

17

*Cadrons solaires  
à découper  
à plier*

*Conception Edition: Patrick Texier*

*Réalisation: Gérard Oudenot  
Responsable du Département d'Astronomie  
du Palais de la Découverte.*

*Maquette, Graphisme: Laure Bailly*

*Diffusion: Artissime*



*L'Édition du LEZARD  
23, rue de la Citadelle  
64220. St.-Jean-Pied-de-Port*

Qu'est ce qu'un cadran solaire?

Un cadran solaire est un instrument qui utilise l'ombre portée par le soleil pour indiquer l'heure.

Généralement les cadrans solaires se composent d'un style et d'une table qui reçoit l'ombre du style. Cette table porte des inscriptions qui ~~utilisent~~ <sup>permettent</sup> la lecture de hauteur du soleil pour lire l'heure.

Un peu d'histoire.

Le cadran solaire le plus ancien à notre connaissance est égyptien XV<sup>ème</sup> siècle avant JC. C'est un cadran de hauteur. (Il utilise la variation de hauteur du soleil au dessus de l'horizon.)

Il faudra attendre huit siècles pour que les cadrans se développent autour du bassin méditerranéen.

Le premier cadran grec serait du VI<sup>ème</sup> siècle av JC.

Deux siècles plus tard apparaissent des cadrans plus élaborés, comme le Scaphé de l'Astronome Chaldéen Berosé, de forme hémisphérique, creusée dans un bloc de pierre; une représentation inversée de la voûte céleste.

Plus tard la science des cadrans solaires, la gnomonique, se transmet aux arabes vers l'an mil.

Au VIII<sup>e</sup> siècle - création en Angleterre des cadrans canoniques par le moine Bède "Le vénérable".  
Ils sont face au sud, leur table est verticale en forme de demi-cercle, divisé le plus souvent en 12 parties, Un style perpendiculaire à la table est implanté au milieu du cadran. Il indique des heures inégales entre elles au cours de la journée et d'un jour sur l'autre.

Le plus vieux cadran classique daté du XV<sup>ème</sup> siècle, installé sur un édifice existant encore "l'astrologue au cadran" 1493 cathédrale de Strasbourg. Il présente des heures égales semblables à celles que nous utilisons.

Les XVI<sup>e</sup> - XVII<sup>e</sup> - XVIII<sup>e</sup> siècles marquent la grande vogue des cadrans solaires, pourtant en pleine période de l'horlogerie, mais la précision des montres et horloges n'étant pas encore fiable, le cadran solaire permettait de les remettre à l'heure.

Au XVII<sup>e</sup> siècle création du cadran analemmatique : une table horizontale avec les heures disposées autour d'une ellipse, le style vertical se déplace le long de l'axe de l'ellipse en fonction de la date.

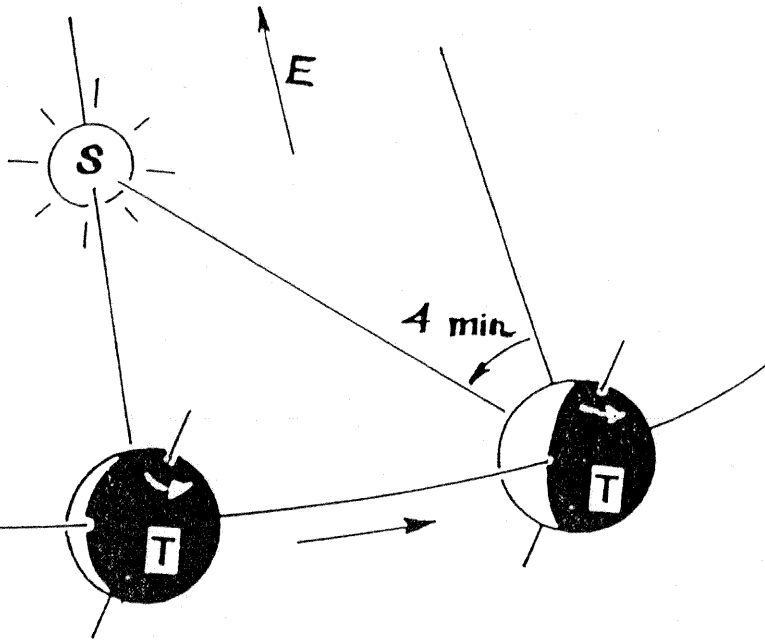
En 1922 apparaît le cadran bifilaire. ce cadran donne l'heure par l'intersection de deux fils. (voir page 8)

Les cadrans universels permettent de lire à n'importe quelle latitude en les réglant pour cette latitude. Le cadran de Freeman 1978, lui est réellement indépendant de latitude. Il n'y a aucun réglage à faire.

## Elements de cosmographie

La terre tourne sur elle-même en 23<sup>h</sup> 56 m d'ouest en est autour de son axe. le mouvement a pour conséquence un mouvement apparent du ciel en sens contraire : le mouvement diurne

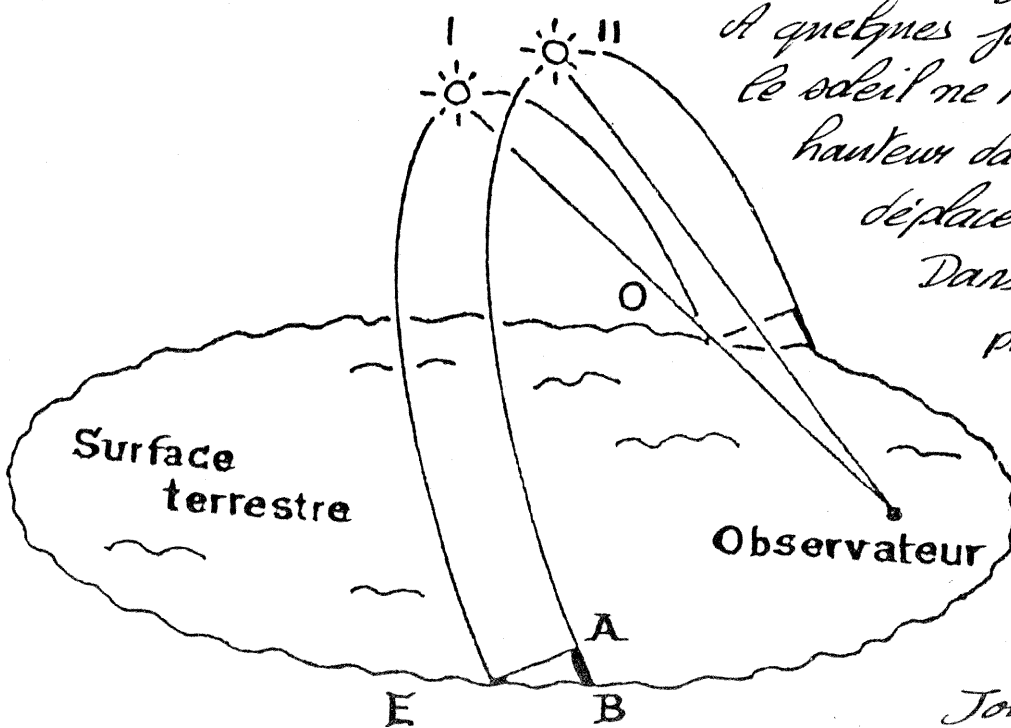
De plus la terre se déplace autour du soleil en une année, son axe restant orienté dans le sens Nord Sud incliné à  $23^{\circ}26'$  par rapport à la perpendiculaire au plan de son orbite. Lorsque la terre a fait 1 tour :  $23^h56m$  plus tard, il s'est écoulé Un Jour sidéral



Pendant ce temps la terre a parcourue environ 2,5 millions de kilomètres sur son orbite. Il en résulte qu'un point qui se trouvait en face du soleil ne s'y trouve plus  $23^h56m$  plus tard. En conséquence il faut que la terre tourne un peu plus sur elle-même pour se retrouver en face du soleil. Cette période porte

le nom de Jour Solaire qui vaut environ 24 h.

L'inclinaison de l'axe terrestre produit un déplacement en hauteur du soleil, tout au long de l'année : Inégalités des Jours et des nuits et également saisons.



A quelques jours d'intervalle le soleil ne monte pas à la même hauteur dans le ciel. Il va se déplacer sur 2 cercles différents

Dans la position II il parcourra le même trajet qu'en I plus 2 fois l'arc AB

La Journée II sera donc plus longue que la

Journée I

Ex: en latitude  $45^{\circ}$  le jour du Solstice d'Hiver dure  $8^h36m$  tandis que le Jour du Solstice d'été dure  $15^h23m$ .

## de principe au cadran solaire

Le mouvement diurne fait qu'au cours d'une journée l'ombre d'un objet varie en direction et en dimension. Ex: Au lever du Soleil l'ombre est très longue et dirigée vers l'ouest (elle marque rigoureusement l'ouest au moment des équinoxes, la différence maximum entre l'ouest et l'ombre est de  $34^\circ$  vers le sud en été et vers le nord en hiver. à la latitude  $45^\circ$ ).  
À midi l'ombre atteint son minimum en longueur et indique le nord.

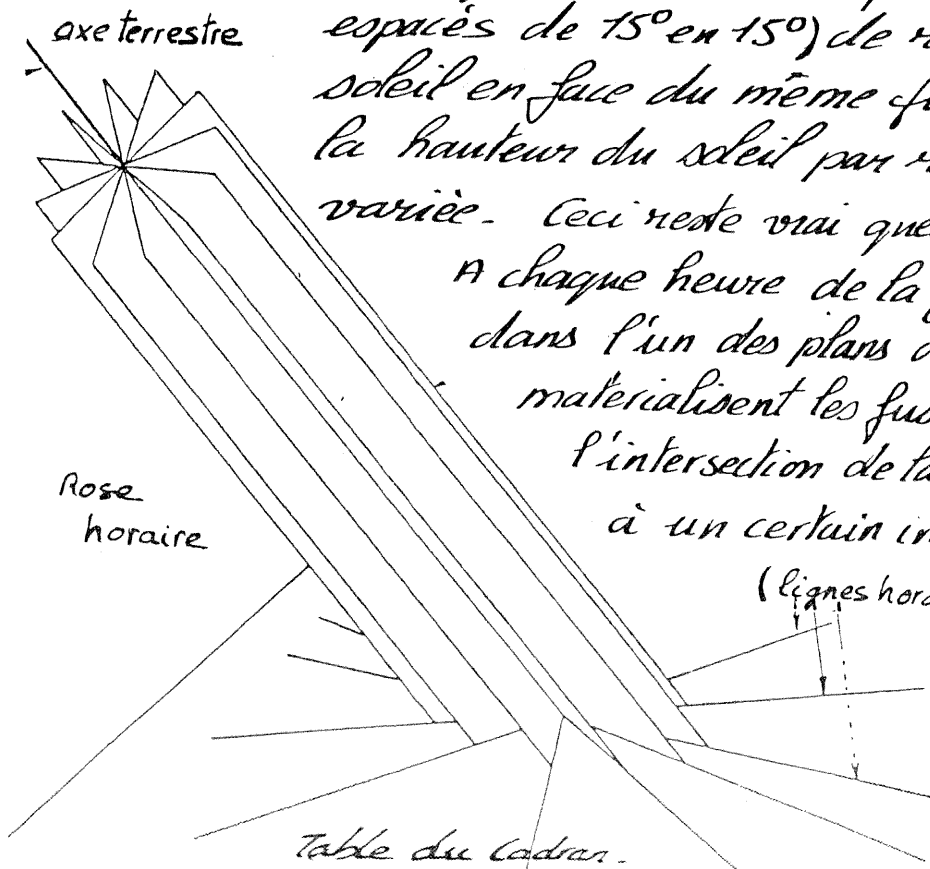
Si à la même heure quelques jours plus tard, nous mesurons la direction et la longueur de l'ombre, elles auront légèrement varié; c'est une conséquence de l'inclinaison de l'axe terrestre.

Pour les cadrans de hauteur, on contournera cette difficulté en traçant des lignes horaires différentes pour chaque jour.

Pour les cadrans classiques, on utilise un autre principe grâce à leur style parallèle à l'axe du monde. Cette disposition va permettre (en divisant la terre en 24 fuseaux horaires passant par l'axe de la terre, espacés de  $15^\circ$  en  $15^\circ$ ) de retrouver 24 h plus tard le soleil en face du même fuseau que la veille, seule la hauteur du soleil par rapport à l'horizon aura variée. Ceci reste vrai quelque soit l'époque de l'année.

À chaque heure de la journée le soleil se trouve dans l'un des plans de la rose horaire (ces plans matérialisent les fuseaux). Si nous considérons l'intersection de la rose avec la table du cadran à un certain instant l'ombre de l'axe

(lignes horaires) frappe l'intersection du plan avec la table. Il suffit alors de numéroter les intersections pour pouvoir y lire l'heure.



