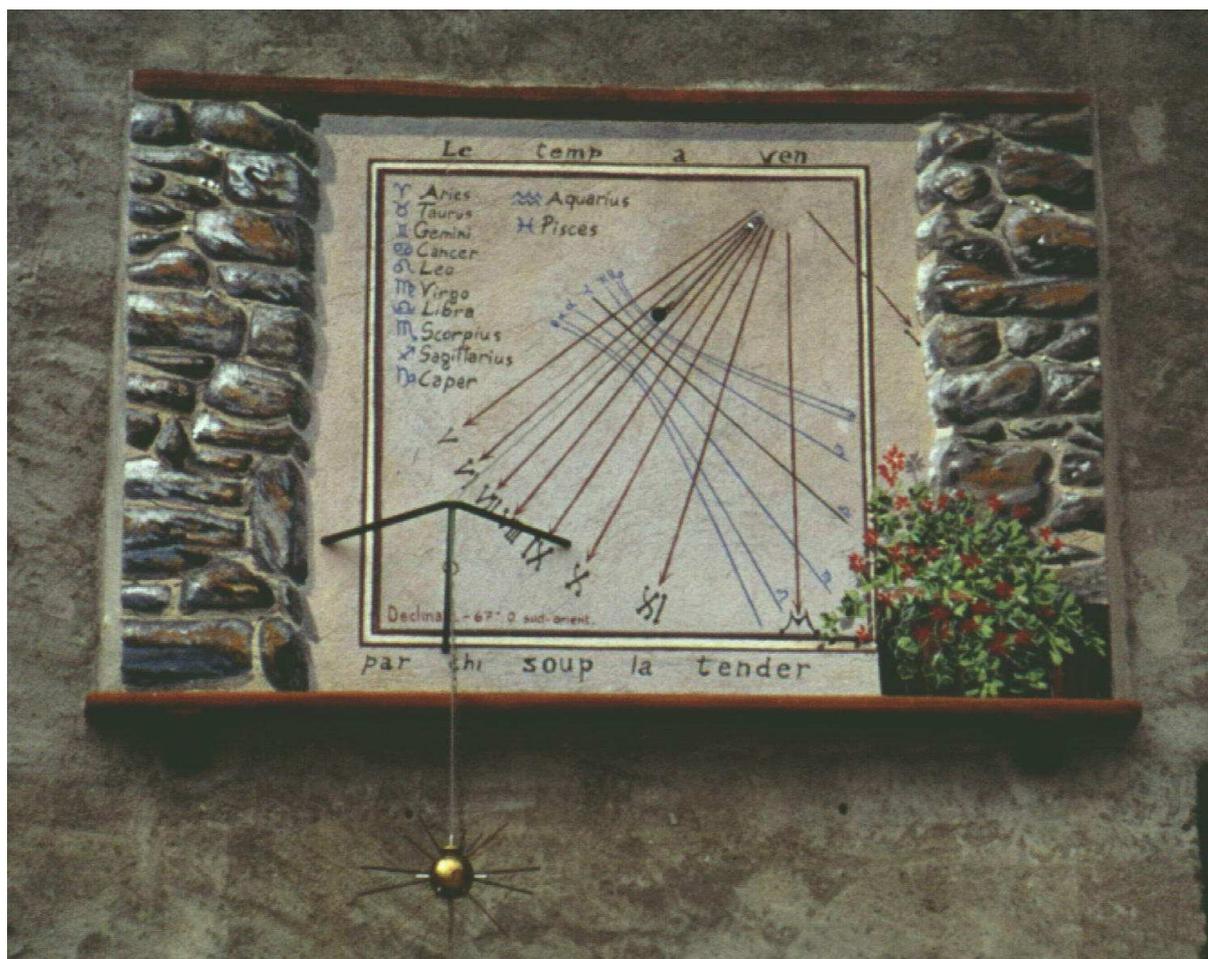


Photo : S.Grégori Eté 2001.

### CADRAN SOLAIRE A FIL :

Situé à Usseaux ( Torino ) au lieudit Balboutet.

Année de construction : 2000.

Devise : en patois dérivé du Franco-provençal.

Poids : décoratif porté par un fil et une chaînette.

Style : à fil, portant une petite boule dont l'ombre indique la date sur les arcs de déclinaison.

Tripode : facture très simple contrairement à celles des autres cadrans de ce type.

Fixation du fil : comme elle est écartée de la table, le point concourant des lignes horaires est éloigné du point d'attache.

Ce support, construit le plus souvent en fer forgé ouvragé, participe à la décoration du cadran, ainsi que le poids qui n'est pas toujours constitué par une simple boule.

A Piasco, sur un cadran daté de 1835, une flèche fixée dans la partie centrale du tripode, est parallèle à l'équateur terrestre dans un but probablement didactique.

Le style lui-même est déformable et reprend sa forme après un choc ce qui présente un avantage majeur. Il est formé d'un fil ou d'une fine chaînette voire d'un fil prolongé par une chaînette portant le poids. A Bibiano, il est même constitué par une tige assez fine mais rigide tenue à son extrémité opposée à la table par le poids. Cela montre bien que cette façon de construire a été choisie afin d'obtenir un déplacement possible sans que le style soit endommagé.

Certains cadrans possèdent une méridienne de temps moyen : dans ce cas, le fil porte une petite boule formant une ombre ou un opercule fixée sur une tige séparée comme à Bibiano,

Ces cadrans piémontais paraissent assez anciens puisque la date de 1819 a été relevée sur un cadran apparemment non restauré. L'on en construit encore, le dernier ayant été réalisé en l'an 2000, à Usseaux ( Torino ).

Sont-ils nombreux ? Selon M.Grégori, qui les a vus, ils n'existeraient qu'en Italie, dans le Sud-ouest du Piémont et seraient peu fréquents, moins de dix ayant été repérés.

Si l'on en construit, l'on pourrait remplacer le poids par un ressort placé près de la table, ressort qui pourrait être masqué par une gaine dans laquelle il couliserait.

Des cadrans particulièrement intéressants sont à :

- BARGE ( Cuneo ) : castello.
- BIBIANO ( Torino ) : piazza San Marcellino, daté 1860. Méridienne à opercule:
- CHERASCO ( Cuneo ) : torre del municipio, restauré en 2000. A chaînette.
- MONDOVI ( Cuneo ) : piazza San Pietro de 1819, restauré en 1999. A fil.
- PIASCO ( Cuneo ) : Chiesa parrocchiale, daté 1835. Porte une flèche.
- PRAGELATO ( Torino ) : à GRANGES, casa Guermani près de la Chisone, deux cadrans modernes datés 1999 et 2000.
- USSEAUX ( Torino ) à Balboutet, cadran réalisé en 2000 avec boule sur le fil.

# CADRANS SOLAIRES EPICYCLOÏDAUX OU HYPOCYCLOÏDAUX

Bernard ROUXEL

Partant du fait que les lignes horaires d'un cadran solaire tracé sur un mur nord-sud sont parallèles et inégalement réparties, on peut se demander par quoi remplacer le mur et également le style pour avoir des graduations régulières sur la surface réceptrice. Ceci peut être réalisé en utilisant des surfaces cylindriques ( $C_1$ ) et ( $C_2$ ) de génératrices parallèles à l'axe du monde, (fig. 1). Comment les choisir ? C'est en fait un problème de géométrie plane : trouver deux courbes  $C_1$  et  $C_2$  telles que  $\alpha = kt$  où  $\alpha$  est l'angle de la tangente en un point  $m_1$  de  $C_1$  avec un axe fixe  $Ox$ ,  $t$  l'abscisse curviligne sur  $C_2$  et  $k$  une constante. Ce problème de géométrie différentielle peut se résoudre à l'aide des formules de Serret-Frenet (voir les cours de Mathématiques Spéciales). On arrive à la condition

$$R^2(1 + I')^2 + I^2 = k$$

où  $R$  désigne le rayon de courbure de  $C_1$  en  $m_1$ ,  $I = m_1 m_2$  fonction de  $s$  abscisse curviligne sur  $C_1$  (figure 2).

On peut envisager différentes situations :

① Si  $C_1$  est donnée, on connaît alors  $R(s)$ , on obtient alors une équation différentielle qui donne  $I(s)$  et donc  $C_1$ .

Exemple:  $R = 0$ , d'où  $I = \text{constante}$ , on retrouve alors un cylindre et son axe (P. Bacchus m'a fait remarquer que la variable choisie  $s$  ne permet pas de retrouver la solution où la surface ( $C_1$ ) est réduite au style et où ( $C_2$ ) est un cylindre de révolution contenant le style parmi ses génératrices).

② On peut se donner  $I(s)$  arbitrairement, on obtient alors une relation entre  $R$  et  $s$ . C'est ce que l'on appelle l'équation intrinsèque de  $C_1$ . On sait (encore les cours de Mathématiques Spéciales !) que cette équation définit  $C_1$  à un déplacement près.

Exemple :  $I = k's$  ( $k's = \text{constante}$ ). L'équation devient :

$$R^2 (1 + k')^2 + k'^2 s^2 = k$$

qui rappelle l'équation intrinsèque des courbes épicycloïdales ou hypocycloïdales.

Si l'on considère, par exemple, l'astroïde (hypocycloïde à 4 rebroussements), dont l'équation intrinsèque est :  $R^2 + 4 s^2 = 9/4 a^2$  ( $a = \text{cste}$ ) et l'équation paramétrique

( $x = a \sin^3 \mu$ ,  $y = a \cos^3 \mu$ ), on trouve  $k' = -2$ , ou  $k' = -2/3$ , ce qui après calculs donne pour la courbe  $C_2$ , dans les deux cas, un cercle de rayon  $a/2$  quadritangent à ladite hypocycloïde.

③ Si  $C_2$  est donnée, on est amené à résoudre le problème suivant : trouver l'enveloppe (c'est-à-dire la courbe à laquelle les droites  $m_1 m_2$  sont tangentes) des droites  $m_1 m_2$ , telles que  $\alpha = kt$ . Si  $C_2$  est un cercle on sait que  $C_1$  est une épicycloïde ou une hypocycloïde. Si  $C_2$  est une droite, on obtient une cycloïde. Ces courbes cycloïdales permettent donc d'obtenir une grande variété de cadrans solaires nouveaux.

Ce qui précède est un peu technique, mais montre que les seules solutions simples sont à chercher parmi les courbes épicycloïdales ou hypocycloïdales. Ce qui suit donne des renseignements sur les plus simples de ces courbes.

La cardioïde est une épicycloïde à 1 rebroussement : (ce qui signifie que c'est la courbe engendrée par un point d'un cercle qui roule sans glisser sur un autre cercle de même rayon). Il se trouve que la cardioïde est aussi la caustique par réflexion d'un miroir circulaire pour un de ses points. Ce qui signifie que les rayons  $Sm_2$  après réflexion sur le cercle  $C_2$  demeurent tangents à une cardioïde ;  $S$  étant un point de  $C_2$  (fig. 3). Les relations angulaires découlant de cette propriété optique (voir les traités d'optique géométrique) montrent que l'arc  $AM$  vaut  $2 R \alpha/3$  ; quand  $x$  varie de  $O$  à  $\pi/2$  (6 h à 12 h),  $m_2$  décrit  $AB$ , les heures sont également réparties sur  $AB$  et une heure occupe un arc de  $C_2$  vu de  $O$  sous un angle de  $10^\circ$ .

Pour tracer une cardioïde, on peut utiliser un procédé qui utilise une autre propriété de cette courbe : la cardioïde est la podaire d'un cercle par rapport à l'un de ses points, ce qui signifie que si l'on abaisse d'un point  $S$  d'un cercle  $C$  les perpendiculaires aux tangentes de  $C$ , les pieds de ces perpendiculaires décrivent une cardioïde. Il suffit donc d'une équerre pour obtenir autant de points d'une cardioïde que l'on désire (fig. 4).

La néphroïde est une épicycloïde à 2 rebroussements (c'est la courbe engendrée par un point d'un cercle qui roule sans glisser sur un cercle de rayon double. C'est aussi la caustique par réflexion d'un miroir circulaire pour des rayons parallèles à  $Ox$  d'où les relations angulaires de la fig. 5. Le tracé d'une néphroïde peut se faire à l'aide de ses équations paramétriques ( $x = a \cos^3 t$ ,  $y = a/2 \sin t (2 \cos^2 t + 1)$ )

L'astroïde est une hypocycloïde à 4 rebroussements. (C'est la courbe engendrée par un point d'un cercle qui roule sans glisser dans un cercle de rayon quadruple). C'est aussi la courbe à laquelle demeure tangent un segment AB de longueur donnée, dont les extrémités A et B décrivent deux axes orthogonaux Ox et Oy (fig. 6). La représentation paramétrique d'une astroïde est  $x = a \sin^3 t$ ,  $y = a \cos^3 t$ .

