

LES CADRANS SOLAIRES

Louis CAMPION

Ce livret porte sur les cadrans solaires et leur construction, avec des explications sur leur fonctionnement et leur histoire. C'est un guide complet qui montre comment mieux comprendre et peut-être fabriquer son propre cadran solaire. Le cadran solaire fonctionne grâce à un gnomon dont l'ombre indique l'heure. La précision de sa construction dépend de la correction de l'orientation du style, qui doit être parallèle à l'axe de la Terre, c'est-à-dire dirigé vers le pôle céleste. La position du gnomon, particulièrement son élévation, est liée à la latitude du lieu, ce qui montre l'importance de connaître cette latitude pour réaliser un cadran précis. La direction méridienne est déterminée pour que le gnomon soit orienté selon l'axe du pôle céleste, et le tracé du cadran permet d'interpréter l'ombre pour indiquer l'heure. Le livret mentionne plusieurs types, qui se distinguent par leur orientation, leur forme, et leur méthode de lecture du temps solaire selon la position du soleil : Le cadran équatorial, le cadran horizontal, le cadran vertical, le cadran vertical déclinant, le cadran polaire : très particulier, utilisant une configuration adaptée à l'observation polaire et enfin, le cadran oriental ou occidental qui indique l'heure en fonction de l'orientation spécifique du cadran vers l'est ou l'ouest.



SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
DE NANTES

Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports
35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23
Internet : www.san-fr.com - E-mail : san@san-fr.com



N° 6

LES CADRANS SOLAIRES

Louis CAMPION



Les Cahiers de la SAN

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Profiter de l'expérience des chevronnés pour fabriquer votre propre télescope selon des techniques éprouvées.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

Traité de gnomonique ancien

(Dom François BEDOS DE CELLES,
LA GNOMONIQUE PRATIQUE)

**Le sinus total
est au sinus de la déclinaison du plan,
comme la tangente du complément de
la hauteur du pôle sur l'horison du
lieu
est à la tangente de l'angle compris en-
tre la Méridienne & la sousstyle.**

Cadran vertical déclinant :

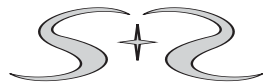
β = angle compris entre la méridienne et la sous-style ;

d = déclinaison du plan ;

φ = hauteur du pôle au-dessus de l'horizon du lieu.

L'analogie ci-après extraite du traité de GNOMONIQUE PRATIQUE s'interprète de nos jours par la relation :

$$\operatorname{tg} \beta = \sin d \times \operatorname{cotg} \varphi$$



LES CADRANS SOLAIRES

Louis CAMPION

Capitaine au long cours

Édition 2011

d'autre de Midi (10h et 14h à 21°,9 ; 9h et 15h à 34°,8). Trouvez si ce cadran pourrait fonctionner dans la région d'Amiens.

On trouve : latitude = 43,8° / 44,1° / 44° aux erreurs de mesure près. Il n'est pas adapté à marcher à Amiens (50°N) ; mais plutôt à Manosque ou Mont-de-Marsan qui frisent les 44° de latitude et d'où il a dû être apporté par un voyageur ou un commerçant peu scrupuleux !

Autre exemple :

Un ami de retour d'Italie connaissant mes goûts pour les cadrans solaires m'a ramené et offert un superbe cadran aux couleurs chaudes, à la devise latine etc.

Les heures défilent en sens inverse des aiguilles d'une montre, c'est un cadran vertical. En fait il est beau et ferait merveille sur un mur.

Les lignes horaires sont ainsi distribuées :

11h et 13h : 12°

10h et 14h : 24°,8

9h et 15h : 38°,6

Le calcul me donne : latitude = 37°. C'est un cadran qui vient de Sicile et qui ne marchera jamais chez nous !!! Comparez avec la table en annexe à ce que l'on devrait trouver chez nous. Il y a plusieurs degrés d'écart !

Les « **Cahiers de la SAN** » sont édités par la Société d'Astronomie de Nantes,
Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports.

35, boulevard Louis-Millet
44300 NANTES

Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23 - E-mail : san@san-fr.com

© Toute reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit,
sans l'autorisation de la Société d'Astronomie de Nantes, est interdite.

la première fois.

On en voit parfois qui ont été restaurés en dépit du bon sens, cadrans horizontaux placés verticalement le long d'un mur ou cadran verticaux posés à plat sur une colonne.

Pour un profane, comment savoir si un cadran est vertical ou horizontal si on le trouve sous un tas de délivres ou au fond d'une cave.

C'est très simple :

- *Sur un cadran horizontal les heures croissent dans le sens des aiguilles d'une montre.*
- *Sur un cadran vertical, elles croissent en sens inverse.*

La connaissance de ce principe évitera d'avoir à placer des cadrans les uns pour les autres.