La table peut être de forme quelconque, mais dans les cadrans classiques (Sauf équatoriaux) elle est plane. Le cadran peut être vertical, horizontal ou incliné.

## Des arcs diurnes.

Tout au long de l'année, entraîné par son mouvement apparent annuel, le soleil va s'écarter plus ou moins de sa position moyenne en latitude; l'équateur céleste.

On trace généralement les lignes des solstices et des équinoxes, celles-ci sont confondues et droites, puisque le soleil se trouve dans le plan de l'équateur céleste.

## Compléments de cosmographie.

Si nous comparons l'heure solaire et l'heure légale il y a 1 à 2 heures de décalage et cela pour des raisons de précisions cosmographiques.

• 1<sup>ère</sup> loi de Kepler: la terre se déplace sur une ellipse dont le soleil occupe un des foyers.

• 2<sup>ème</sup> loi de Kepler: Le segment de droite Terre-Soleil balaie des aires égales en des temps égaux.

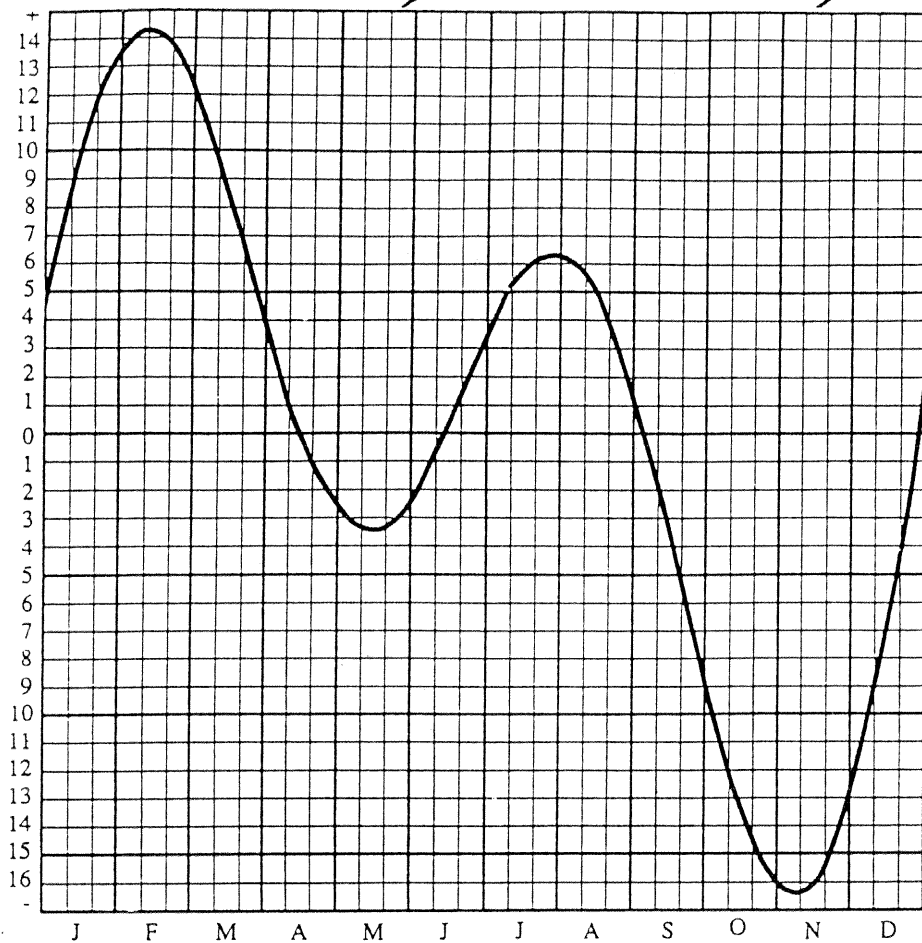
Ce qui nous indique que la terre se déplace sur son orbite avec une vitesse variable, d'un jour sur l'autre elle ne parcourt pas la même distance.

De plus, le soleil ne se déplace pas dans le plan de l'équateur, mais dans celui de l'écliptique.

Il en résulte une seconde inégalité.

Au XVIII<sup>ème</sup> siècle lorsque l'utilisation des montres et pendules, devenue plus précise, se généralisa, il ne fut plus possible d'ignorer ces inégalités. Ce qui conduisit à imaginer des jours égaux entre eux tout au long de l'année.

Les jours de 24h sont les jours Solaires moyens.  
 La différence entre le temps solaire moyen et le  
temps solaire vrai porte le nom :  
 D'équation du temps.



Le temps solaire  
 moyen est compté à  
 partir de midi : On  
 appelle temps civil  
 d'un lieu, le temps  
 solaire moyen de ce lieu  
 augmenté de 12h.

Le développement des moyens de communication  
 montra les inconvénients du temps civil.

En 1884, le méridien de Greenwich fut déclaré  
 méridien international et le temps civil de Greenwich  
 devint le temps universel.

Pour étendre à l'ensemble de la planète l'usage  
 du temps universel, sa surface a été divisée en 24  
 fuseaux horaires. Aujourd'hui encore des pays  
 utilisent des temps différents du temps universel  
 d'un nombre d'heures non entier. Certains ont  
 même conservés le temps solaire. Parmi les pays  
 qui ont adopté le système des fuseaux, certains  
 ne se réfèrent pas à leur fuseau :

La France par exemple située dans le fuseau 0 à 1h d'avance en hiver et 2h en été sur le temps universel.

Aujourd'hui le temps donné par nos montres et un temps atomique, son dérivé le temps universel coordonné, fourni par exemple par l'horloge parlante, a toujours moins d'une seconde de différence avec le temps universel.

En France pour passer de l'heure légale ( $T_L$ ) à l'heure lue sur le cadran ( $T_S$ ), il faut effectuer 3 corrections -

- 1) liée à la date: l'équation du temps ( $E$ )<sup>(see)</sup>
- 2) liée à la longitude ( $L$ ) (elle se lit sur une carte)
- 3) Une liée aux dispositions légales ( $C$ )

$C = 1h$  en hiver

$C = 2h$  en été.

La relation de correction est  $T_L = T_S + E + L + C$

## L'Orientation des cadrans.

Les cadrans de hauteur se dirigent vers le Soleil.

Pour les cadrans classiques et analemmatiques, il faut les orienter dans le sens Nord-Sud. soit avec une boussole, (la différence entre le Nord magnétique et le nord géographique est faible en France)

Soit en mettant un cadran analemmatique et un cadran classique l'un contre l'autre.

(deux lignes Nord-Sud alignées)

Puis on les tourne jusqu'à ce qu'ils indiquent la même heure.

Ils sont orientés Nord-Sud géographiquement cette fois.

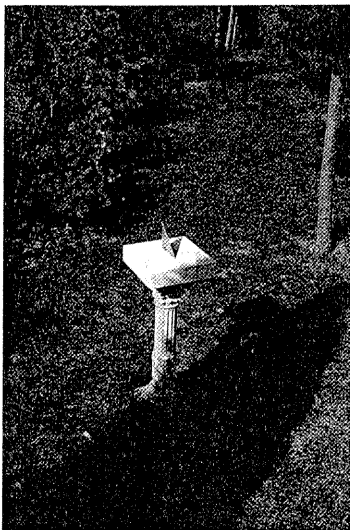


## Le déplacement en latitude

Tous nos cadrans sont établis pour la latitude 45°. Il est généralement facile de corriger les cadrans.

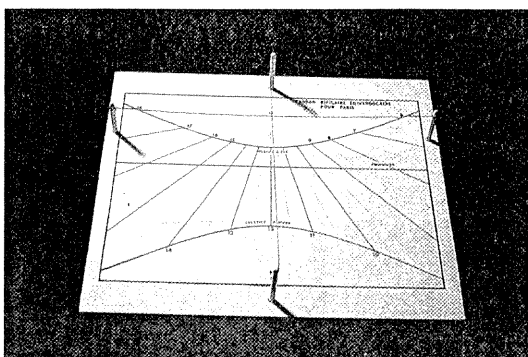
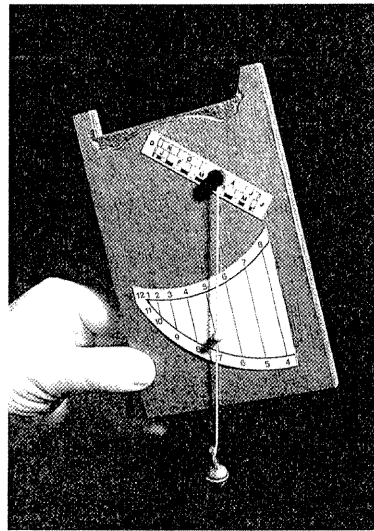
Par exemple à Paris (latitude 48° 50')  
Il suffira de relever le style de 4°  
et le cadran

### Quelques exemples de cadrans Solaires.



Cadran solaire horizontal -  
à Die.

Cadran  
Capucin -



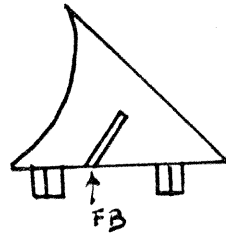
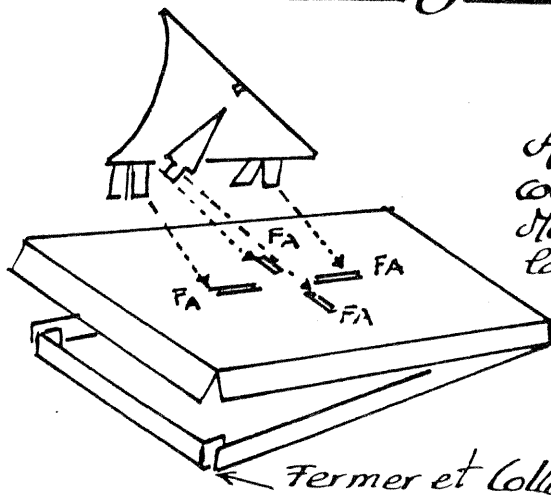
Cadran bifilaire -

# Montage des cadrans solaires.

Legende :   
 - - - - - pliage   
 \_\_\_\_\_ découpage

Avant de découper : marquer les plis avec le dos d'une lame ou la pointe d'un crayon dur.

## 1) Cadran Solaire Horizontal

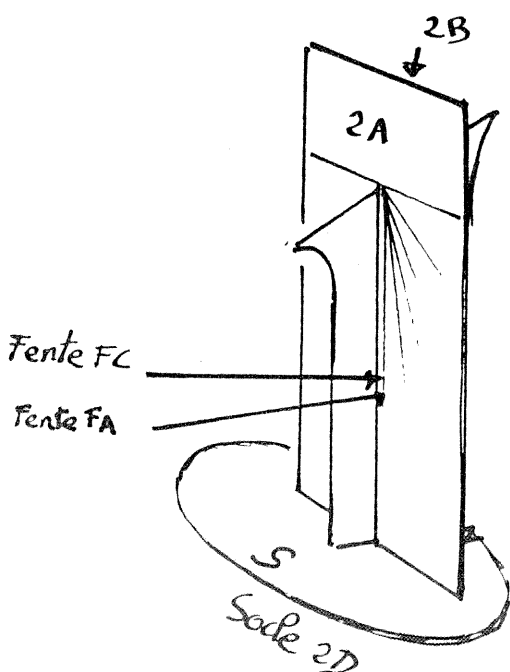


Après avoir découpé les pièces 1A-1B-1C  
 couper à la règle les fentes FA, FB, FC  
 Monter le style en introduisant la fente FC dans  
 la fente FB.

Puis introduire les 6 languettes dans  
 les 4 fentes FA du cadran.  
 Les replier et les coller à l'intérieur.

Fermer et coller.