Les photographies représentent deux cadrans solaires possibles utilisant deux 1/2 cercles et deux 1/2 cardioïdes pour la fig. 7, deux 1/4 de cercles et deux arcs de cardioïde pour la fig. 8 (seuls les arcs AB et A'B' sont des portions de cardioïde. Ces cadrans ont été réalisés en tôle d'aluminium ; si la réalisation des 1/2 cercles est aisée, celle des cylindres à profil de cardioïde est plus compliquée (on peut utiliser un gabarit en forme de cardioïde découpé dans du contreplaqué).

Remarques :

La surface  $C_2$  étant une portion de cylindre de révolution, on peut envisager un dispositif qui par rotation donnerait l'heure légale. Il est possible de remplacer le cylindre  $C_1$  par une plaque de forme épicycloïdale. Ainsi la figure 9 représente un cadran composé d'un cylindre  $C_2$  dont la section droite est un demi-cercle, et d'un cylindre  $C_1$  obtenu à partir d'une néphroïde(fig. 5).

A 9 heures, l'ombre de  $C_1$  sur  $C_2$  est limitée par la ligne horaire 9. Si l'on remplace  $C_1$  par une plaque perpendiculaire aux génératrices des cylindres en forme de néphroïde, l'ombre de celle-ci sur  $C_2$  sera tangente à la ligne 9. (Le point à prendre en considération sur l'ombre est celui où la tangente est parallèle aux lignes horaires).

Naturellement, on peut inverser en conservant le cylindre  $C_1$  et en remplaçant le 1/2 cercle  $C_2$  par une plaque où l'on a découpé un 1/2 cercle.

Bibliographie :

- J. HADAMARD :        Leçons de géométrie élémentaire, tome II, Paris 1949  
J. LEMAIRE :           Hypocycloïdes et épicycloïdes, Paris 1967

Bernard ROUXEL  
7, rue Saint Mathieu  
29000 QUIMPER

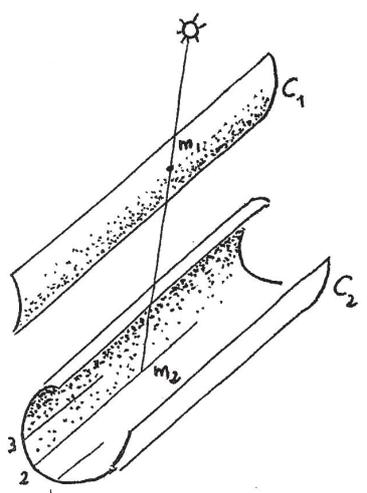


fig. 1

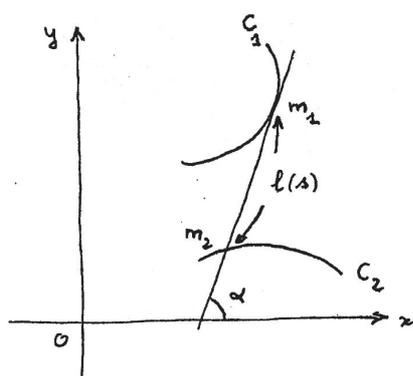


fig. 2

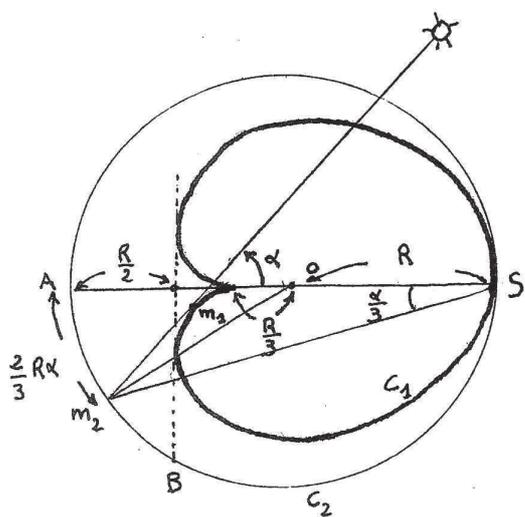


fig. 3

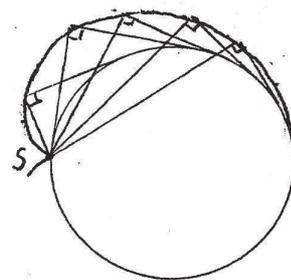


fig. 4

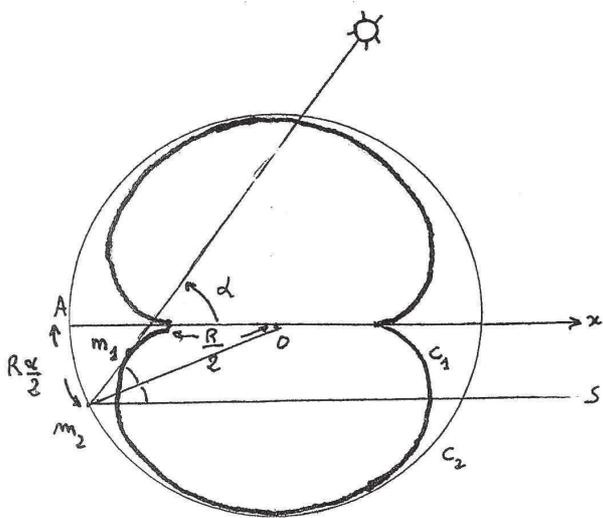


fig. 5

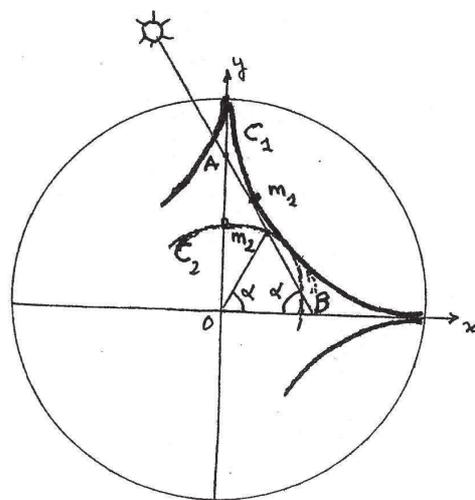


fig. 6

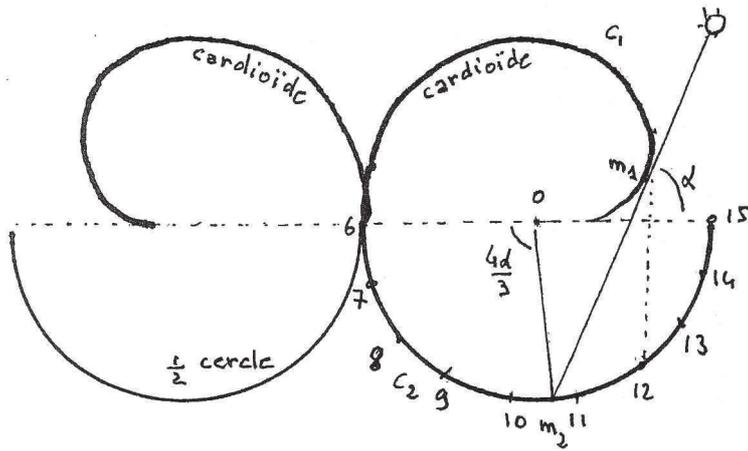


fig. 7

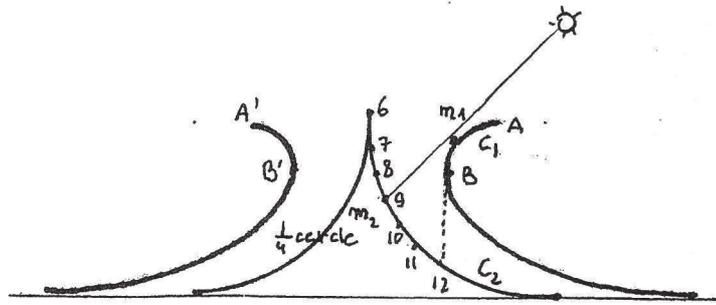


fig. 8

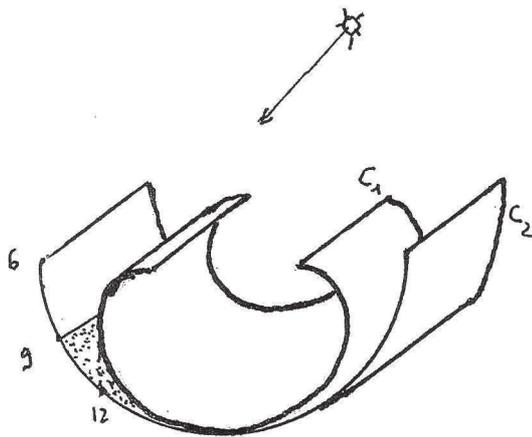


fig. 9

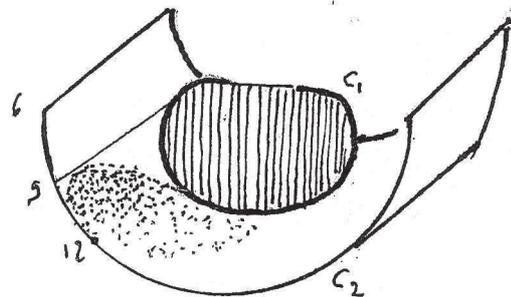
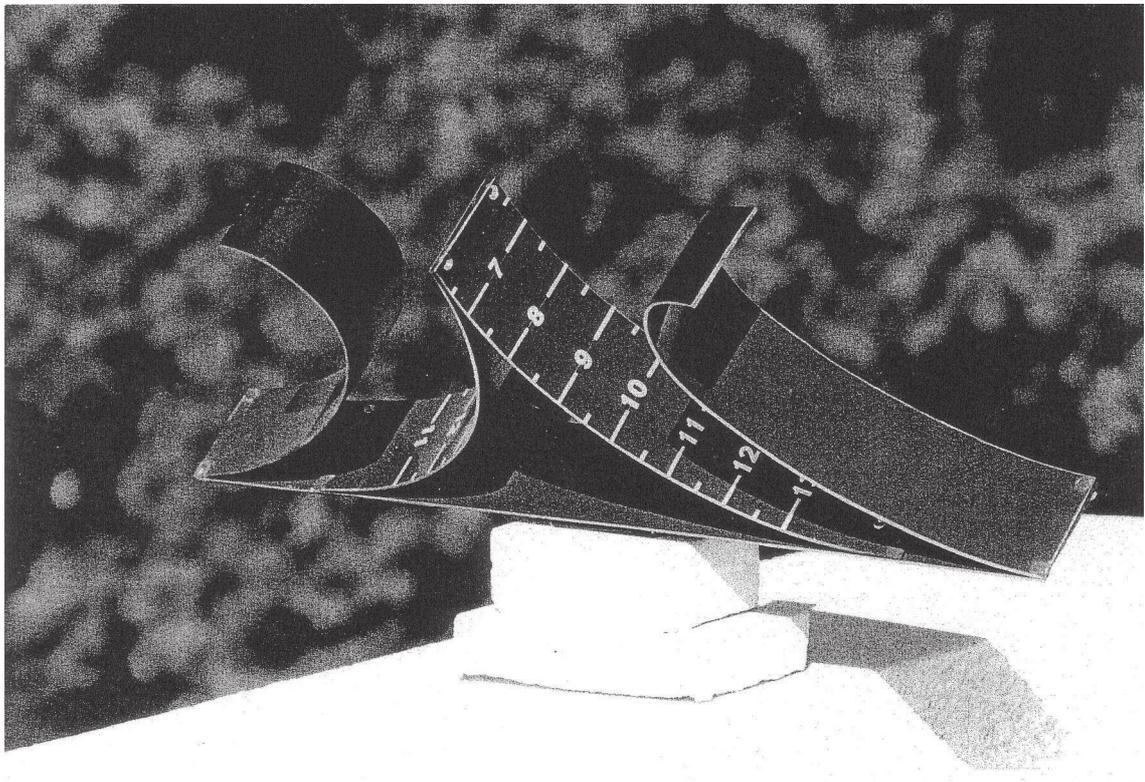
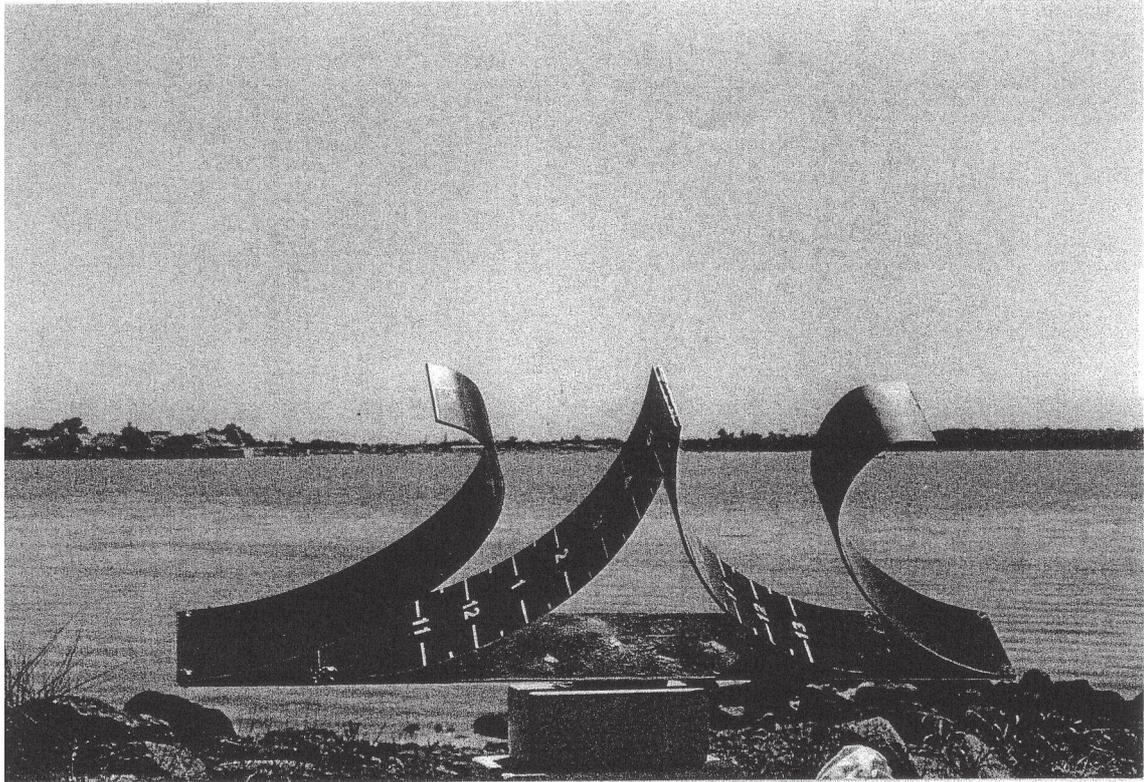
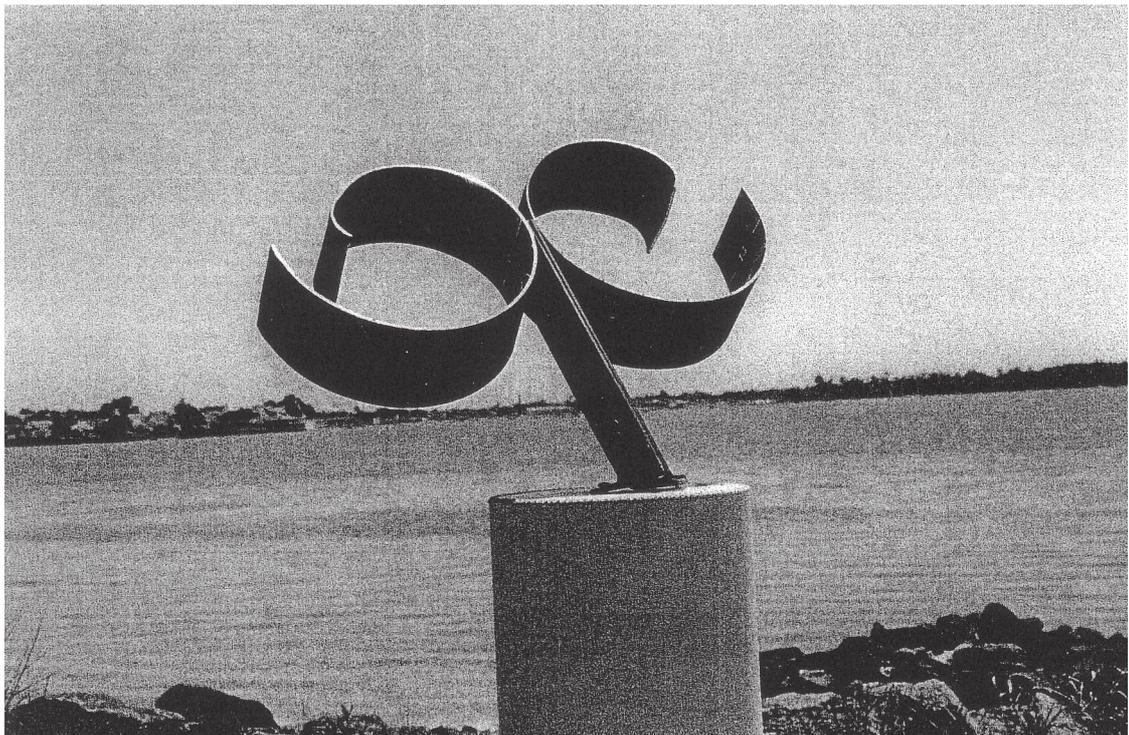
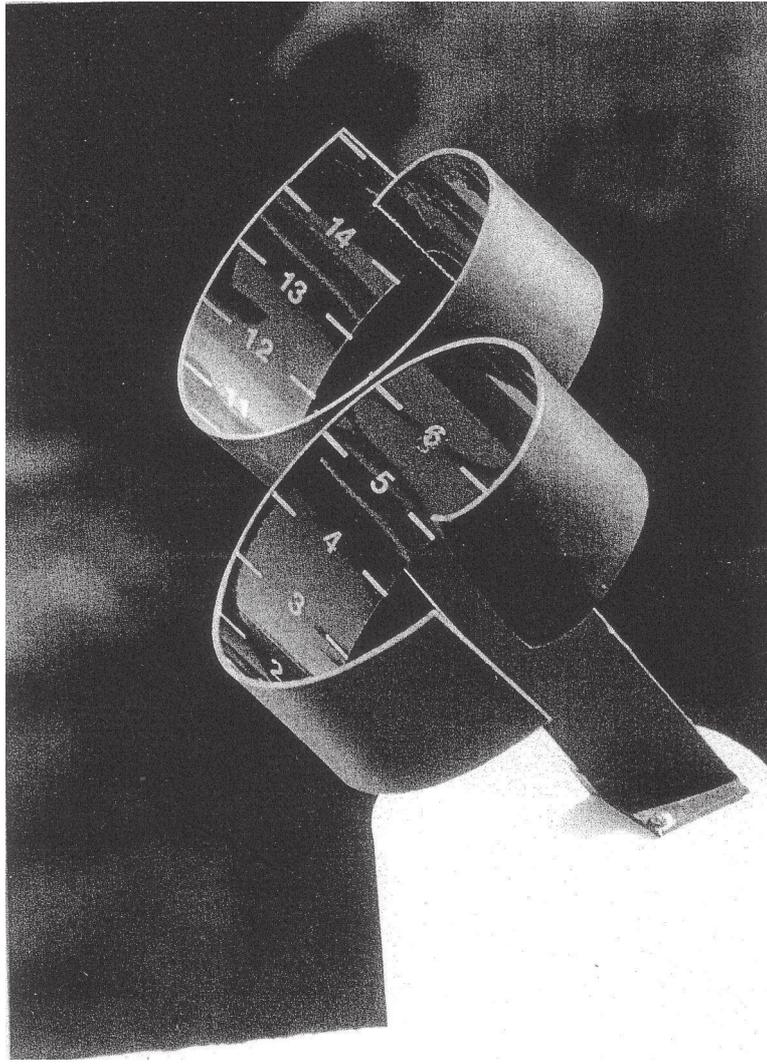


fig. 10





# Remarques sur les cadrans luni-solaires

Denis SAVOIE

Sur un cadran solaire classique, il n'est possible de lire l'heure avec la Lune que lorsque notre satellite réfléchit suffisamment la lumière du Soleil; on s'accorde pour dire que c'est possible entre le premier et le dernier quartier, soit pendant une quinzaine de jours environ. Bien entendu, on ne peut lire que certaines heures au voisinage des quartiers, alors qu'à la pleine Lune – période la plus intéressante –, on peut bénéficier de tout l'éventail horaire du cadran, surtout si ce dernier est horizontal. Faisons plusieurs remarques.

Il n'est pas inutile de préciser que lorsqu'on se sert de la Lune, le nombre XII du cadran ne représente plus midi mais minuit; de même que XI h du matin correspond à XI du soir ou 23 h.

Ce n'est pas lorsque l'ombre du style tombe sur la méridienne d'un cadran horizontal que la Lune est au plus haut dans le ciel; en d'autres termes, la culmination de la Lune ne coïncide pas avec le passage au méridien. Si un gnomoniste s'amuse à tracer le méridien du lieu en observant l'ombre d'un bâton éclairé par la Lune, il commettrait une erreur de plusieurs degrés en azimut en matérialisant l'instant où l'ombre est la plus courte !

Supposons que lors d'une nuit de pleine Lune, l'ombre du style d'un cadran solaire horizontal tombe sur la ligne "midi"; a priori, on serait tenté d'affirmer qu'il est minuit. Mais quel minuit ? Ou si l'on veut, le minuit lunaire est-il équivalent au minuit solaire ?

Prenons un exemple concret; le 24 juillet 2002, c'est la pleine Lune à 9 h 07 m UT. A Paris, elle passe donc au méridien dans la nuit du 24 au 25 juillet. Imaginons que le Soleil soit visible vers minuit; sur le cadran solaire, l'ombre tomberait sur la méridienne (donc à minuit vrai) à 1 h 57 m 8 s temps de la montre. Or avec la Lune, on constate que l'ombre tombe sur la méridienne "minuit" à 2 h 33 m temps de la montre. L'écart atteint près de 36 minutes !

Cela est dû au fait que la Lune n'est plus exactement située à l'opposé du Soleil. Il ne faut pas perdre de vue que la pleine Lune est un instant : celui où les longitudes du Soleil et de la Lune diffèrent de  $180^\circ$ , ce qui est précisément le cas le 24 juillet 2002 à 9 h 07 m UT. Dès cet instant passé, la Lune s'écarte angulairement du Soleil, de sorte qu'à 0 h 33 m UT (2 h 33 m temps légal), l'écart entre les deux astres est de  $187^\circ 33' 21''$  et non plus de  $180^\circ$  exactement.

Il s'ensuit que sans l'aide des éphémérides et du calcul, on est dans l'incapacité de convertir "l'heure lunaire" en temps légal. Certains auteurs ont imaginé différentes solutions pour palier à ce problème.

Sous le cadran de Queen's College à Cambridge, on trouve le tableau suivant :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.48	1.36	2.24	3.12	4.0	4.48	5.36	6.24	7.12	8.0	8.48	9.36	10.2 4	11.2 4	12.0
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Ce tableau suppose que l'on puisse lire l'heure avec la Lune pendant 30 jours, c'est-à-dire pendant une révolution synodique complète, ce qui est illusoire ! En gras est indiqué l'âge de la Lune et en italique une correction. Rappelons que l'âge de la Lune est le nombre de jours écoulés depuis la nouvelle Lune : au premier quartier, l'âge vaut 7, à la pleine Lune il vaut 15 et au dernier quartier 21.

Sur le tableau, on constate que la correction à apporter à l'heure lue avec l'ombre de la Lune sur le cadran augmente (ou retarde) chaque jour de 48 minutes ( $0.48 = 0 \text{ h } 48 \text{ m}$ ;  $1.36 = 1 \text{ h } 36 \text{ m}$ , etc). D'où sont issues ces 48 minutes ?

Chaque jour, l'élongation entre le Soleil et la Lune augmente en moyenne de  $12^\circ 11' 27''$  ( $360^\circ/\text{révolution synodique de } 29,530589 \text{ jours}^1$ ). Ce qui signifie que si la Lune et le Soleil moyens sont au méridien simultanément, 24 h plus tard le Soleil moyen revient au méridien mais la Lune en est encore éloignée de  $12^\circ 11' 27''$ . Si la Lune se déplaçait aussi vite que le Soleil moyen ( $15^\circ$  par heure), il lui faudrait 48 m 46 s pour revenir au méridien. Autrement dit, la Lune a parcouru en 24 heures  $347^\circ 48' 33''$  ( $360^\circ - \text{l'élongation}$ ); donc elle parcourra  $360^\circ$  en 24 h 50 m 28 s.

Le jour lunaire vrai peut s'écarter environ de  $\pm 12 \text{ min}$  du jour lunaire moyen d'un jour à l'autre. Rappelons que la variation du jour solaire n'est au maximum que de 30 secondes d'un jour à l'autre ! Cette énorme variation tient d'une part aux grandes inégalités du mouvement en longitude de la Lune, et d'autre part au fait que l'orbite lunaire est inclinée sur l'écliptique, elle même inclinée sur l'équateur. Il s'ensuit que l'angle horaire de la Lune ne varie pas de  $15^\circ$  par heure comme le Soleil, mais présente d'importantes variations.