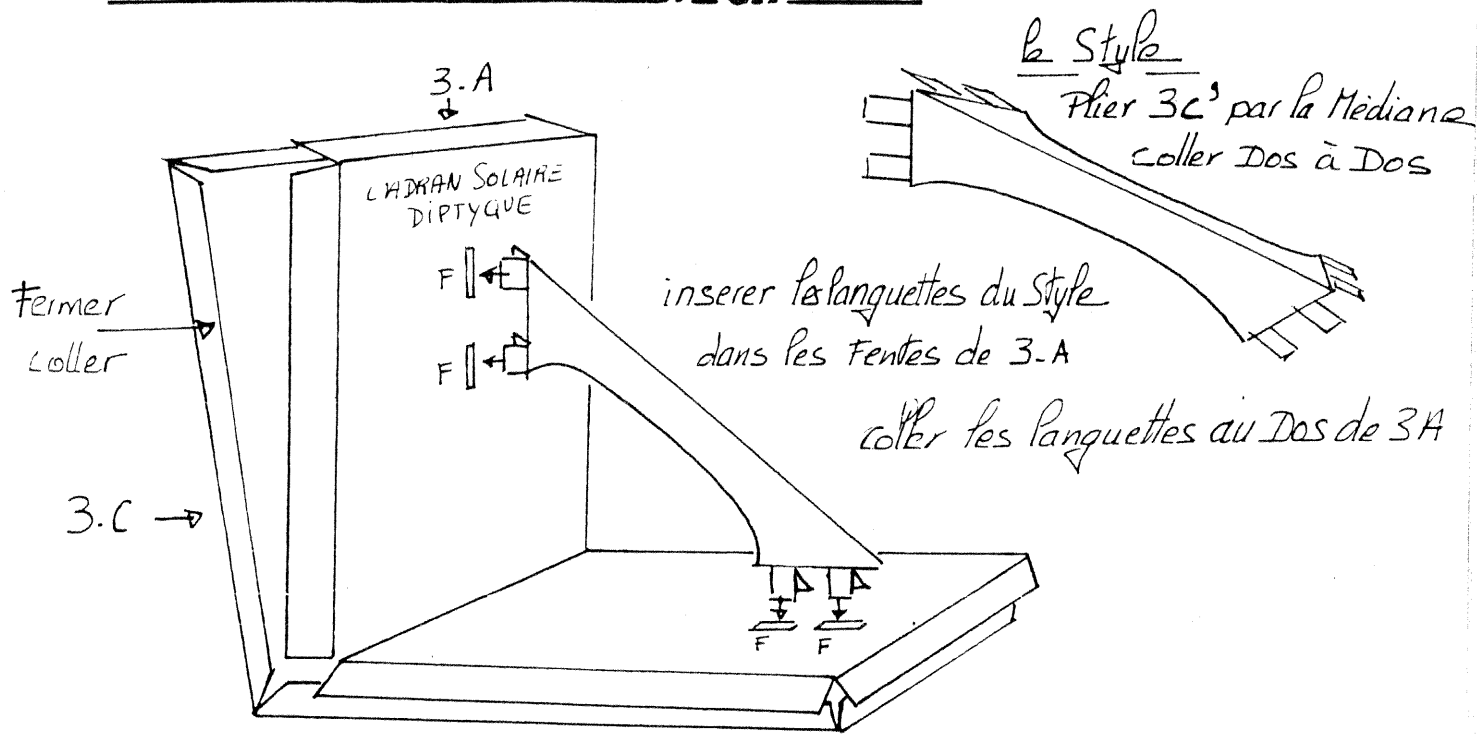
## 2) Cadran Solaire Vertical



Après découpe de 2A et 2B, découper  
 le style 2C et la fente FC, encastrier le  
 style dans les fentes de 2A et 2B (coller  
 dos à dos) Encastrier les languettes de  
 l'ensemble dans les fentes du socle,  
 les replier et les coller.

Attention mettre la face 2A côté Sud  
 (S Inscrit sur la Base 2D)

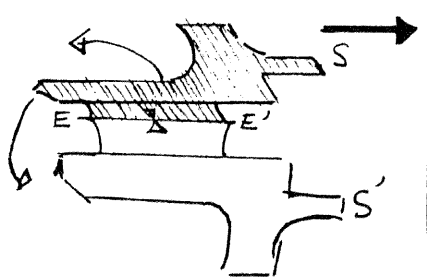
# Cadran Solaire Diptyque



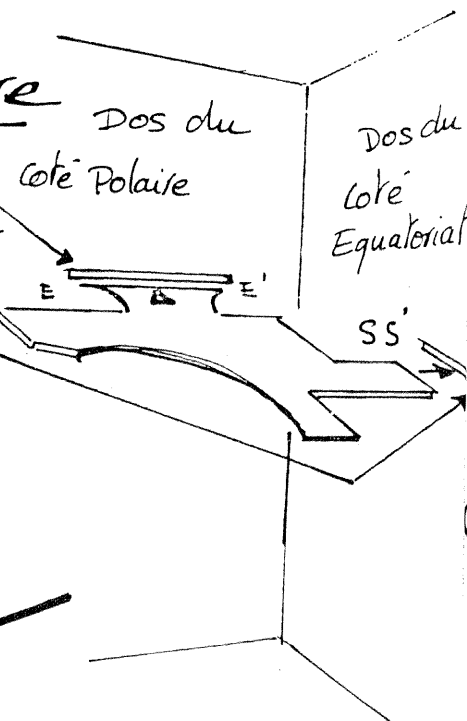
Après découpage de 3A et 3.C les plier et les monter comme ci-dessus puis Fermer et coller

## ④ Cadran Solaire Equatorial et Polaire

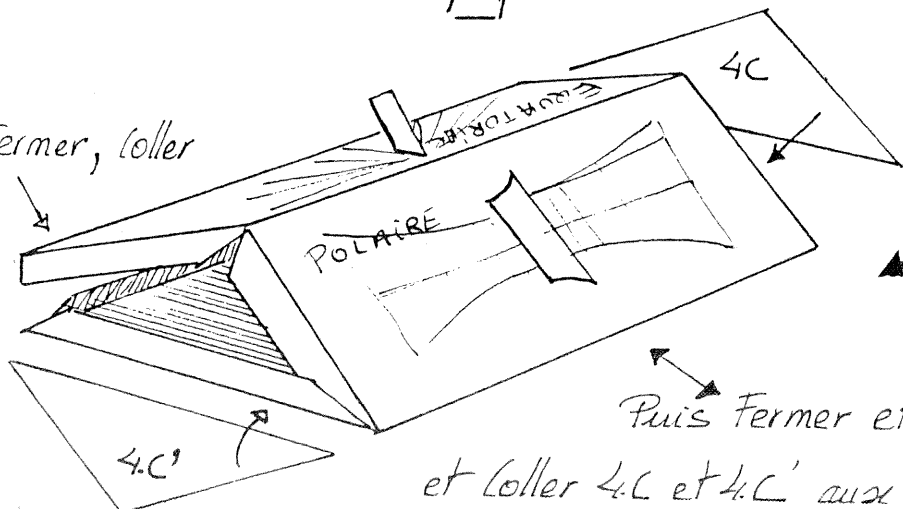
Plier 4.B par la Médiane EE' coller dos à dos



Puis insérer EE' dans la fente Polaire et SS' dans la fente Equatorial.



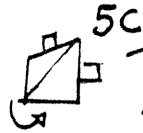
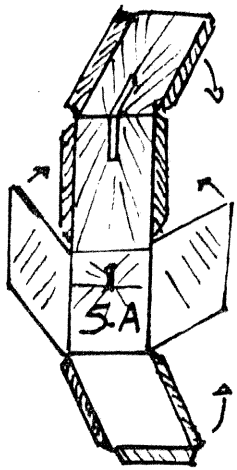
Fermer, coller



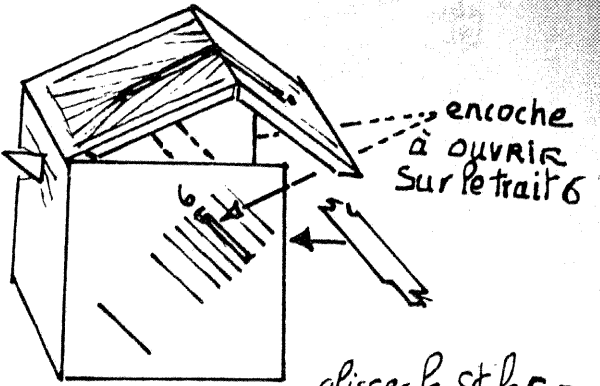
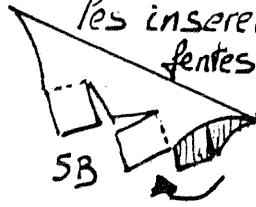
Puis Fermer et coller comme ci-dessus et coller 4C et 4C' aux deux Extrémités

## ⑤ Cadran Solaire Cubique

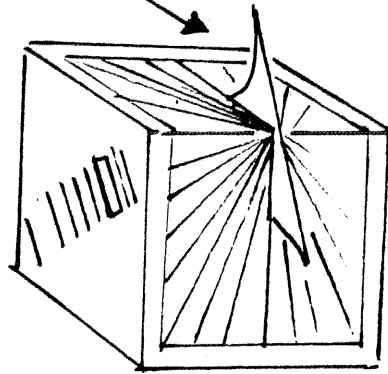
découper, Marquer les plis



plier les styles  
et les coller, puis  
les insérer dans les  
fentes. les coller  
par l'intérieur

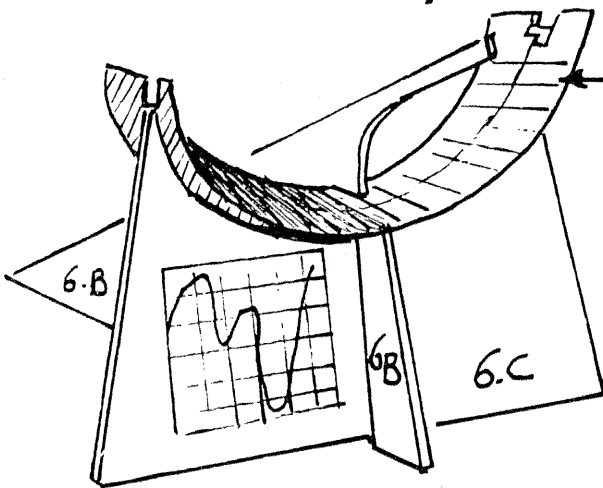


glisser le style 5.D  
dans ses encoches  
sans coller



Refermer le Cube  
en collant ses bords

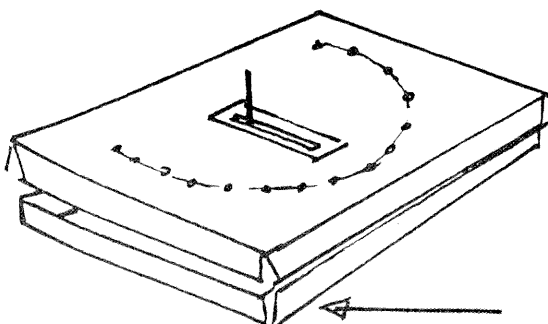
## ⑥ Cadran Solaire Equatorial Cylindrique



la table 6.A. se galbe doucement  
à la main pour ne pas briser le carton

Aucun collage il suffit d'assembler  
les pièces en faisant coïncider leurs  
encoches.

## ⑦ Cadran Solaire analemmatique



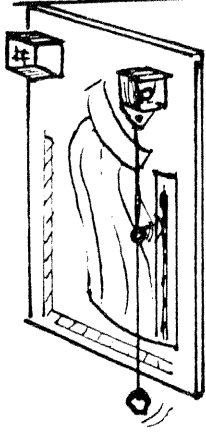
Découper, Marquer les plis

Couper les fentes de la face et du dos

Pour le style utiliser un clou de 7.8cm  
que vous pourrez faire coulisser en face  
des dates.

Rabattre et coller

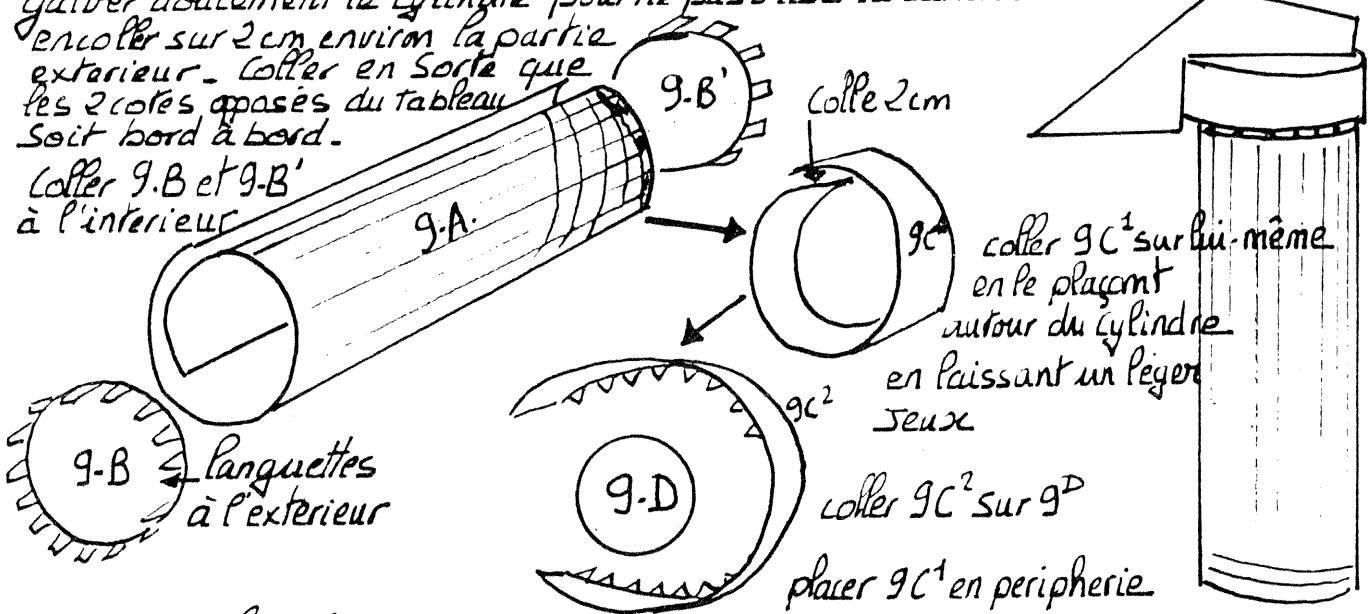
# Cadran de Hauteur



Découper les 4 pièces. marquer les plis des 2 petites.  
coller dos à dos les pièces 8A et 8B.  
Assembler et coller les languettes des 2 petites/pinnules  
Puis les fixer sur la table comme ci-contre:  
8.C. le viseur à droite.  
8.D. la cible à gauche.  
Attacher un fil lesté d'un plomb et d'une perle  
coulissante, sur le viseur.

## 9) Montre de Berger

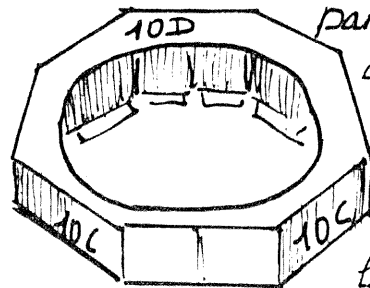
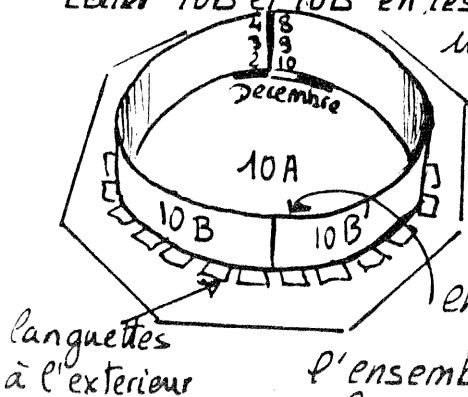
garder doucement le cylindre pour ne pas briser le carton.  
encoller sur 2cm environ la partie  
extérieure. coller en sorte que  
les 2 cotés opposés du tableau  
soit bord à bord.  
coller 9.B et 9.B'  
à l'intérieur



Replier le style sur lui-même. coller. puis l'insérer dans les fentes de l'ensemble  
9C-9D coller ses languettes à l'intérieur puis encoller 9C1 tout autour  
pour ne faire qu'un avec 9C2 et avoir un chapeau rigide.

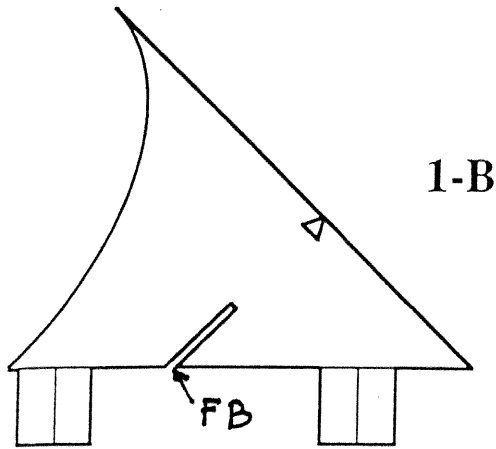
## 10) Le cadran solaire Camembert

coller 10B et 10B' en les gabant pour former  
un cercle. le coller  
sur le fond 10A  
les heures en face  
du 20 décembre  
et le trait du E  
en face du 20 Juin



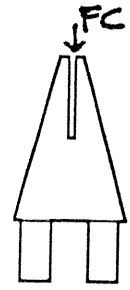
coller les 4 10C ensemble  
par leur languettes  
afin de former  
un octogone  
le coller sans  
dessus 10D  
languettes à l'intérieur

P'ensemble 10D-10C se place dessus l'ensemble 10A-10B sans colle  
placer un clou de 2,5cm au centre de 10A et placer le  
cône fabriqué avec le triangle style (encoller) sur le clou. coller.  
pour réaliser ce cône l'enrouler préalablement autour du clou. encoller  
de manière que la partie touchant le clou reste sans colle. puis retirer le clou



1-B

1-A

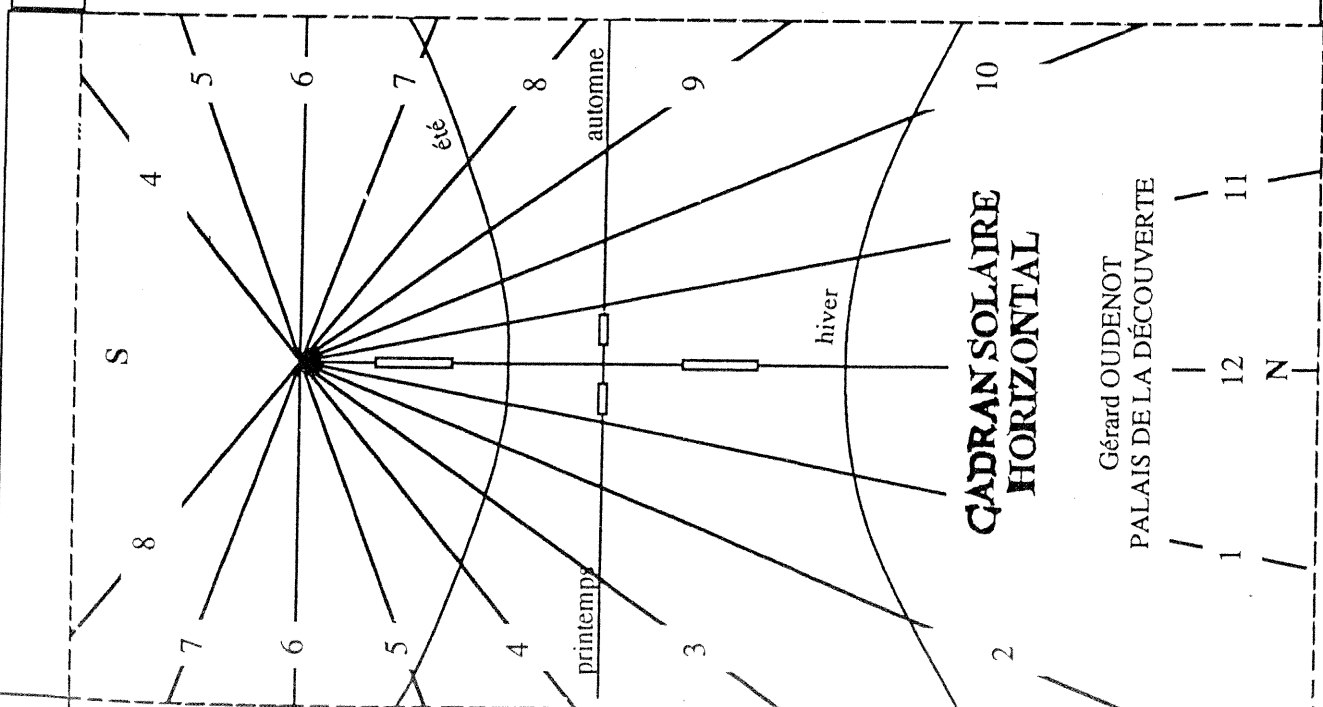


1-C

C'est par excellence le cadran que l'on trouve dans les Jardins, ou dans les collections de cadrans portatifs. Sa table est horizontale. Les lignes horaires donnent l'heure solaire les arcs diurnes les Journées de Solstices d'été et d'Hiver. Les Equinoxes de printemps et d'automne y sont également mentionnées

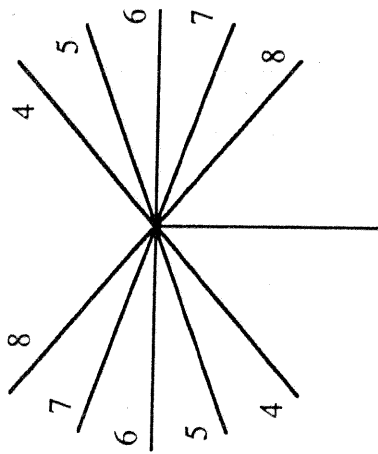
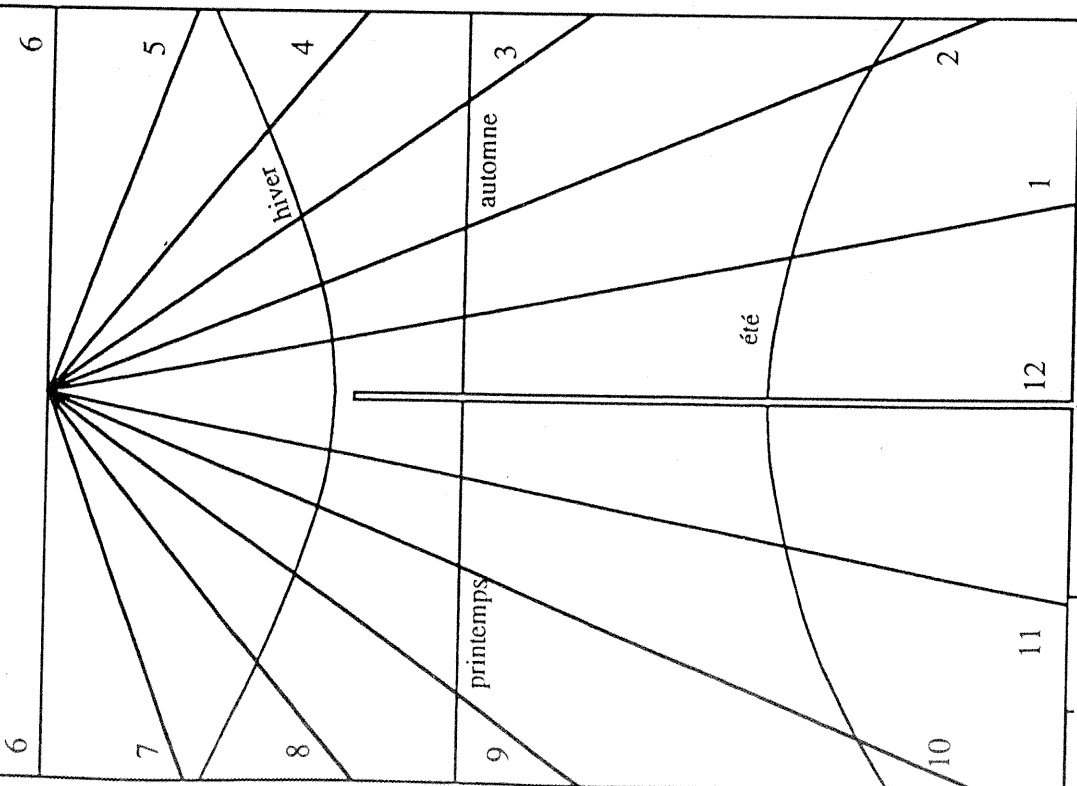
L'ombre de la partie linéaire du Style indique l'heure et la petite tache lumineuse qui passe par le cran du Style nous dit si nous sommes proches d'un équinoxe ou d'un Solstice.

L'orienter au Sud.



# CADRAN SOLAIRE VERTICAL

Gérard OUDENOT  
PALAIS DE LA DÉCOUVERTE



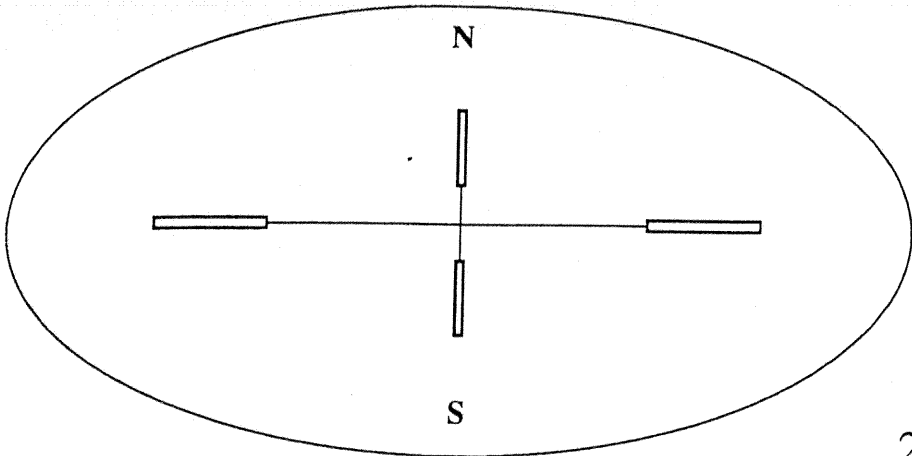
C'est le cadran que l'on trouve le plus souvent sur les murs des édifices. Ici nous avons 2 cadrans: un méridional (face orientée au Sud) et un septentrional (face orientée au Nord).