Donc entre deux passages au méridien successifs, il s'écoule en moyenne 24 h 50 m 28 s. Dans cet intervalle, l'âge de la Lune augmente de (24 h 50 m 28 s / 24 h), soit 1,035 jour solaire moyen. Ce qui revient à dire qu'en un jour de 24 heures, le retard de la Lune est de ( $50 \text{ m } 28 \text{ s} / 1,035$ ) = 48 m 46 s quand l'âge de la Lune augmente de 1 jour.

Première remarque : en arrondissant à 48 min au lieu de 48 m 46 s, on introduit une erreur de 11 minutes à la pleine Lune et de 17 minutes au dernier quartier. Le tableau devrait être le suivant :

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
0.49	1.38	2.26	3.15	4.4	4.53	5.41	6.30	7.19	8.8	8.56	9.45	10.3	11.2	12.1
<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
13.0	13.4	14.3	15.2	16.1	17.4	17.5	18.4	19.3	20.1	21.8	21.5	22.4	23.3	24.2
	9	8	7	5		3	2	0	9		7	5	4	3

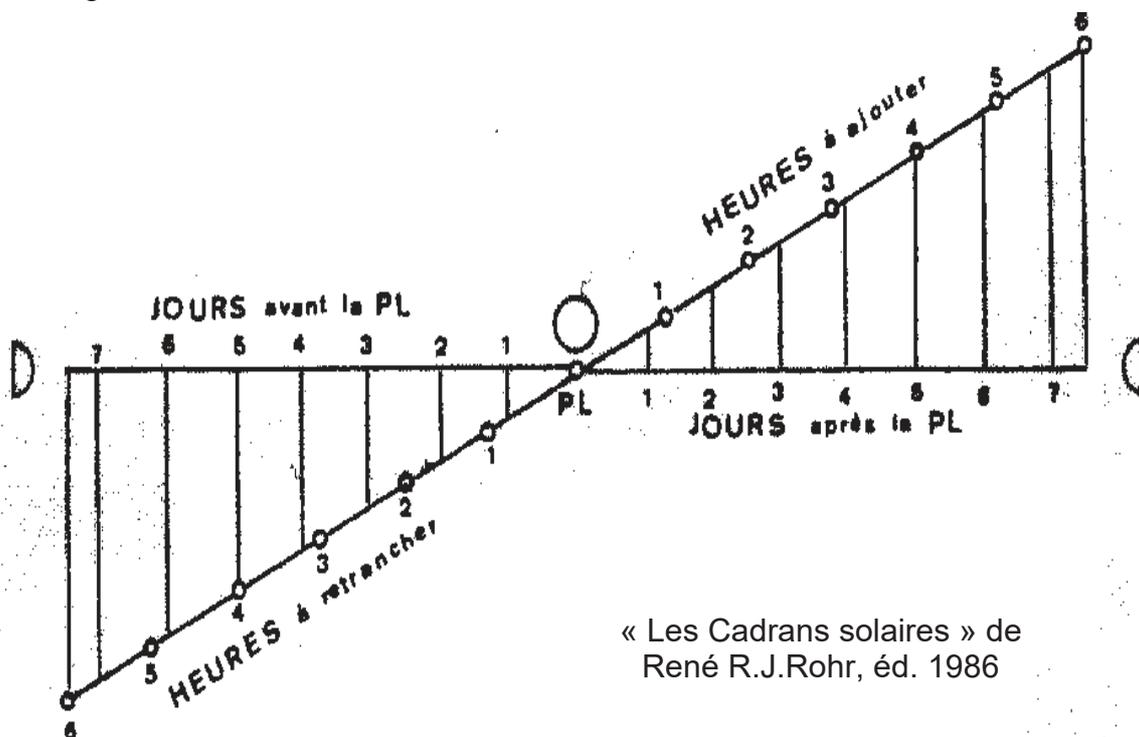
Même en tenant compte de ces nouvelles valeurs, la correction reste très approximative puisqu'elle est basée sur l'âge de la Lune. Or l'âge de la Lune s'écarte de l'âge vrai : selon que la nouvelle Lune a lieu de très bonne heure le matin ou très tard le soir, on commet une erreur de  $\pm 24 \text{ minutes}$  par rapport à une nouvelle Lune se produisant à midi. Il est d'ailleurs facile de vérifier sur les éphémérides que lorsque la Lune est nouvelle, donc en conjonction avec l'astre

<sup>1</sup>Il s'agit là de l'intervalle moyen entre deux nouvelles Lunes ou lunaison; celle-ci peut varier considérablement : entre 1900 et 2100, la plus petite lunaison dure 29 j 6 h 35 m, et la plus longue 29 j 19 h 55 m.

du jour, elle ne passe pas, – sauf exception –, au méridien en même temps que le Soleil.

Il est important de souligner encore une fois que toutes ces corrections sont basées sur une Lune moyenne. A cela s'ajoute le fait qu'il n'est pas évident, sans éphémérides ou calendrier, de connaître l'âge de la Lune toute l'année. En prenant l'exemple donné précédemment (lecture sur un cadran solaire lors de la pleine Lune du 24 juillet 2002), où l'âge de la Lune vaut 15, on devrait ajouter à l'heure lue au cadran une correction de 12 h 11 m selon le tableau rectifié, soit 0 h 11 m; or à la montre il est 0 h 36 m UT : l'erreur atteint les 25 minutes. Nous reviendrons sur ce point.

Au lieu de donner un tableau de corrections sous le cadran solaire, certains auteurs ont préféré donner une abaque; c'est le cas de Rohr dans son ouvrage sur les cadrans solaires<sup>2</sup>.



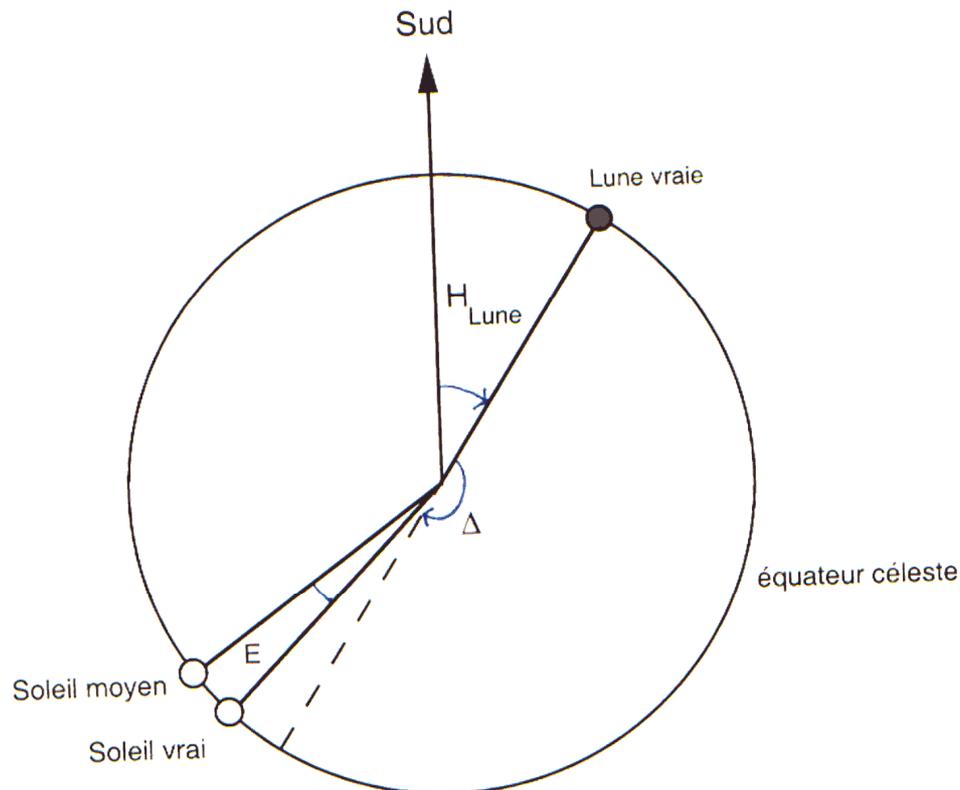
Bien que l'abaque soit limitée ici entre le premier et le dernier quartier, l'auteur arrondit la correction, comme pour le cadran de Queen's College. Or la symétrie de l'abaque engendre un écart de 17 minutes au dernier quartier, ce qui n'est pas négligeable.

La question fondamentale que l'on doit se poser est la suivante : que lit-on exactement sur un cadran solaire éclairé par la Lune ? On lit un angle horaire que l'on essaye de transformer en temps légal des montres.

Reprenons l'exemple de la pleine Lune du 25 juillet 2002; supposons que sur le cadran solaire éclairé par notre satellite, on lise 14 h, c'est-à-dire 2 h du matin, soit encore  $H = + 30^\circ$ . Quelle heure est-il à la montre ?

<sup>2</sup> Edition de 1986, page 132; dans l'édition de 1965, page 159, il y a une erreur d'inversion : au lieu de lire "heures à ajouter", il faut lire "heures à retrancher". Cette erreur est corrigée dans l'édition de 1986.

Sur la figure jointe, on a représenté la situation :



le cercle représente l'équateur céleste, vu du pôle céleste Nord, sur lequel on mesure les angles horaires. On connaît celui de la Lune ( $H = + 30^\circ$ ) et l'on cherche l'angle horaire du Soleil moyen local qu'il est facile relier par une correction en longitude au Temps Universel. On connaît également l'écart entre l'angle horaire du Soleil moyen et l'angle horaire du Soleil vrai : c'est l'équation du temps. Mais on ignore absolument la valeur de l'angle horaire du Soleil vrai. On peut supposer cependant qu'étant en période de pleine Lune et que celle-ci indique sur le cadran 14 h, il est donc au moins 12 h de plus, soit 2 h du matin temps solaire vrai, soit encore  $210^\circ$  d'angle horaire. Si on appelle  $\Delta$  l'écart angulaire entre le Soleil et la Lune, on a alors :

heure UT = heure lue au cadran +  $\Delta$  + équation du temps + longitude du lieu

Compte-tenu des paramètres précédents, il est donc en Temps Universel :

$14 \text{ h} + 12 \text{ h} + 6 \text{ m } 29 \text{ s} - 9 \text{ m } 21 \text{ s} = 1 \text{ h } 57 \text{ m}$  du matin en soustrayant 24 h du résultat.

Si on utilise une table de correction "rectifiée" en fonction de l'âge de la Lune, la correction  $\Delta$  n'est plus de 12 h mais de 12 h 11 m. Ce qui porte alors à 2 h 8 m UT le résultat. Si l'observateur possède une montre bien réglée sur le Temps Universel, il constate qu'il est en réalité 2 h 36 m UT. L'erreur atteint 28 minutes ! Elle a même augmenté par rapport à la conversion faite vers minuit !

La raison de ces écarts tient, on l'aura compris dès le début, à la quantité  $\Delta$ .

En toute rigueur,  $\Delta$  doit représenter une différence d'angles horaires; or pour des raisons pratiques évidentes, on assimile  $\Delta$  à une élongation (différence entre la longitude écliptique de la Lune et la longitude écliptique du Soleil), qui non seulement est moyenne, mais qui en plus n'est pas mesurée sur l'équateur. Or celle-ci ne vaut pas 12 h 11 m, mais 12 h 34 m. Mais même avec ce résultat, il reste toujours 5 minutes d'erreur.

Certes, la possession d'éphémérides permettrait d'obtenir un meilleur résultat; on pourrait y lire que la Lune passant au méridien de Paris à 0 h 33 m UT, il est sensiblement, deux heures plus tard, 2 h 33 m UT, soit une erreur de 3 minutes.

On s'assurera que déterminer à quel instant l'angle horaire de la Lune prend telle ou telle valeur est un exercice difficile, d'une part parce que les coordonnées de la Lune varient très vite et que l'on ne peut plus considérer, comme dans le cas du Soleil, qu'il y a une variation linéaire : l'usage de l'interpolation de Bessel est indispensable. D'autre part, l'angle horaire indiqué sur le cadran solaire est un angle horaire topocentrique et non géocentrique<sup>3</sup> : on doit corriger les coordonnées de la Lune de la parallaxe qui joue ici un rôle important.

En conséquence de quoi, on ne doit pas s'attendre à une grande précision lorsqu'on lit l'heure avec la Lune sur un cadran solaire, même en connaissant son âge.

\*\*\*\*\*

---

<sup>3</sup>A 2 h 36 m UT, l'angle horaire topocentrique de la Lune vaut 30° 5' 4", tandis que l'angle horaire géocentrique vaut 29° 45' 56".

# GNOMONIQUE SATELLITAIRE

Denis SAVOIE

Le satellite d'observation IKONOS est situé à 680 km d'altitude. Il fait un tour de la Terre en 98 minutes, à la vitesse de 7 km/s. Le 17 novembre 1999, il a photographié les trois pyramides du site de Gizeh en Egypte.

Comment, à partir de cette photo, déterminer l'heure à laquelle a été pris le cliché ?

On sait que les pyramides d'Egypte sont orientées selon les quatre points cardinaux. L'ombre de la pyramide de Cheops en particulier, présente une ombre très nette de la pointe. A l'aide d'un rapporteur, on mesure sur la photo l'angle entre la direction du Sud géographique et la direction du Soleil, c'est à-dire l'azimut du Soleil. On obtient sensiblement  $- 21^{\circ},5$  d'azimut. On sait d'autre part que les coordonnées géographiques de la pyramide sont :

latitude :  $29^{\circ} 58' 51''$   
longitude :  $- 2 \text{ h } 04 \text{ m } 36 \text{ s}$

Dans un premier temps, on détermine l'angle horaire du Soleil à partir de l'azimut, sachant que :

$$\sin \Phi \cos H - \sin H \cotan A = \cos \Phi \tan \delta$$

Il s'agit d'une équation du type  $A \cos H + B \sin H = C$  que l'on résoud à l'aide d'un angle auxiliaire. Sachant que la déclinaison du Soleil à 12 h UT le 17 novembre 1999 vaut  $- 18^{\circ} 55'$ , on obtient  $H = - 17^{\circ},724$  soit 10 h 49 m temps solaire vrai.

Pour obtenir l'heure de la prise du cliché en Temps Universel, on corrige ce résultat de l'équation du temps ( $- 15 \text{ m } 06 \text{ s}$ ) et de la longitude du lieu, ce qui donne sensiblement 8 h 30 m UT.

↑  
Sud



Dans cet article R. Soler Gayá nous présente deux exemplaires de cadrans solaires portatifs d'un type peu commun. L'originalité de ces cadrans consiste à utiliser la réfraction de la lumière à travers un matériau transparent, dans ce cas du méthacrylate, au lieu de déterminer l'heure par l'ombre d'un gnomon, comme dans les cadrans conventionnels. Pour ne pas rendre cet article trop long on abrège les calculs, on renvoi le lecteur à un des livres sur la gnomonique dont le titre est indiqué à la fin de cette page. ML

## CADRANS SOLAIRES ORTHOMERIDIONAUX<sup>1</sup> A REFRACTION

RAFAEL SOLER GAYA

On présente une suite sur la construction et la méthode de calcul des deux types de cadrans portatifs orthomérien à réfraction, construits en méthacrylate. L'un de ces cadrans a été sponsorisé conjointement par l'Autorité Portuaire des Baléares et par la Banque de Bilbao-Viscaya ; et l'autre par l'Organisation de la rencontre Gnomonique<sup>2</sup> de Majorque.

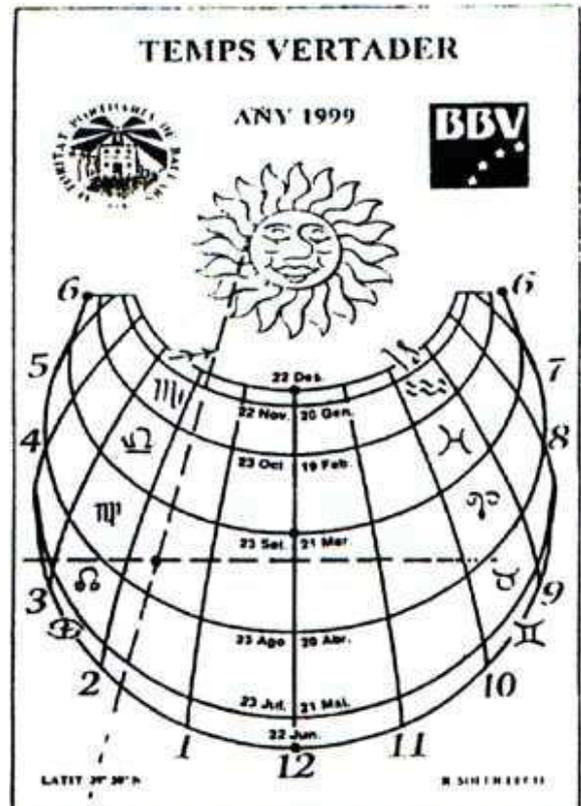
Les cadrans du premier type ont été conçus et construits pour servir de présent au personnel de l'Autorité Portuaire, et un a été remis aux assistants lors de la projection des diapositives des cadrans solaires de Madrid, à la société des Ingénieurs des Ponts & Chaussés<sup>3</sup> le 25 octobre 1999. Pareillement, les membres de la rencontre de Gnomonique de Majorque cités auparavant, le 25 avril de la même année dans Sineu, recevaient un exemplaire du second type.

D'après ce que l'on observe dans les deux figures ci-jointes, elles possèdent une facture très semblable, avec des lignes horaires de temps vrai et des arcs-diurnes qui correspondent aux jours du changement des mois zodiacaux ; le premier est incliné, avec le rapport 2 pour la base et 3 pour la hauteur et le second est vertical. Tous les deux étant calculés pour la latitude de Majorque ; mais les graduations sont utilisables sur une petite bande de latitude autour des 40° ; de ce fait ils sont auto-orientables si ont connaît la date.

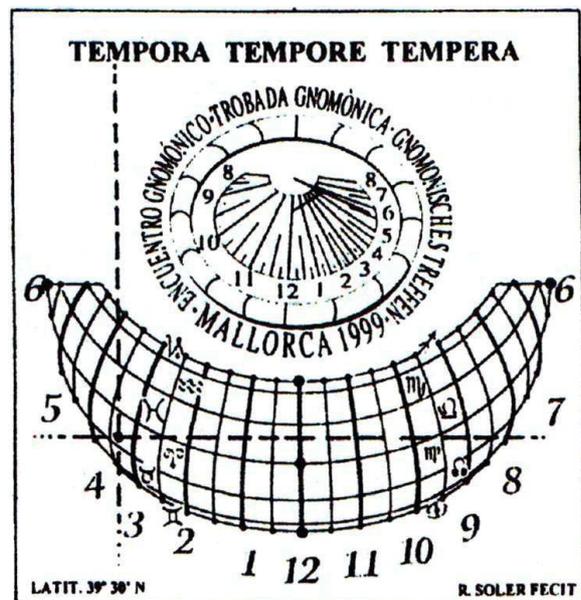
Le point de lecture vient de l'intersection de deux lignes lumineuses que retient le plan du cadran et qui proviennent de deux fentes, verticale et horizontale, dans le plan non représenté de la face opposée.

Le mode d'emploi est bien simple :

- 1- Placer la base sur un plan horizontal, avec la face du cadran opposée au soleil.
- 2- Estimer, pour la lecture de la date, la ligne virtuelle qui est considérée entre les limites des tracés du cadran pour le changement de chaque mois zodiacal, dont le signe est sur la bande correspondante (deux par



Face du cadran n°1



Face du cadran n°2

<sup>1</sup> Par orthomérien il faut comprendre qu'il s'agit de cadrans dont le plan est perpendiculaire au plan méridien avec cette particularité : la face inclinée du cadran et « éclairée » par les rayons réfractés, se doit d'être côté nord !

<sup>2</sup> Organización del Encuentro Gnomónico.

<sup>3</sup> Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

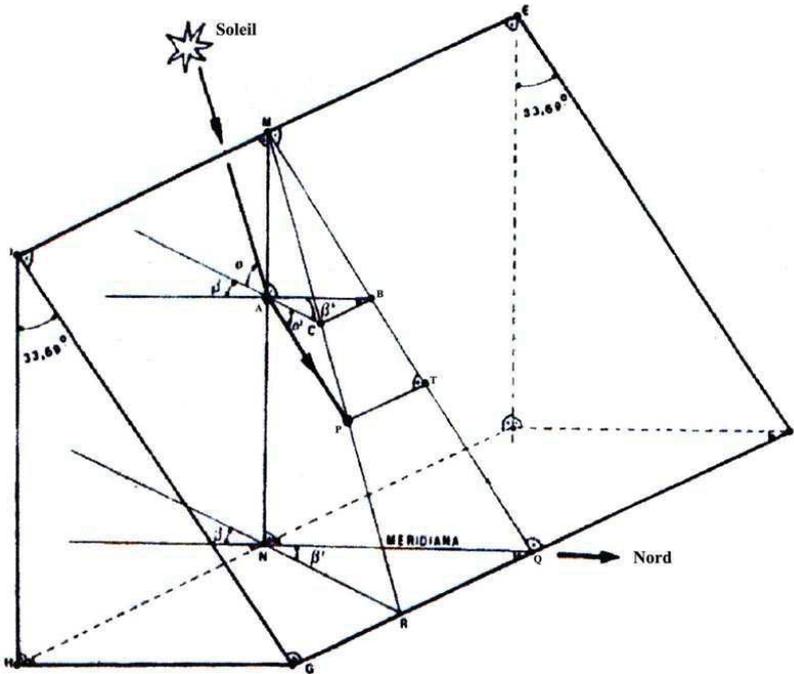
bandes)

3- Faire tourner la pièce, placer le point d'intersection des lignes réfractées sur la ligne virtuelle

4- Ainsi, le cadran indique le temps vrai local.

Les calculs pour les deux cadrans sont très similaires. On expose ensuite celui du cadran incliné, correspondant aux notations et aux références des pages du livre de l'auteur :

« *Conception et Construction des Cadrans Solaires et lunaires* », édition 1998.



Soit (voir figure) un prisme en méthacrylate (indice de réfraction  $n=1,49$ )  $DEFGH$  orienté par  $G-F$  est-ouest, en un point  $A$  de la face verticale  $DEIH$  un rayon incident se réfracte dans la direction  $AP$  en  $P$  sur la face inclinée, si  $N, M, B, T$  sont dans le plan méridien,  $H, I, F, G$  dans le plan horizontal,  $N, M, C, P, R$  dans le plan vertical qui contient le rayon réfracté et  $A, B, C$  est dans un plan horizontal passant par  $A$ . Les calculs qui suivent conduisent à un système de coordonnées cartésiennes  $x = PT$  et  $y = MT$ , avec l'origine en  $M$  que permettent tant les lignes horaires que les arcs-diurnes, adoptant comme unité de longueur la distance  $MA$ .

De l'étude de la figure et des triangles distincts qui apparaissent et avec les notations symboliques définies à la page 17 du livre cité, on en déduit :

$$\overline{AC} = \frac{\overline{AB}}{\cos \beta'}$$

et comme  $\tan 33,69^\circ = 2/3$ ,

$$\tan \sphericalangle MCA = \frac{\overline{AM}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{AM}}{\overline{AB}} \cos \beta' = \cos \beta' \times \tan \sphericalangle MBA = \cos \beta' \times \cot 33,69^\circ$$

$$\sphericalangle ACP = 180^\circ - \sphericalangle MCA \quad \sphericalangle MCA = 180^\circ - (o' + 180^\circ - \sphericalangle MCA) = \sphericalangle MCA - o'$$

$$\frac{\overline{MP}}{\sin(90^\circ + o')} = \frac{\overline{MA}}{\sin \sphericalangle MPA} \quad \text{si} \quad \overline{MA}=1$$

$$\overline{MP} = \frac{\cos o'}{\sin \sphericalangle MPA} \quad \sphericalangle MPA = \arctan \left( \frac{\cos \beta'}{\tan 33,69^\circ} \right) - o'$$

$$\sin \sphericalangle MPA = \frac{\cos \beta'}{\tan 33,69^\circ} \cos o' - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\cos^2 \beta'}{\tan^2 33,69^\circ}}} \sin o'$$

$$\overline{MP} = \frac{\cos \beta'}{\tan^{233,69^\circ} \cos \beta' - \sin \beta'} \times \sqrt{1 + \frac{\cos^2 \beta'}{\tan^{233,69^\circ}}} = \frac{\sqrt{\tan^{233,69^\circ} + \cos^2 \beta'}}{\cos \beta' - \tan \beta' \tan 33,69^\circ}$$

et quant à l'angle  $\widehat{CMB}$  :

$$\tan \widehat{CMB} = \frac{\overline{CB}}{\overline{MB}} = \frac{\overline{CB} \sin 33,69^\circ}{\overline{AB}} = \tan \beta' \sin 33,69^\circ$$

et en passant des coordonnées polaires aux coordonnées cartésiennes d'origine M et de sens positif MQ :

$$x = \overline{PT} = \overline{MP} \times \sin \widehat{CMB} \qquad y = \overline{MT} = \overline{MP} \times \cos \widehat{CMB}$$

qui nous permet de résoudre le problème posé, puis :

$$\tan \beta = \frac{\sin \varepsilon}{\sin \varphi \cos \varepsilon - \cos \varphi \tan \alpha} \quad (\text{page 41})$$

$$\tan \beta' = \frac{\sin \beta'}{\sin \beta} \tan \alpha \quad (\text{page 361})$$

$$\tan \beta' = \frac{\cos \alpha \sin \varepsilon}{\sqrt{n^2 - (\sin \varphi \sin \alpha + \cos \varphi \cos \alpha \cos \varepsilon)^2}} \times \sqrt{1 + \frac{(\sin \varphi \cos \varepsilon - \cos \varphi \tan \alpha)^2}{\sin^2 \varepsilon}} \times \frac{\sin \varphi \sin \varepsilon + \cos \varphi \cos \alpha \cos \varepsilon}{\sqrt{1 - (\sin \varphi \sin \alpha + \cos \varphi \cos \alpha \cos \varepsilon)^2}}$$

$$\tan \beta' = \frac{\cos \alpha (\sin \varphi \sin \alpha + \cos \varphi \cos \alpha \cos \varepsilon) \sqrt{\sin^2 \varepsilon + (\sin \varphi \cos \varepsilon - \cos \varphi \tan \alpha)^2}}{\sqrt{n^2 - (n^2 + 1)(\sin \varphi \sin \alpha + \cos \varphi \cos \alpha \cos \varepsilon)^2 + (\sin \varphi \sin \alpha + \cos \varphi \cos \alpha \cos \varepsilon)^4}}$$

Evidement ces calculs sont extrêmement pénibles si l'on ne requiert pas l'aide d'un ordinateur, comme cela se fait pour tracer les courbes. On omet par brièveté les tableaux de valeurs et les graphiques originaux correspondants.