Un cadran orienté au Nord semble toujours curieux. En effet on pense qu'un mur plein Nord ne reçoit jamais le Soleil.

Ce n'est pas tout à fait exact: un tel mur est peu éclairé, mais

il l'est le matin et le soir, entre l'équinoxe de printemps et l'équinoxe d'automne.

Ici c'est l'extrémité du style qui donne une idée de la date. Sur le cadran méridional.

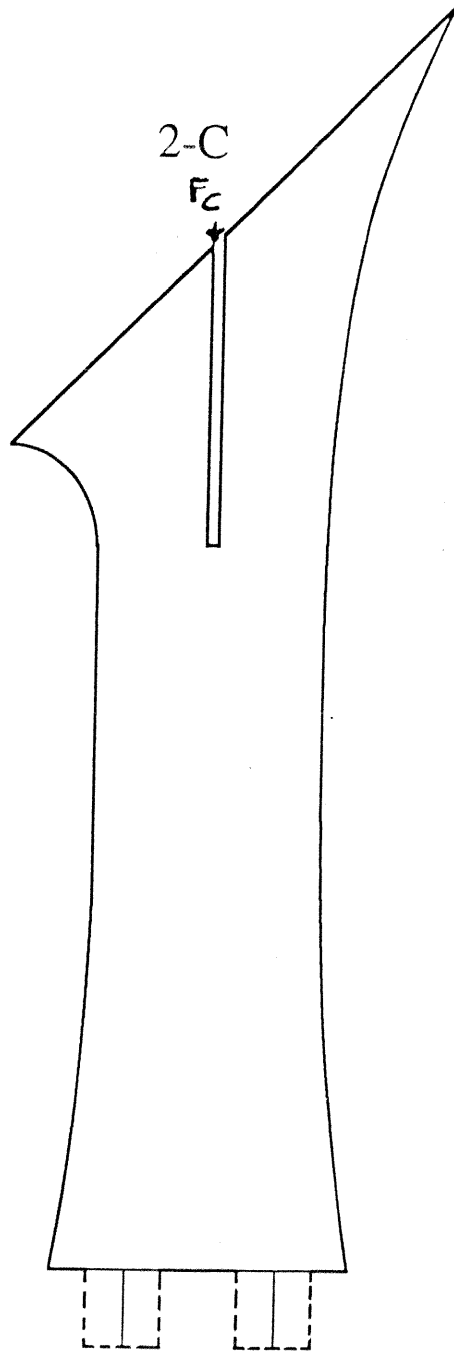


2-D

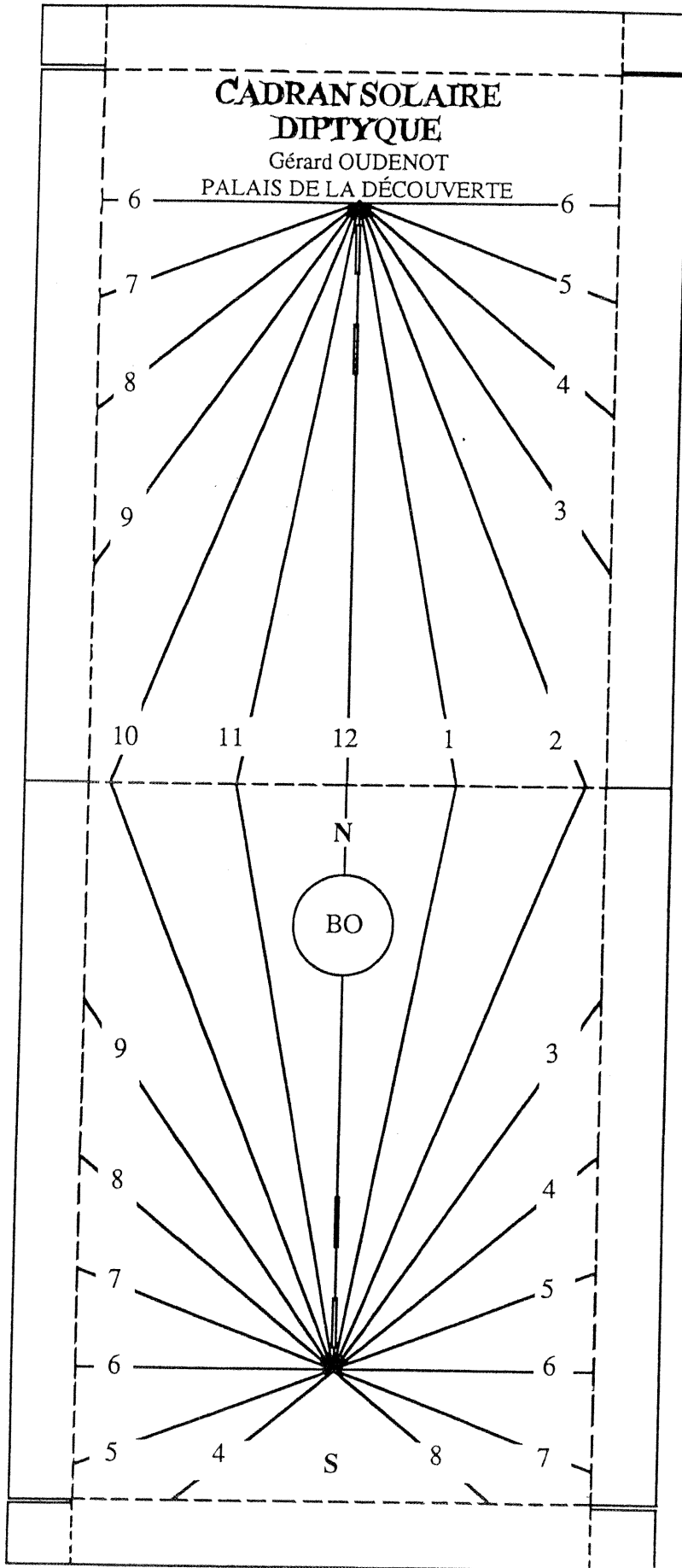
F/B

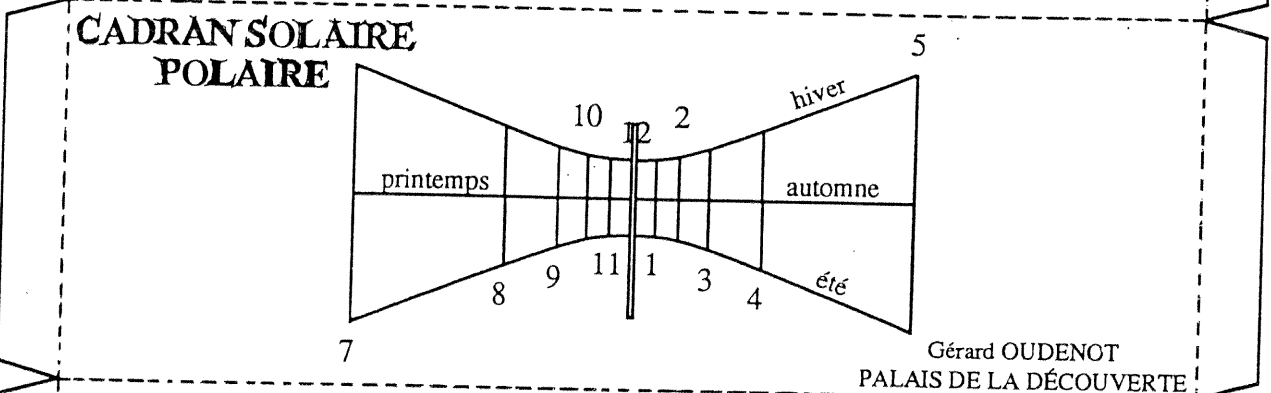
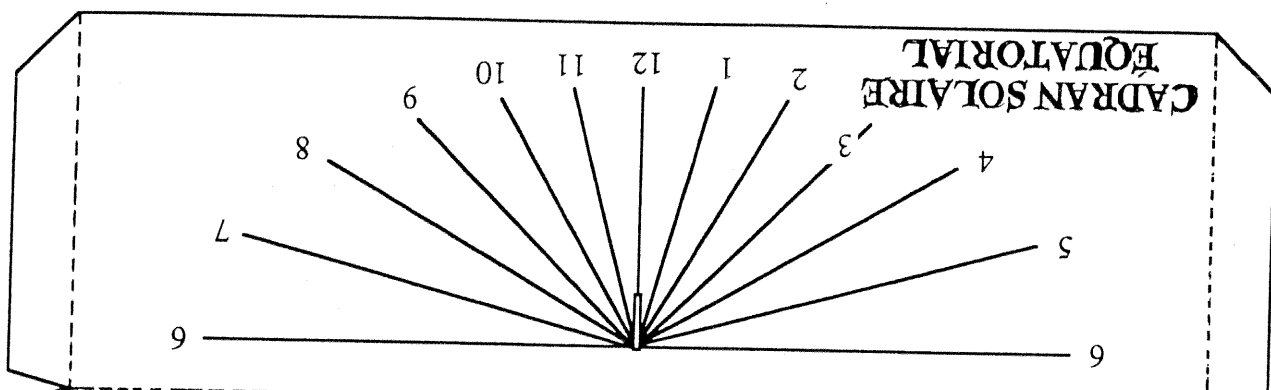
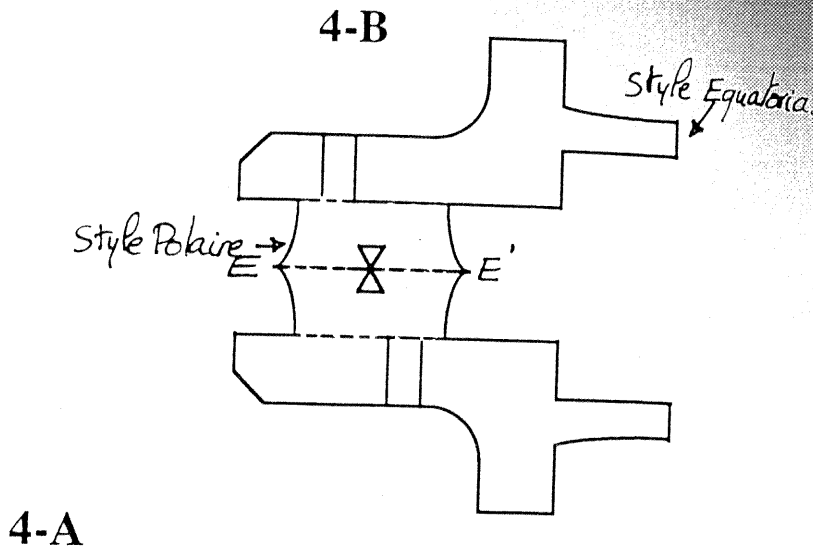
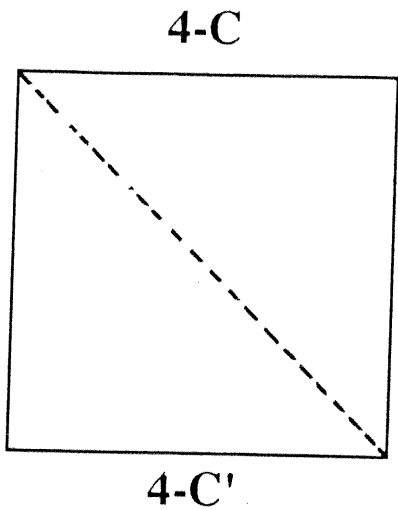
2-B

F/A  
2-A

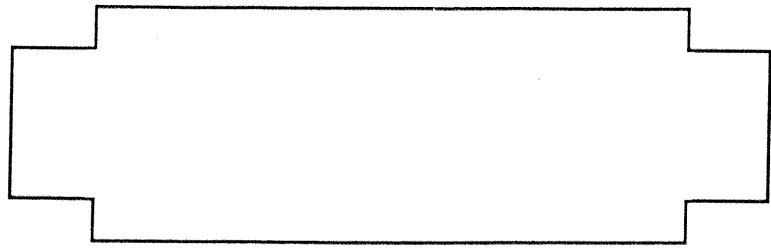




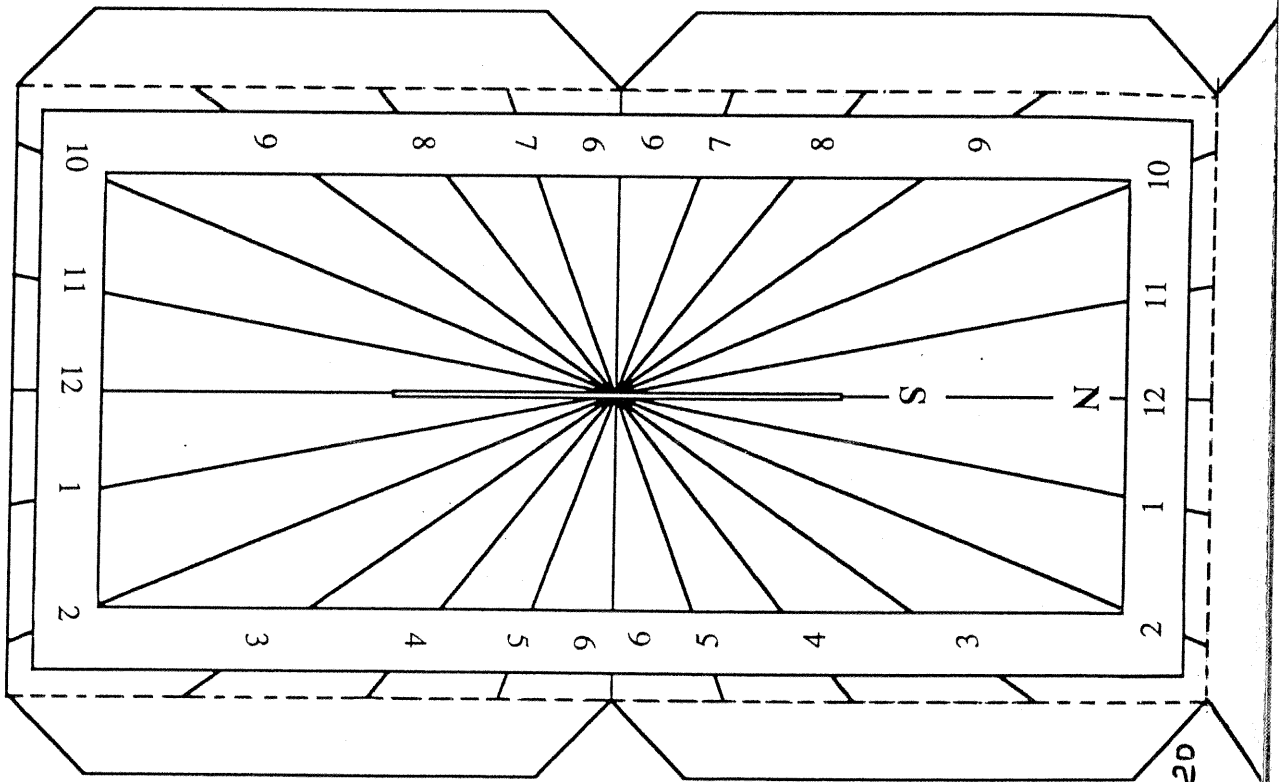




*C'est un cadran qu'on trouve rarement seul, mais plus généralement sur des cadrans multiples. Nous lui avons adjoint un cadran équatorial plan, qui se prête bien à la forme géométrique choisie.*



5-D



5-A

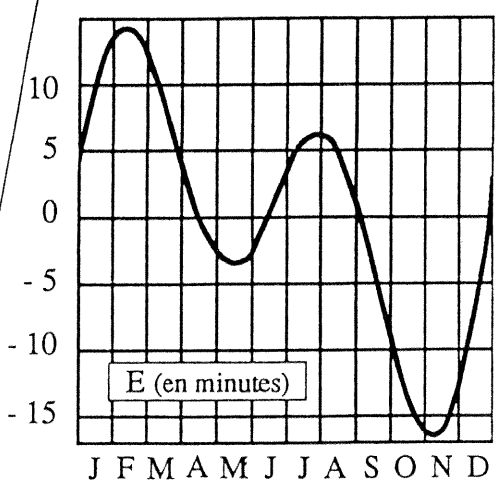
*Langquette 1-5 à coller  
Sous la partie PS de la page 20*



Le cadran existe comme  
 cadran de table ou comme  
 cadran de Jardin. des Paris Suisse  
 en renferment de nombreux  
 cadran de nombreux.  
 d'ailleurs de ce cadran provient du fait  
 que ses lignes d'horaires sont équidistantes.  
 Ce qui permet d'en modifier facilement la numérotation  
 et lire directement par exemple, le temps moyen  
 ou le temps local.

6-B

6-C

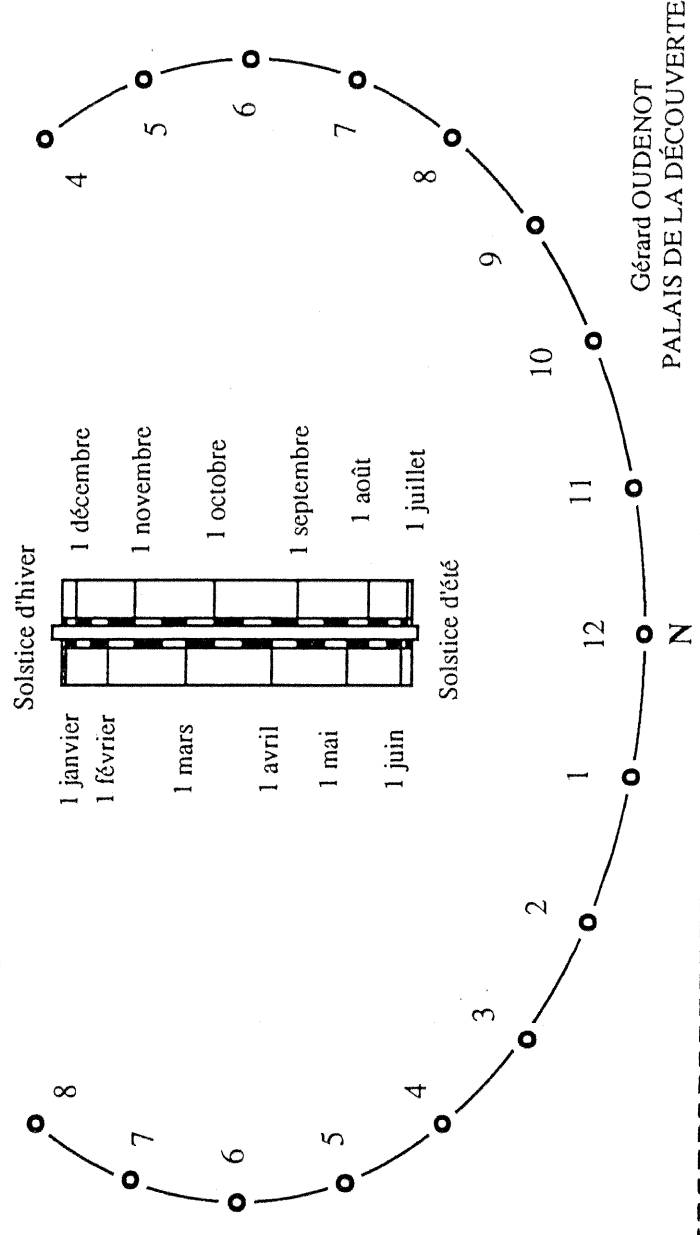


**CADRAN SOLAIRE  
 ÉQUATORIAL  
 CYLINDRIQUE**

$$T_L = T_S + E + L + C$$

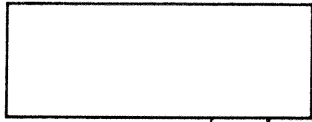
Gérard OUDENOT  
 PALAIS DE LA DÉCOUVERTE

**CADRAN SOLAIRE  
ANALEMMATIQUE**



Gérard OUDENOT  
PALAIS DE LA DÉCOUVERTE

Ce cadran a été inventé au XVII<sup>e</sup> siècle. Il existe une grande variété de cadrans analemétiques. Nous nous limiterons ici à la réalisation d'un cadran analemétique horizontal: il ne ressemble pas du tout au cadran horizontal classique.



Rappelons que sur table porte une ellipse sur laquelle les heures du jour sont marquées et que la lecture se fait grâce à un style vertical dont l'ombre coupe l'ellipse en un endroit qui correspond à l'heure solaire.

De plus, le style n'est pas fixe mais doit être déplacé le long du petit axe de l'ellipse en fonction de la date.

V-L

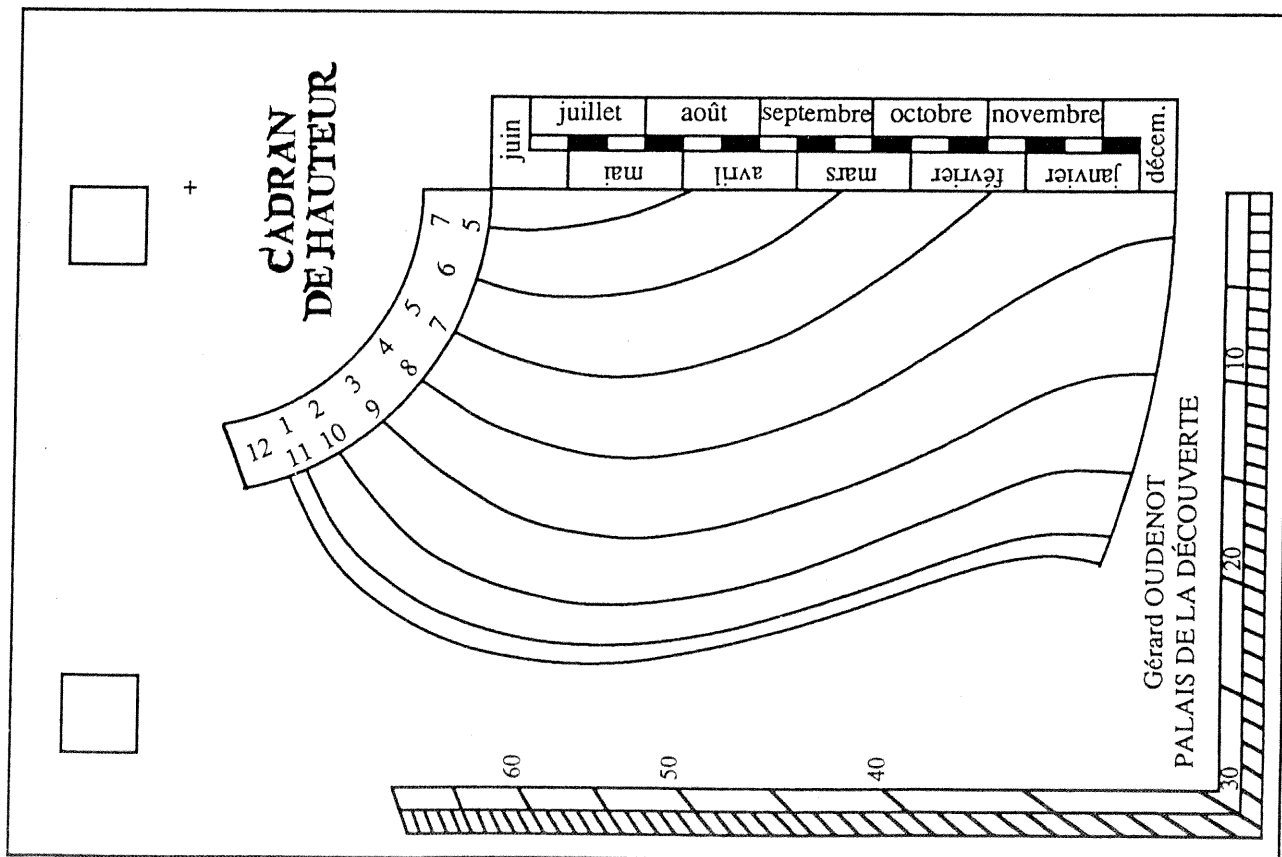
Les cadrans de hauteur constituent également une famille très diversifiée. Celui-ci se présente dans les collections comme une carte d'environ 10 cm x 20 cm. C'est souvent une plaque de bois sur laquelle on a tolle une feuille portant les lignes horaires. Ce cadran est parfois nommé cadran en ogive. Car les lignes horaires ressemblent à des ogives.

Sur la plaque se trouvent deux ergots ou pinnules qui constituent un viseur solaire. La 1<sup>re</sup> pinnule est percée d'un trou et laisse passer la lumière du Soleil. La 2<sup>e</sup> est une cible au centre de laquelle il faut placer le rayon lumineux qui est passé par la 1<sup>re</sup>. A l'aplomb de la 1<sup>re</sup> pinnule pend un fil lesté sur lequel coulisse une perle. Cette perle se règle suivant la date (échelle graduée).

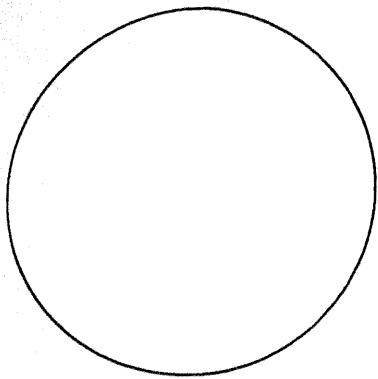
Ensuite on tient le cadran vertical. on dirige les pinnules vers le Soleil. Le rayon lumineux doit arriver au centre de la cible.