Il est extrêmement important que la rugosité des surfaces du prisme soit très élevée et ceci pour deux raisons : l'une pour parvenir au maximum de contraste entre la lumière qui est filtrée par les fentes et la lumière diffusée, et l'autre parce que les hautes déclinaisons du soleil atteignent l'angle de réflexion totale du prisme, rendant cette partie polie semblable à un catadioptré, pour lequel, si les surfaces ne sont pas totalement ternies, la lumière filtrée se reflète partiellement donnant de faibles rayons lumineux ; les exemplaires cités souffrent, en partie, de cet inconvénient de défaut de précision.

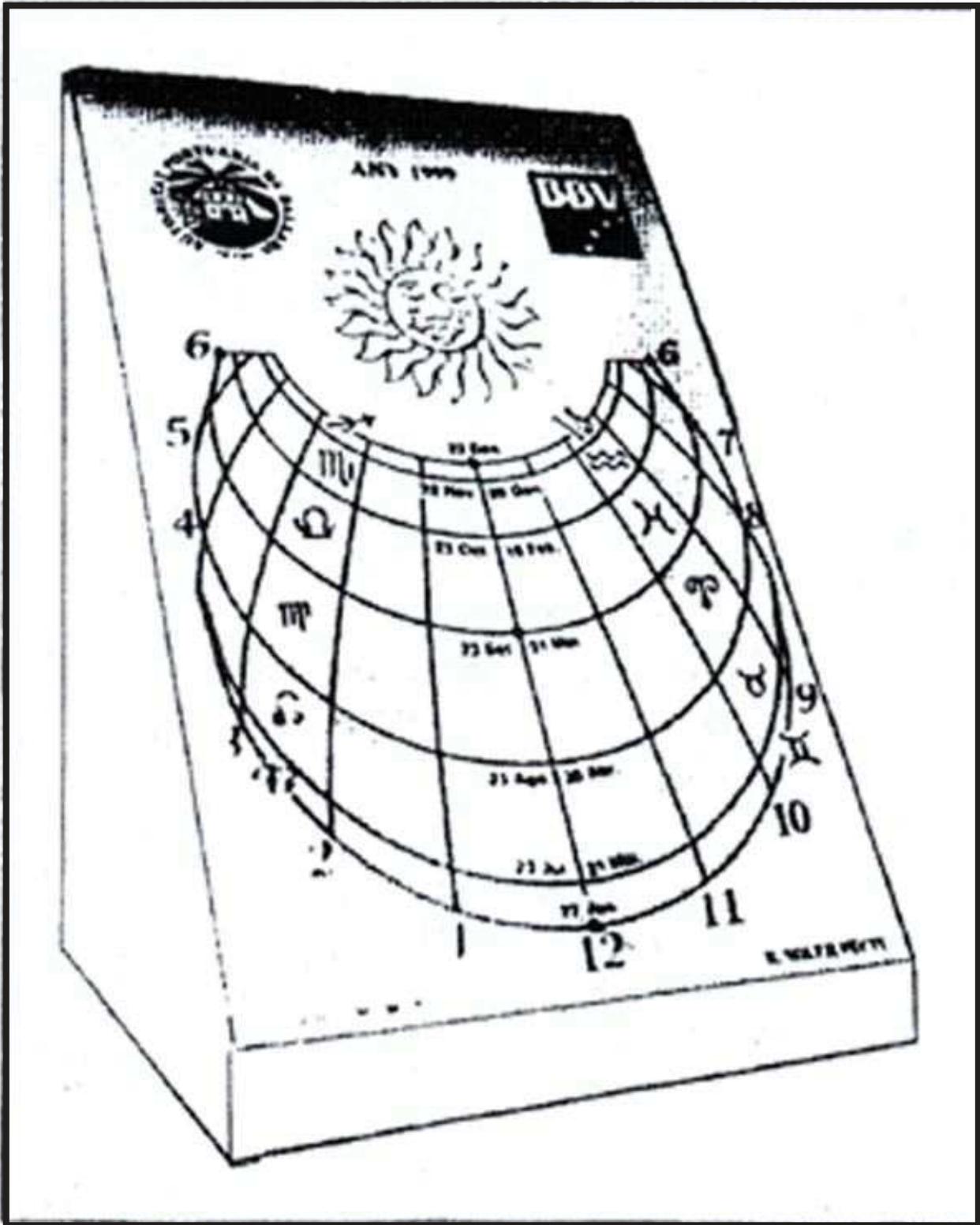
Avec l'aimable autorisation de publication de Monsieur

**Rafael Soler Gayá**

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
 Profesor Titular de Universidad en Ingeniería e  
 Infraestructura del Transporte  
 Tous y Maroto 6, 1<sup>o</sup>, 2<sup>a</sup>  
 07001 Palma de Mallorca

RAFAEL SOLER GAYA

Traduction : D. COLLIN  
 (Toutes les notes sont du  
 traducteur (NdT))  
 Février 2002.



# EXTRAIT

DES MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ D'ARCHÉOLOGIE D'AVRANCHES (tome VIII)

---

## CADRAN SIDÉRAL

### ANNEXE

## DU CADRAN ASTRONOMIQUE

### DU BOIS-ADAM

par M. Alfred de TESSON

TRÉSORIER DE LA SOCIÉTÉ

---

---

Ayant vu dans le dernier volume de nos *Mémoires* (tome VII, p. 277 à 293), la description du Cadran astronomique du Bois-Adam, M. Barbé, notaire à Brocy et collectionneur d'antiquités, s'est empressé de me faire remettre un *cadran aux étoiles* qui, étant marqué au nom de J. de Boisadam, se trouve être le complément du Cadran astronomique précité.

Ce Cadran sidéral est un petit instrument tout en cuivre. Il se compose de deux plaques circulaires superposées, de diamètres différents. Au-dessous de la grande se trouve un manche plat, et, au-dessus de la petite, une alidade. Ces quatre pièces sont réunies par un pivot autour duquel elles peuvent tourner indépendamment les unes des autres, à frottement dur.

Le grand cercle est divisé en douze parties égales représentant les douze mois de l'année, et subdivisé de cinq en cinq jours. Sur le bord se trouvent deux entailures : au 1<sup>er</sup> mars pour les Gardes de la Grande-Ourse, et, au 8 novembre environ, pour la Claire (13)



de la Petite-Ourse, époques auxquelles ces étoiles se trouvent dans le même plan horaire que le Soleil.

Le petit cercle est une roue dentée divisée en vingt-quatre parties égales ou deux fois douze heures et subdivisée en quarts d'heures. Les dents sont de trois longueurs. Les grandes sont placées aux extrémités de la ligne des douze heures, les moyennes indiquent les autres heures, les petites les quarts d'heures.

Ces deux cercles sont gradués dans le sens du mouvement apparent des étoiles, lorsqu'on fait face au pôle nord, autrement dit, en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre.

Le manche plat, fait pour tenir l'instrument à la main pendant les observations, porte une ligne médiane qui devra alors être maintenue dans le plan méridien, c'est-à-dire ne pencher ni à droite ni à gauche. Pour arriver plus facilement à ce résultat, un trou placé près du grand cercle permet de suspendre un petit fil à plomb sur lequel on se réglera.

L'alidade, qui forme rayon par un de ses côtés, dépasse de quelques centimètres le bord de la plus grande circonférence.

Le pivot, enfin, est un petit tube formant une lunette sans verre qui servira à viser l'étoile polaire. Dans cette position, le plan de l'instrument sera à peu près parallèle à l'équateur céleste.

On voit donc par le mode de construction de ce cadran que si l'on veut avoir l'heure de la nuit au moyen des Gardes de la Grande-Ourse ou de la Claire du carré de la Petite-Ourse, il faudra : 1<sup>o</sup> mouvoir le grand cercle jusqu'à ce que l'entaille qui porte le nom de l'étoile choisie pour l'observation, corresponde à la ligne médiane du manche ; 2<sup>o</sup> faire tourner avec l'ongle la petite roue jusqu'à ce qu'une des grandes dents de douze heures soit sur le quantième du mois où l'on se trouve ; viser alors l'étoile polaire, comme il vient d'être dit, en approchant le pivot de l'œil et en prenant les précautions indiquées ; enfin, mouvoir l'alidade jusqu'à ce qu'elle couvre par le côté convenable les Gardes ou la Claire. La dent qui se trouvera sous ce côté de l'alidade indiquera l'heure cherchée.

Ce petit instrument, aussi simple qu'ingénieux, théoriquement, n'est point d'un usage commode dans la pratique. Cependant, je dois dire que j'ai obtenu de bons résultats en observant la Claire du carré de la Petite-Ourse, mais de moins satisfaisants avec les Gardes de la Grande-Ourse dont les distances polaires sont plus considérables.

Notre actif et zélé correspondant, M. l'abbé Goron, vicaire de la Trinité, à Cherbourg, a eu l'amabilité de m'envoyer une petite note relative aux emblèmes religieux du cadran astronomique du Bois-Adam, construit, comme on l'a vu, par un bachelier en droit civil et en droit canon.

Il pense que ces signes sont un règlement de la journée chrétienne et qu'ils doivent s'interpréter ainsi :

Les croix à huit pointes indiquent le signe de la croix, par lequel on doit commencer et finir la journée, en récitant la prière du matin et celle du soir.

Les M doubles (Maria ou A. M., c'est à-dire *Ave Maria*), signifient l'*Angelus* du matin et du soir aux heures réglementaires de la journée liturgique.

Les H surmontées de la croix (Jésus-Christ Sauveur) indiquent : celle de neuf heures du matin, la messe représentative du sacrifice de la croix, et celle de trois heures du soir, l'heure de la mort de Jésus-Christ.

Alfred de Tesson.