La perle indique alors l'heure sur la table.

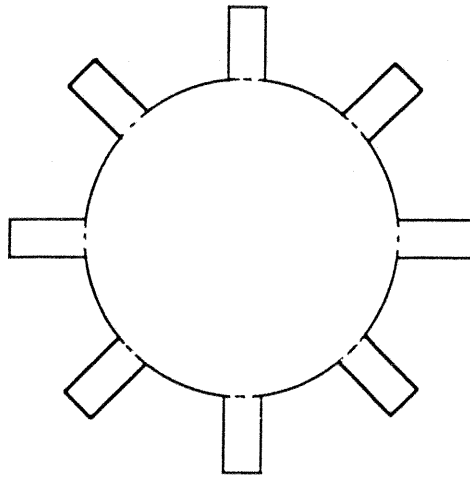
Une échelle des hauteurs a été ajoutée pour connaître la hauteur du Soleil.



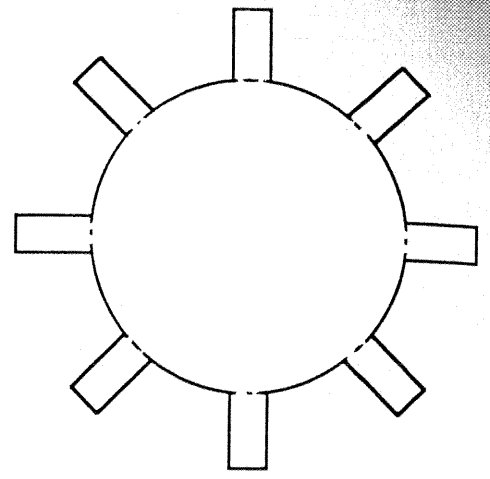




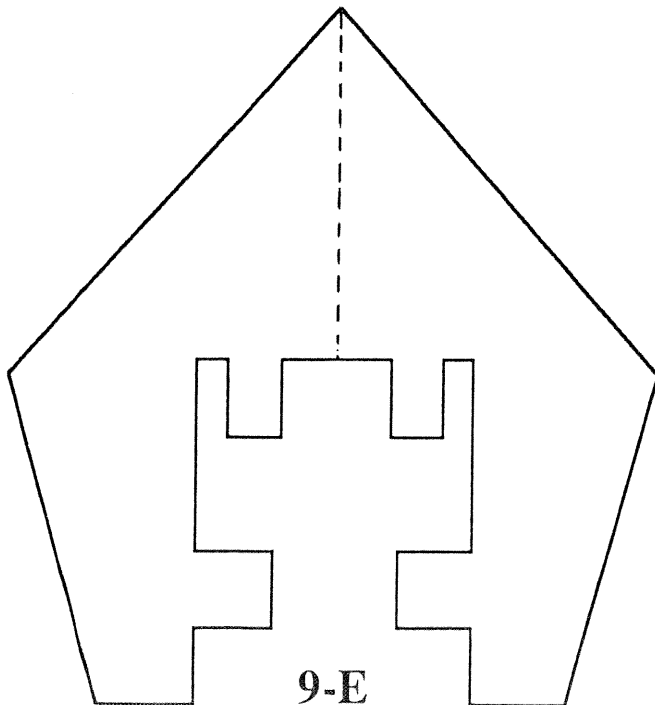
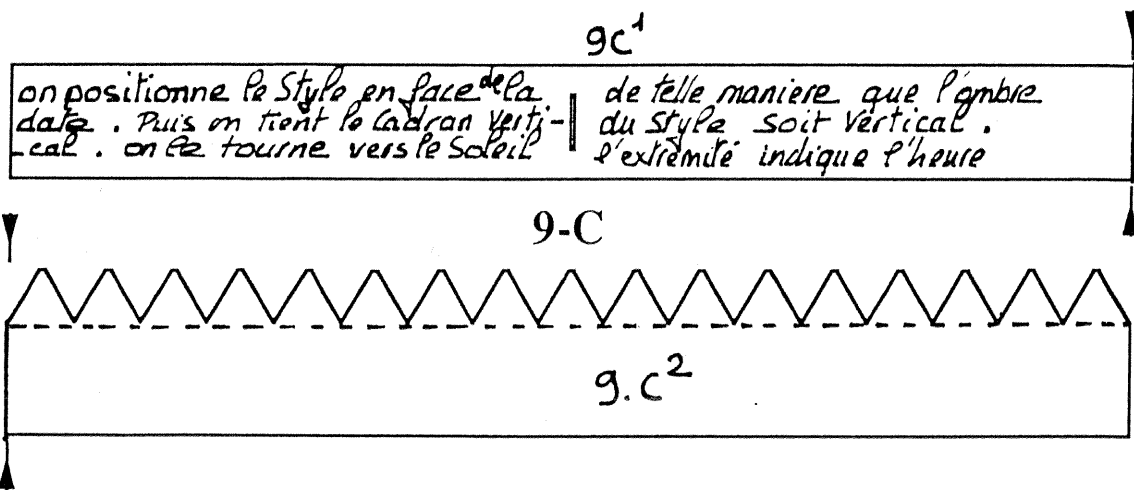
9-D



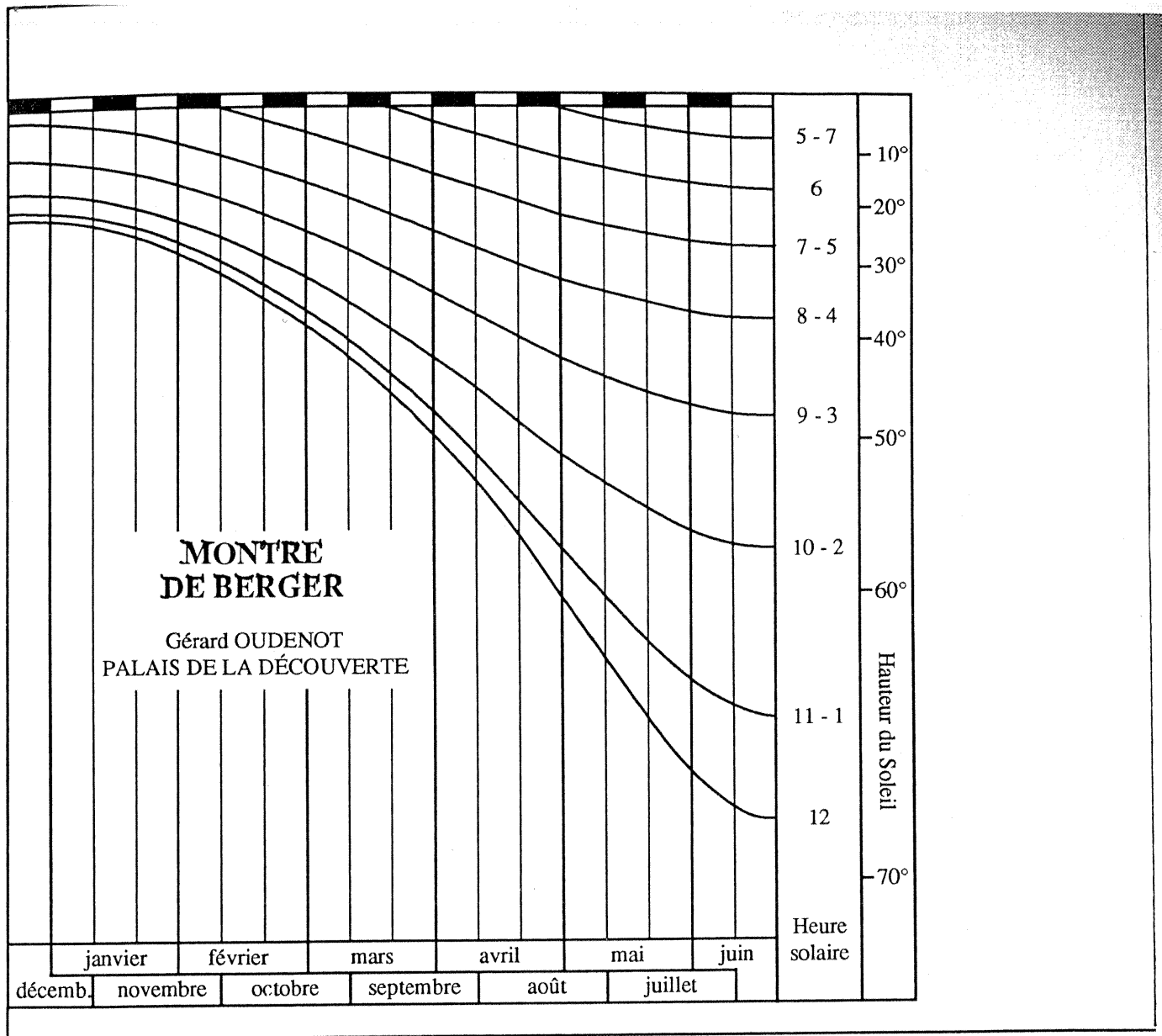
9-B



9-B'

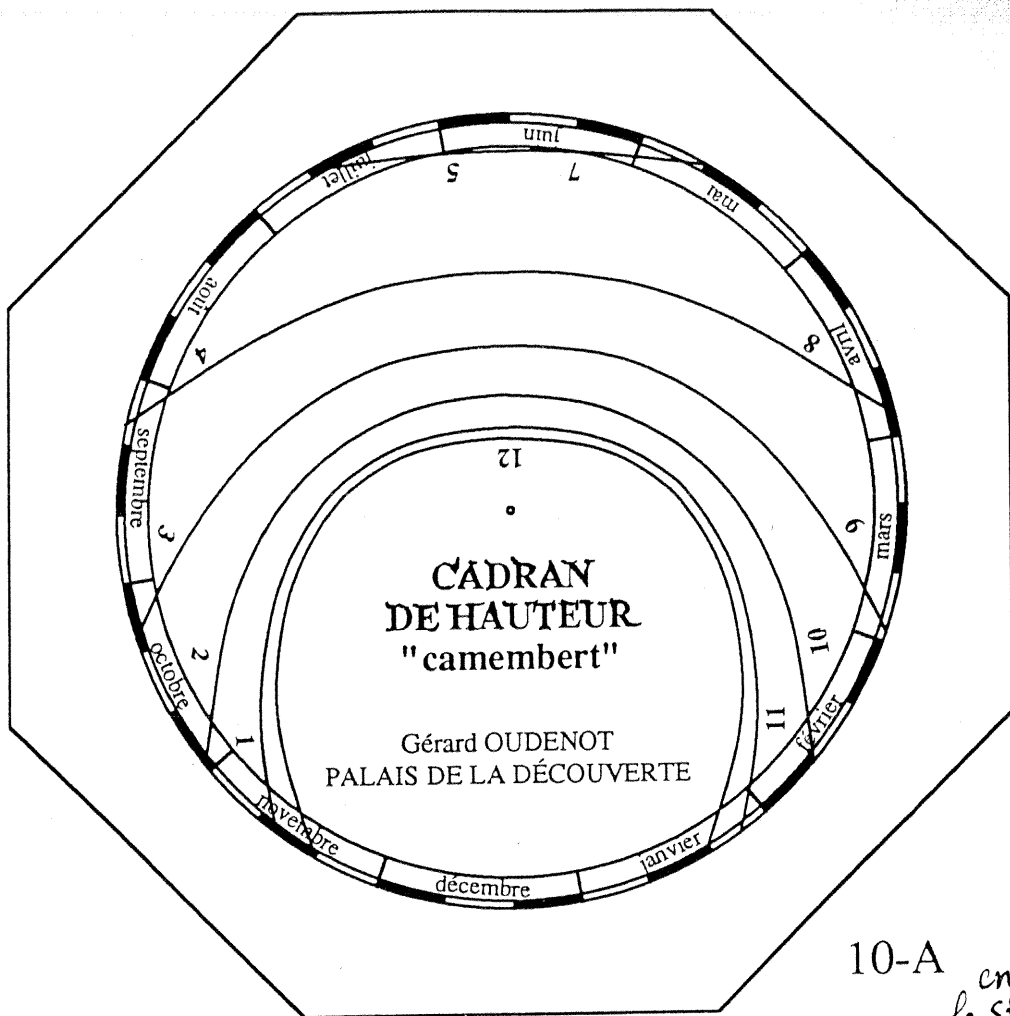


9-E



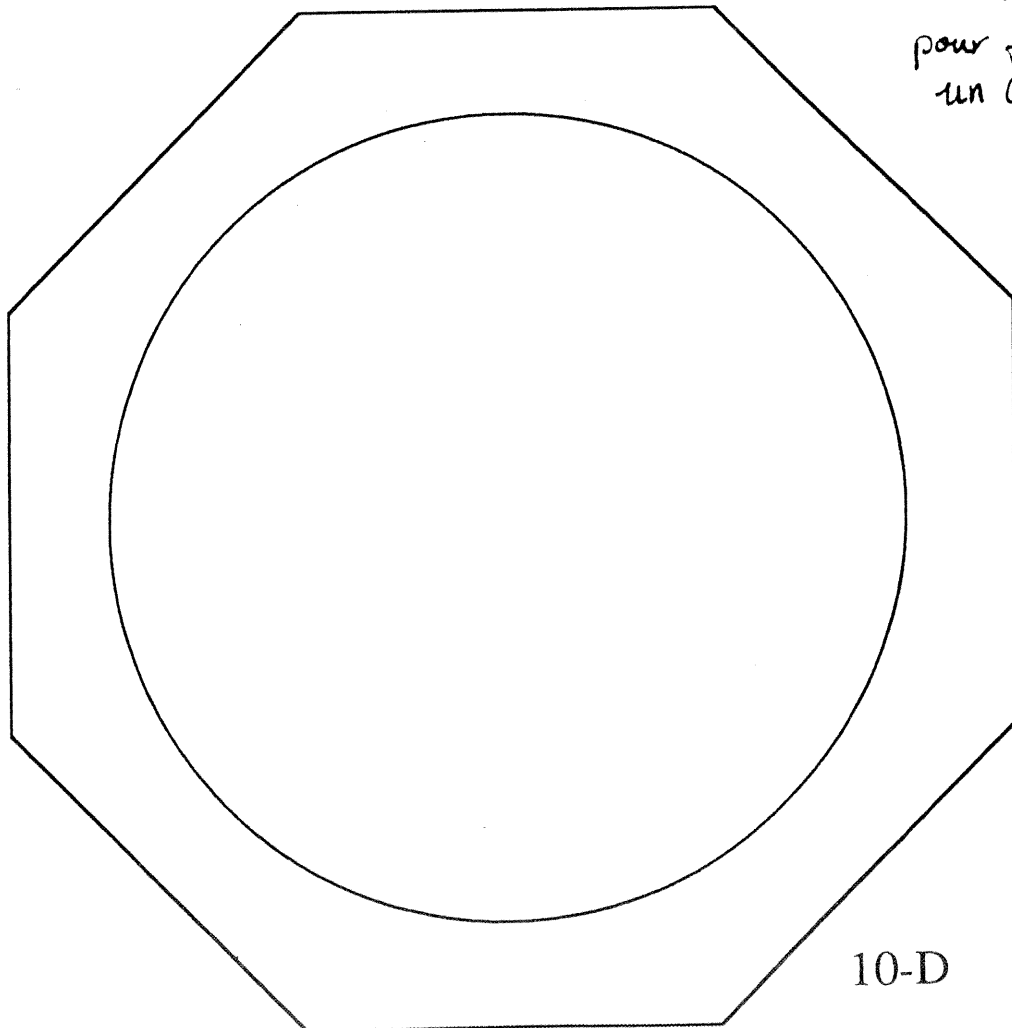
9-A

Partie P-9 à coller sous la table 9.A p 26 -  
pour avoir la surface totale -



**CADRAN  
DE HAUTEUR  
"camembert"**  
Gérard OUDENOT  
PALAIS DE LA DÉCOUVERTE

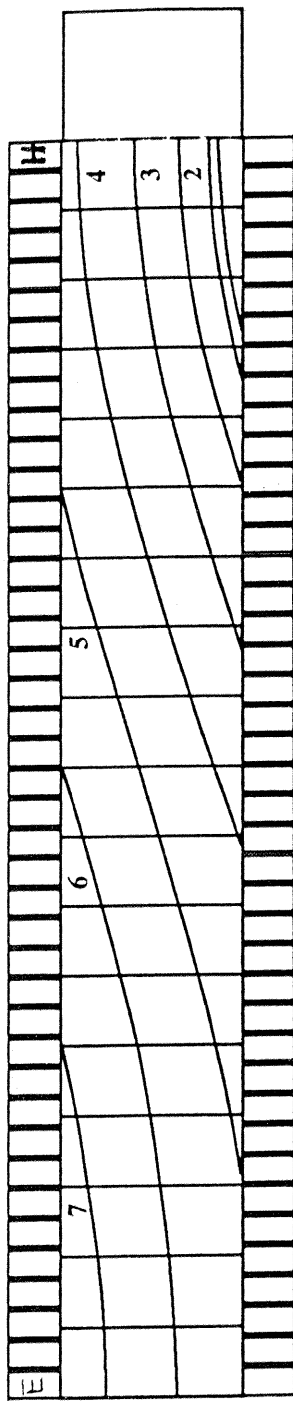
10-A enrouler  
le style  
pour former  
un cône.  
Clou



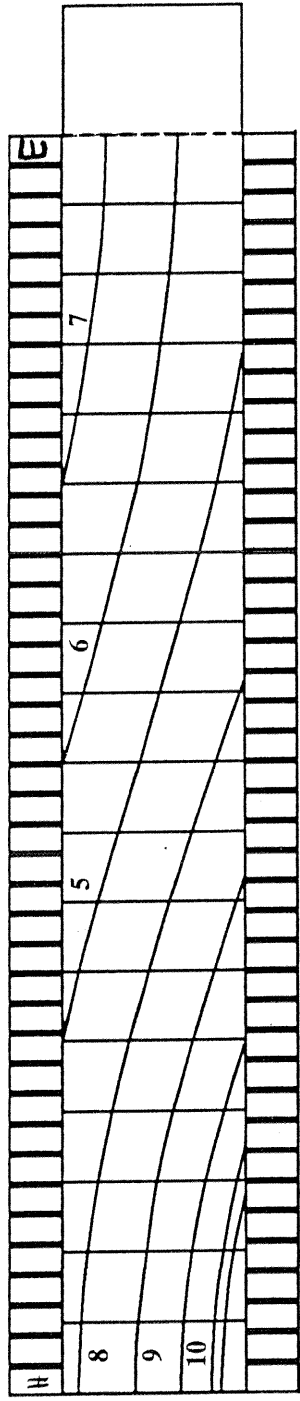
10-D

style.

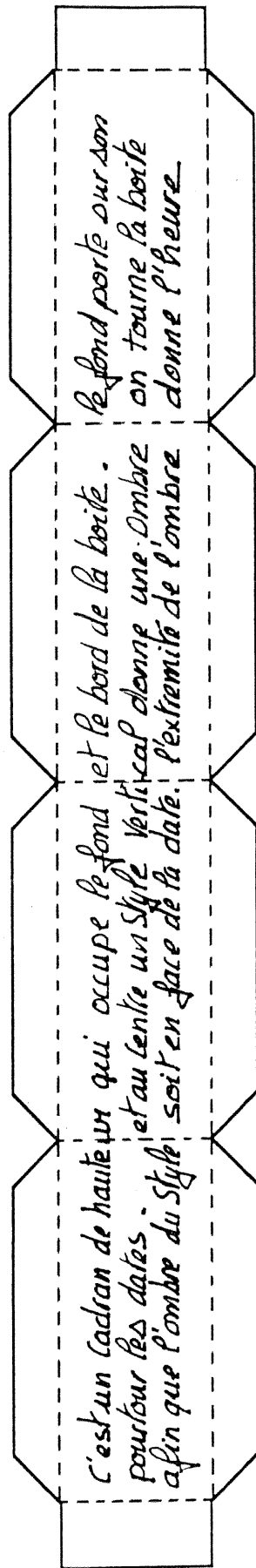
E



10-B

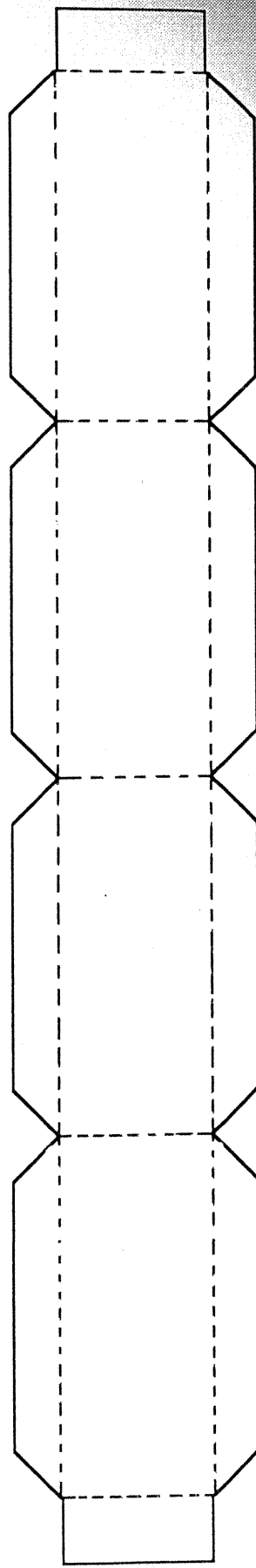


10-B'



*C'est un cadran de haute ur qui occupe le fond et le bord de la boîte. Le fond porte sur son pourtour les dates. et au centre un style vertical donne une ombre afin que l'ombre du style soit en face de la date. l'extrémité de l'ombre donne l'heure.*

10-C



10-C'

## Errata

Couverture - Le cadran analemmatique devrait avoir un style vertical.

Page 0 - ligne 7: ... Département d'Astronomie

Page 1 - ligne 7 et 8: Cette table porte des inscriptions qui permettent la lecture de l'heure.  
ligne 11: ... égyptien, il date du quinzième siècle avant J.C.

Page 2 - ligne 10 à 11: Le plus vieux cadran classique installé sur un édifice, qui existe encore, date de 1493. C'est *l'astrologue au cadran* de la cathédrale de Strasbourg ...

ligne 16 à 18: ... de l'horlogerie, mais les montres et les horloges étaient peu précises et le cadran solaire permettait de les remettre à l'heure.

ligne 21: ... ellipse, le style vertical se déplace le long du petit axe de l'ellipse, ...

ligne 28: ... indépendant de la latitude. Il n'y a aucun réglage à faire.

Page 3 - ligne 7: ... parcouru environ 2,5 millions ...

ligne - 2: Ex: à la latitude de 45°, le jour du solstice d'hiver dure 8 h 36 m, tandis que le jour du solstice d'été dure 15 h 23 m.

Page 4 - ligne 8: sud en été et vers le nord en hiver, à la latitude de 45°.

ligne 24: ... la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon aura varié.

Page 5 - ligne 10: équinoxes. Les lignes des équinoxes sont des droites confondues et celles des solstices des arcs de courbes (hyperboles).

ligne 15 à 23: il y a une à deux heures de décalage. Ce décalage est dû au fait que la Terre se déplace sur son orbite avec une vitesse variable (deuxième loi de Kepler); elle ne parcourt pas la même distance d'un jour sur l'autre et doit donc tourner un peu plus ou un peu moins pour qu'un même lieu revienne en face du Soleil.

De plus...

Page 6 - ligne - 9: devint le *temps universel*.

Page 7 - ligne 11:

1) liée à la date: l'équation du temps (E). Nous pouvons la lire sur le cadran équatorial cylindrique ou sur la figure ci-contre.

2) liée à la longitude (L).

La longitude se lit sur une carte (routière ou géographique); elle est comptée positivement à l'ouest de Greenwich, négativement à l'est. On l'exprime en minutes (15° = 1 heure, 1° = 4 minutes).

3) une liée aux dispositions légales (C).

C = 1 heure pendant la période "d'hiver" (qui va du début octobre à la fin mars).

C = 2 heures pendant la période "d'été" (début avril à la fin septembre).

Ce qui se résume par la relation:

$$T_L = T_S + E + L + C$$

Page 8 - ligne 6: il suffira de relever le style et le cadran de 4°.

Page 12 - **La montre de berger.** Au milieu à droite: ... un léger jeu

**Le cadran solaire "camembert".** En haut à gauche: Collez 10-B et 10-B' en les galbant pour former un cercle. Le coller sur le fond 10-A. Le trait entre les H en face du 20 décembre et celui entre les E en face du 20 juin.

En haut à droite: Collez 10-C et 10-C' ensemble, par leurs languettes ...

ligne - 5: Collez ensemble 10-A 10-B et 10-C 10-D, au dessus.

ligne - 3 à - 2: cône fabriqué avec le triangle, sur le clou; le coller.

Pour réaliser ce cône, découper le triangle de papier à gauche, l'enrouler ...

*Attention, c'est le grand côté de l'angle droit qui s'enroule autour du clou. Le triangle ne dépasse pas du clou!*

Gérard OUDENOT

*Achevé d'imprimer Juin 1996  
sur les presses de  
AGP International-Innou'Imprim  
Paris - Biarritz*