# *Les cadrans solaires*

*— leur science et leur histoire —*

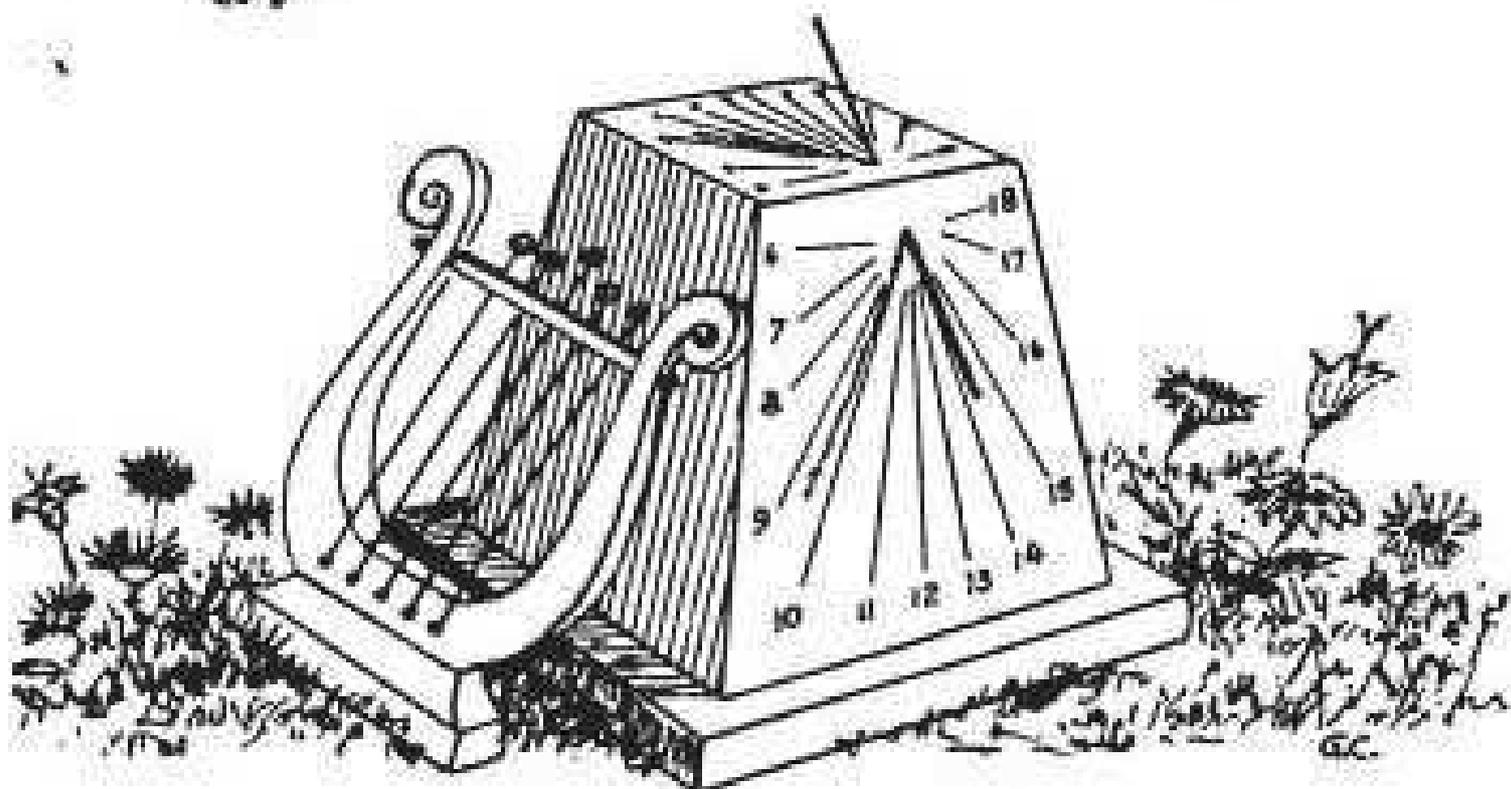
*— quand les mathématiques s'inspirent de poésie —*

*par*

***Georges Camus***

*Membre de la Commission des Cadrans Solaires  
de la Société Astronomique de France.*





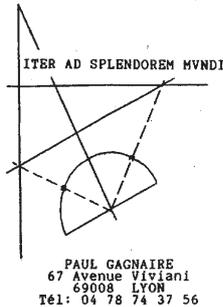
Je taquine la Muse à des moments heureux  
Quand elle est près de moi, qu'elle pose sa lyre ...  
Pour faire à cet instant un rêve merveilleux,  
Il suffit de voir sur ses lèvres un sourire !  
Mais j'ai sans doute hélas ... l'esprit bien trop volage,  
Car tel un papillon qui va de fleur en fleur,  
Je vais à chaque Muse en un vibrant hommage,  
Lui chanter sa vertu, glorifier sa splendeur.  
Ainsi pour Uranie, rêvant au firmament,  
Je cherche à découvrir le fond de son mystère,  
Parmi les étoiles je vais me promenant ...  
Et vois passer le temps sur un cadran lunaire !

Georges Camus

# Infos-échanges-bric à brac-gnomonique

## Réponse à l'énigme N°1 de CADRAN-INFO n°4:

Reconstituer la devise d'un cadran du XVIII<sup>ème</sup>, situé dans le hameau du Peuil, commune de Lans en Vercors dont seules les lettres T LENTA OM N restent visibles.



*C'est M. Gagnaire qui apporte une réponse.*

*Le T serait la finale de SIT,  
OM N serait soit OMNIBUS soit HOMINIBUS selon que l'on considère ou non l'espace entre M et N. D'ou deux propositions:*

*SIT LENTA OMNIBUS GAUDENTIBUS*

*Que l'heure passe lentement pour tous ceux qui sont dans la joie*

*SIT LENTA HOMINIBUS GAUDENTIBUS*

*Que l'heure passe lentement pour les hommes qui sont dans la joie.*

## Une méridienne est-elle un instrument astronomique?

Par M. J.Fort

Réponse à la question posée dans CADRAN-INFO N°4.

Le but de la construction des grandes méridiennes a été la mesure de l'obliquité de l'écliptique, de l'estimation de sa variation et de ses oscillations.

Certaines de celles-ci ont servi de référentiel aux longitudes telles celle de Paris pour le méridien géographique du même nom et celle de Greenwich pour le méridien origine.

Si celle de Paris montre le passage du Soleil à travers les constellations repérées par les signes du zodiaque comme de nombreuses autres méridiennes, celle de Greenwich placée à l'extérieur, n'est pas graduée.

Accessoirement, les grandes méridiennes fournissent l'instant du midi vrai.

Ce ne sont pas, comme le pensent de nombreux profanes et comme on le lit parfois dans des ouvrages, des cadrans solaires.

Seules, quelques rares méridiennes horizontales intérieures, comme celle de l'hôtel de Bauffremont à Paris, étaient utilisées pour la mise à l'heure journalière des horloges.



## Vous avez dit : "LEMNISCATE?"

Par M. J.Fort

La courbe en 8, plus grande d'un côté que de l'autre selon les saisons est parfois appelée ' LEMNISCATE ".

A titre d'exemple nous citons l'excellent article paru dans la revue " Horlogerie " sous le titre : Le cadran solaire de Brou dû à l'astronome Jérôme de Lalande ", écrit par H.Schilt.

Une courbe lemniscate est le lieu de points tels que le produit de leurs distance à deux points fixes est rigoureusement constant.Par définition une telle courbe présente des symétries par rapport à ses axes.

Ce n'est pas le cas de la courbe en 8, doublement dissymétrique.

Le terme LEMNISCATE, erroné, doit être proscrit.

## Avis de recherche publié dans "Horlogerie Ancienne", revue n°50 de novembre 2001

(information relevée par Ph. Sauvageot

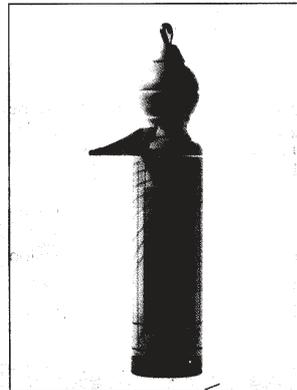
■ J'étudie depuis 1996 les montres solaires portatives de forme cylindrique, dites de berger ou de voyageur. J'ai surtout travaillé dans le Sud-ouest de la France, avec l'aide de musées, de collectionneurs et même de quelques bergers. J'ai obtenu aussi des informations auprès de plusieurs musées parisiens et britanniques. Je m'adresse, par cet appel dans la revue horlogerie ancienne, à des collectionneurs ou amateurs de cadrans solaires du Centre du Nord, de l'Est et du Sud-est de la France, ou même de l'étranger (par exemple la Suisse): Pourriez-vous m'envoyer des informations précises sur vos montres de berger de forme cylindrique, ou m'indiquer des musées possédant des collections de ces objets, ou encore me faire part d'études régionales ou autres décrivant les différents types, et traitant des époques et lieux de fabrication. Merci à l'avance de votre aide.

Paul CLARACQ à Tarbes Hautes-Pyrénées  
Écrire à l'A.F.A.H.A.

La photo représente un de ces cadrans de bergers cylindrique, cet objet fut offert à tous les adhérents lors de la création de L'A.F.A.H.A. en 1976.

Nombre d'entres vous doivent s'en souvenir et peut-être possèdent-ils encore une petite notice d'utilisation qui fut offerte avec... Nous pourrions la reproduire pour les amis que cela intéresse...

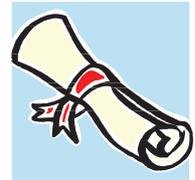
Merci



## Les gagnants du concours n° VII

### "LE OMBRE DEL TEMPO"

(information de P J Dallet et B. Rouxel, décembre 2001)



\* 1<sup>er</sup>, Bernard Rouxel (Quimper) pour un cadran à surfaces cylindriques et épicycloïdes, installé à l'Ile Tudy. (Un article dans Ouest France a associé cette nouvelle et un article sur le passage à l'heure d'été).

\* Note spéciale "amateurs":

- Pierre Joseph Dallet (Ussel) pour une collection privée de 27 cadrans.
- Jean Pakhomoff (Marseille) pour les cadrans du cimetière Saint Pierre de Marseille.

\* Note spéciale "professionnels": Jean Michel Ansel (St. Georges le Gauthier), pour un cadran hélicoïdal.

Le prochain concours aura lieu le 30 juin 2003. Les documents pour participation doivent être adressés à:

Centro Studi e Ricerche Serafino Zani

Via Bosca 24 - CP 104

25 066 Lumezzane (Brescia) tél: 30 87 21 64, fax 30 87 25 45

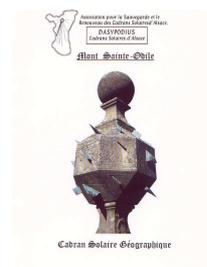
## Des livres et des revues:

■ Une revue niçoise consacrée aux cadrans solaires de la région. Il s'agit de la revue "Nice Hiostorique" n° 22000, dont le titre est "Cadrans solaire du pays niçois". On peut se procurer cette revue auprès de son éditeur "L'Académia Nissarda", villa Masséna, 65, rue de France 06 000 NICE. (information de M. Labaye janvier 2002). La revue est consultable à la bibliothèque de la SAF



■ "De temps en Temps", histoire de calendrier, chez Tallandier. 160 pages consacrées aux calendriers avec dans le chapitre 1<sup>er</sup>, évocation des cadrans solaires et 2 photos couleurs. (informations origines diverses)

■ Un livret de 35 pages décrivant le cadran du mont sainte-Odile, disponible à la Communauté religieuse du mont Sainte-Odile. Association DASYPODIUS-Cadrans-Solaires d'Alsace.



■ et bien sûr... se reporter aux bibliographies de Madame A. Gotteland.

## Quelques Sites internet

- Cadrons solaires d'Espagne:
  - ° Présentation et photos d'un cadran bifilaire:  
<http://webs.demasiado.com/andana/cajun01.htm>
  - ° Présentation et photos d'un cadran multiface:  
<http://webs.demasiado.com/andana/caf01.htm>
  - ° Photos de cadrans de la région de Murcia:  
<http://webs.ono.com/usr002/andana>  
(informations de M<sup>elle</sup> N. Marquet)
- Cadrons solaires sur internet, site catalogué BBC Education:
  - ° <http://www.sundials.co.uk/indexfr.htm>
- Cadrons du Doubs:
  - ° <http://web.synapse-dev.fr/frb/sundials/fr/fcomte.htm>
- Cadrons solaires du Québec:
  - ° [http://cadrans\\_solaires.scg.ulaval.ca/cadransolaire/reperto.htm](http://cadrans_solaires.scg.ulaval.ca/cadransolaire/reperto.htm)
- Cadrons solaires anciens des Hautes-Alpes:
  - ° [http://atelier\\_tournesol.free.fr/cart105.htm](http://atelier_tournesol.free.fr/cart105.htm)
- Comprendre le fonctionnement des cadrans solaires:
  - ° <http://www.upmf-grenoble.fr/%7Eagueda/cadsol/cadsol.htm>
- Cadrons solaires sur lycée à Vaulx-en-Velin:
  - ° <http://holme.worldnet.fr/%7Egavot/est/e3.html>
- Divers types de cadrans solaires:
  - ° [http://mtn.ac-montpellier.fr/Pedagogie/disciplines/scphysiques/Nef\\_Solaire/types\\_cadran.htm](http://mtn.ac-montpellier.fr/Pedagogie/disciplines/scphysiques/Nef_Solaire/types_cadran.htm)
- A l'heure des cadrans solaires à Saint-Hippolyte:
  - ° <http://sainthippolyte.multimania.com/cadrans.htm>
- Les cadrans solaires du calaisis:
  - ° <http://site.voilà.fr/gnomonique/page5.htm>  
(informations d'origines diverses, prises au hasard, sans garantie, sans publicité)
- Une ouverture sur 360 sites gnomoniques européens:
  - ° <http://www.infraroth.de/sinks.html>  
(informations de M Serge Grégori)



Merci à Karl Schwarzingger pour l'envoi ! voici le dernier timbre de gnomonique, il arrive tout droit de Lituanie,

Jean Michel Ansel

# BIBLIOGRAPHIE point à janvier 2002

Andrée Gotteland

Appel

Appel à tous ceux qui ont des articles ou livres à signaler aux membres de la Commission.

L'Astronomie, Vol. 115, juillet/août 2001

A. Ph, Segonds, Tycho Brahé et la naissance de l'observation, p. 358-369, 14 fig

## Livres

- ° Denis Savoie, La gnomonique, Les Belles Lettres, 2001
- ° Andrée Gotteland, Cadrons solaires et méridiennes disparus de Paris, Editions du CNRS, 2002 (à paraître)

## Télévision

- ° Le temps vite : les calendriers, la mesure du temps, Jean-Paul Fargier, Paris Première, janvier 2000
- ° Les gardiens du temps, Les documents du dimanche, document de Martin Messonnier, 1997, images de Christophe Petit, dimanche 30 décembre 2001, à 23 h 45, fig. dans "Télé-7 jours" d'un cadran solaire, avec le titre : "Dans nombre de pays, rythmés par la Lune, le cadran solaire est caduc".

## Reuves

- ° Horlogerie ancienne, n° 49, 1er semestre 2001
  - Yves Droz et Joseph Florès, Le Temps et sa mesure, p. 52, 99 figures de timbres
  - Pierre Guérin et André Thiry, Horloge astronomique liégeoise dans le bureau du roi d'Espagne, p. 65, 6 fig
  - Philatélie et mesure du Temps, p. 165
- ° Horlogerie ancienne, n° 50, 2ème semestre 2001
  - Jean-Claude Nicolet, Horloge astronomique modulaire, p. 26
  - Jean Laviolette, Suite de l'histoire sur le Temps, p; 153, Fig. 27
- ° Horlogerie ancienne et d'Art, n° 90, Printemps 2001
  - Paul Gagnaire et Henri-Jean Morel, Astrolabe et horloges astrolabiques. L'astrolabe de l'horloge astronomique de la cathédrale Saint-Jean à Lyon, p. 61, Fig. 9
  - Paul Réal, Réplique au quart de l'horloge astronomique de la primale Saint-Jean de Lyon, p. 75, Fig. 7
- ° Horlogerie ancienne et d'Art, n° 91, Eté 2001
  - Paul Réal, Inauguration de la maquette au quart de l'Horloge astronomique de la cathédrale de Lyon avant son départ pour le Japon, p; 69, Fig. 10
- ° Horlogerie ancienne et d'Art, n° 92, Hiver 2001
  - Marcel Gay, avec la collaboration de Michel Rivière pour l'iconographie et Paul Gagnaire pour les commentaires gnomoniques, Cadrons solaires en Bochaine,
    - 1 - Cadran solaire de la Beaume,
    - 2 - La borne du col de Cabre (pouvant servir de cadran solaire),
    - 3 - Cadran de la maison forestière de Durbon,
    - 4 - La méridienne de l'école de Serre
    - 5 - Cadran de la Mairie d'Aspres-sur Buesch
    - 6 - Autres cadrons répertoriés : à Montjay, Sainte Colombe, Rosans, Fig. .18 et photo, en couleur sur la 2ème page de couverture, du cadran solaire de la Beaume, Cliché pris au télé-objectif par M. Rivière, le 12 août 2001, à 2 heures solaires de l'après-midi, soit 15 minutes légales, p. 62
- ° Bulletin -The British Sundial Society - Volume 13(ii) - juin 2001
  - Michael Lowne, The design and characteristics of the double-horizontal sundial, -. 47
  - John Davis, A pocket gnomon protractor, p. 56, fig.8
  - David Young, A brief history of the british sundial society, p. 58, fig. 2
  - Tony Kitto, Richard Towneley and the equation of natural days, p. 60, fig. 1
  - Andrew McVean, Uttoxeter millenium monument, p.65, fig.3
  - Mike Shaw, A remote reading sundial using fibre optics, p. 67, fig. 4
  - Sween Olof Larsson, A stardial, p. 73, fig.6
  - Michael Hickman, From waugh to weir : easy analemmatics; p. 77, fig. 1
  - Mike Cowham, Dating a sundial by calendar change, p. 79, fig.4
  - John Foad, The laid dial and the rain dial, p. 82, fig. 4

- W.S. Maddux, Finding a north-south line, p. 83, fig. 2
- Tony Belk, The Stereographic projection as a graphical method for designing sundials, Part I, : horizontal and south facing vertical sundials, p. 85, fig.7
- ° Bulletin -The British Sundial Society - Volume 13(ii)-mars 2001
  - Harriet Wynter, A brief history of the measurement of time, Part 1, p. 3, 3 fig.
  - Ray Ashley & John Moir, The Horniman museum reflecting ceiling dial, p. 9, 9 fig.
  - John S. Reid, Kings's College Chapel Sundial, Aberdeen, p. 13, 2 fig.
  - A. Capon, What's the angle ? p. 15, 3 fig.
  - Frank King, The Pembroke college wall dial, p. 16, 4 fig
  - A.F. Baigent, The glossary and the gnomonic novice, p. 25,.
  - Allan A. Mills, An easely made horizontal garden sundial, p. 32, 3 fig.
  - Mike Cowham, Dial dealings, p; 34, 7 fig
  - Simon Fry, A mosaic sundial for Ebrington, Gloucestershire, p. 38, 8 fig.
  - Donald J. Bush, Millenium als fot Nottinghamshire schools, p. 41, 2 fig.
  - Margaret Stanier, The "universal equinoctial" sundials, the BSS Emblem; p. 42, 4 fig.
- ° Bulletin -The British Sundial Society - Volume 13 (iv) - décembre 2001
  - Mike Cowham, Counting the Hours, p. 135, Fig. 7
  - Michael Lowne, The design and characteristics of the double-horizontal dial, p. 138, 8 Fig
  - Don Petrie, Wales, 2001, p.147, 9 fig.
  - John Davis and Michael Lowne, The "Bacon" double horizontal Sundials, p. 160, 5 fig.
  - David Lewitt, Three Jersey Sundials, p. 1666, 3 fig.
  - John Wall, Raiway Time (2), p. 169, 2 fig.
  - Andrew James, Mortar for a vertical sundial a seventeenth century recipe, p. 171, 2 fig.
- ° Gnomonica, Bollettino della Sezione Quadranti Solari, U.A.I. n° 8, Janvier 2001
  - R. Anselmi, Gli orologi conici ad angolo orario, p. 34, 5 fig

2- Cintio, Calcoli per un orologio solare, p. 6, 2 fig

N. Severino, Cristoforo Clavio, la vita, le opere, p. 10,

B. Gunella, Studio comparato sul comportamento e sulla psicologia dello gnomonista medio, p. 15,

N. Severino, Le meridiane di Giacomo Brindicci Bonzani, p. 16, 1 fig

A.Gunella - M.Valdes, Sul disegno dell'orologio orizzontale Euphorus di Aquileia, p. 19

G. Mesturini, Due meridiane del 1754 a Casale Monferrato, p. 21, 3 fig

P. Auber, La grande meridiana a camera oscura dell'Edificio di Borsa a Trieste, p. 26,9 fig

E. Del Favero, Le ore di un quadrante che non c'è più, p; 46, 2 fig

M. Arnaldi, Divertissements, la gnomonica illustrata nelle lettere capitali del Rinascimento, p. 55, 11 fig

Gnomonica, Bollettino della Sezione Quadranti Solari, U.A.I. N° 9 - Mai 2001

F. Savian, Località e quadranti equivalenti p. 6, 7 fig

R. Anselmi, Lo stilo conico, p. 14, 6 fig

G. Agnelli, Meridiane-orologio solare sul campanetto dell'oratorio di Carcina, p. 19, 1 fig

S. Magnani, Orologio solare a riflessione ad "asta oscurante", p. 22, 6 fig

3- Gunella, La geometria dell' orologio italico orizzontale, p; 27, 6 fig

C. Gaspani, L'astronomia dei monachi irlandesi, p.31

Giacomo Bonzani, La meridiana dei partigiani, p. 45, 1 fig

C. Valdameri, Il cosmo redento nell'iconografia degli antichi orologi solari Šp. 47, 9 fig

S. Bianchi, Un artista del temps in Cavanese, p. 53, 2 fig

The Compendium, Journal of the North American Sundial Society, Vol. 8, N° 1, mars 2001

Keijo Ruohonen, Sundials and Mathematical Surfaces, p. 7, 20 fig

John Miir, The Rainbow Sundial - Nature's Own Water Clock, p.13, 5 fig

The Compendium, Journal of the North American Sundial Society, Vol. 8, N° 2, juin 2001

Jan Mahaffey, Wheatstone's Polarizing Sundials, p. 1, 4 fig

Rolf Wieland, Quiz : Rolfs Nails, p. 4, 6 fig

J.L. Berggren, Sundials in Medieval Islamic Science and Civilization, p. 8, 5 fig

Ing. Gianni Ferrari, The Universal Sundials of ancient Islam,, p. 15, 9 fig

René J. Vinck, (Belgique), Another Latitude-Independant Sundial, p. 22, 4 fig

Claude Hartmann, A column for the novice written by a novice, p. 24-25, 1 fig

Claude Hartmann, Sundial Construction with Little Math, p; 25, 5 fig

Fred Sawyer, Foster's Proof For Dialing Scales, p. 28, 5 fig

The Compendium, Journal of the North American Sundial Society, Vol. 8, N° 3, septembre 2001

Claude Hartman (Arroyo Grande CA), Back to basics Sundial Location, p. 1, 10 Fig

Fred Sawyer, (Glastonbury CT), The further evolution od Samuel Fos's Dialing Scales, p. 11, 11 fig

José Carmelo Montes, Martha A. Villegas (Torreon, Mexico), The sundial od Cuencamé in Mexico : a leaflet as a diffusion method, p. 17, 2 fig

The Compendium, Journal of the North American Sundial Society, Vol. 8, N° 4 décembre 2001

Fer de Vries, A Polar Bifilar Sundial with parallel date lines, p; 1, 5 fig

Claude Hartman, Bifilar Sundials of Rafael Soler Gayá, p, 4, 7 fig

Fred Sayer, Regulating the Foster Point, p. 7, 3 fig

René J. Vinck, Dialing Scales by parallel projection, p; 10, 6 fig

Mac Oglesby, Student Dials, p. 17, 2 fig

Steven Woodbury, SightingsŠIn the Yard, p. 19, 2 fig.

Robert Adzema, SightingsŠ in Suffem, p. 20, 3 fig.

Stephen Luecking, The Anti-Cone Model for Sundial Projection, p. 21, 18 fig

Fer de Vries, The Wide Gnomon, p. 27, 8 fig.

Fred Sawyer, A horizontal Sndial by Julien Leroy, p. 29, 2 fig.

Le Gnomoniste, Commission des Cadrans solaires du Québec, Vol 8, n° 3, 1er septembre 2001

Yves Melançon, Le nouveau cadran des Sept-Iles, p, 2, 6 fig.

André Bouchard, Quleques suggestions de visites de d'autres cadrans équatoriaux du Québec, p. 4, 12 fig.

Mélanie Desmeules, Les devises horaires latines : les structures syntaxiques et stylistiques - 1ère partie, p,

8, 4 fig; (Le cadran du Palais de Justice de Paris, du Brésil et deux d'Italie)

André E. Bouchard, La collection des cadrans solaires du Musée Steward de Montréal, p; 10, 17 fig.

André E. Bouchard, L'Exposition du Planétarium de Montréal, p. 16, fig. le cadran vertical déclinant de 1914 à l'Université Concordia au Campus Loyola

Nicole Marquet

Analema" n°33, le bulletin trimestriel de la "Asociacion de amigos de relojes de Sol", de Madrid.

1 - Un article sur un cadran solaire "de diffraction" sur la surface d'un Cd-Rom

2 - L'annonce du livre de D.Savoie "Gnomonique" (page 17)

3 - Un site perso (espagnol) sur des cadrans solaires

<http://webs.ono.com/usr002/andana/>

a - cadrans de la province de Murcie

b - cadrans "de mes amis" : cadrans d'Espagne et d'Amérique du sud

c - le "canonazo" du mois : un cadran qui a plu à M.Andana.

A noter :

- un bifilaire :

<http://webs.demasiado.com/andana/cajun01.htm>

- Pour M.Deciron : un multiface :

<http://webs.demasiado.com/andana/cafeb01.htm>

4 - Questions

- A quel endroit se trouve le cadran portant la devise "Punctum Temporis Omnis vita" ?

- A-t-on déjà étudié les cadrans solaires construits aux Philippines pendant la période de colonisation espagnole ?

5 - Possibilité d'obtenir l'index des articles parus dans "Analema" (soit une disquette, soit un doc de 8 pages)

Bien cordialement.

Philippe Sauvageot

Andrée Gotteland

Société Astronomique de France

Commission des Cadrans solaires

11, avenue des Combattants

78.220 - Viroflay

tel. 01.30.24.61.61

Fax : 01 30 24 85 90

[gottelan@club-internet.fr](mailto:gottelan@club-internet.fr)