Un cadran est établi pour servir à une latitude donnée. Si on le déplace, il ne donnera que des indications fantaisistes. Il y a moyen à l'examen attentif d'un cadran de savoir pour quelle latitude il a été calculé.

En face d'un cadran horizontal, ou vertical, on mesure les angles de ses lignes horaires et prenant les relations trigonométriques qui permettent de tracer ces lignes, on trouve la latitude à laquelle il était prévu fonctionner :

Cadran horizontal :

$$\sin \varphi = \operatorname{tg} Z / \operatorname{tg} AH$$

Cadran vertical :

$$\cos \varphi = \operatorname{tg} Z / \operatorname{tg} AH$$

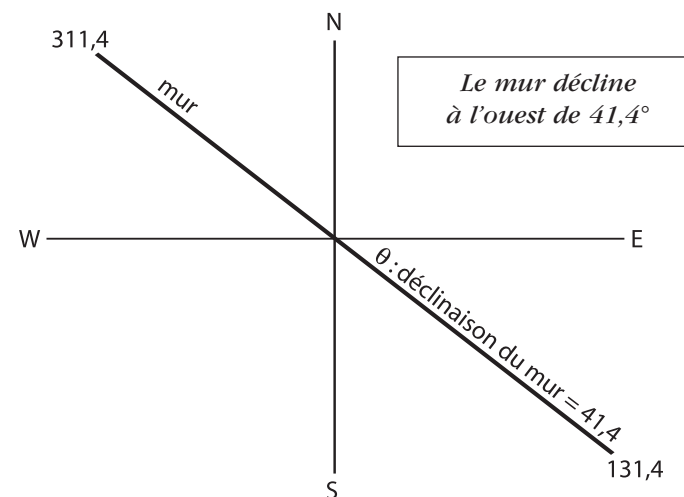
On mesure les angles Z que font les lignes horaires avec celle de midi, on attribue à AH , 15° par heure de part et d'autre de midi et on résoud.

Exemple :

On trouve dans une brocante d'Amiens un cadran dont les heures croissent dans le sens des aiguilles d'une montre. Les lignes horaires sont ainsi tracées : 11 h et 13 h à $10^\circ,5$ de part et

Table des Matières

Principes	8
Heures inégales	8
Temps vrai et temps moyen	9
Valeurs quotidiennes de l'équation du temps	11
Équation du temps ($E = C + R$)	12
Perturbations d'origine humaine :	13
Vocabulaire élémentaire :	14
Différents types de cadrans	16
La construction du cadran solaire	17
Détermination de la direction méridienne	19
Le style	22
Les cadrans	24
Le cadran équatorial	24
Le cadran horizontal	25
Le cadran vertical	28
Le cadran vertical déclinant :	32
Le cadran polaire:	39
Le cadran oriental ou occidental (fig. 19)	40
Pour conclure	43
Annexes	46
Applications	46
Encore plus fort pour les matheux	48
Récupération de vieux cadrans	50
Traité de gnomonique ancien	53



Pour avoir directement la déclinaison du mur, il faut faire :

$$90^\circ - Z$$

(ici $90^\circ - 48,6^\circ = 41,4^\circ$)

Récupération de vieux cadrans

Vous pouvez être amené à trouver dans une brocante, l'on peut vous offrir en cadeau ou vous pouvez acheter au cours de vos voyages un cadran solaire déjà tout tracé, avec son style en place et qui ne semble attendre qu'une place au soleil.

Méfiez-vous de ces objets qui ne vous apporteront jamais rien de bon.

Vieux cadrans décrépits

C'est ceux-là qui sont les plus intéressants car ils ont été construits avec soin pour servir en un endroit bien déterminé. Les hasards de l'histoire et des trocs successifs les ont amenés parfois bien loin de leur lieu d'origine où ils ont été érigés pour

Heure montre - Éq. du Temps - Longit. - Décalage saison

Dans notre cas :

$$\text{Heure solaire (AH)} = 12h15 - 0h06min - 0h06min12s - 2h = 10h02min48s$$

L'angle au pôle, duquel le Soleil doit encore tourner pour atteindre midi est :

$$12h00min00s - 10h02min18s = 1h57min12s$$

que nous appellerons *AH* et que nous transformons en degrés (x 15). Nous avons donc :

$$AH = 29^{\circ}18'$$

Nous connaissons la latitude de Nantes (table) elle est de $47^{\circ}12'$ donc :

$$\phi = 47^{\circ}12' \text{ nord}$$

Nous allons chercher *D* dans la table des déclinaisons au 5 août à midi (on interpole à vue). Elle vaut environ $17,07$ nord ($17^{\circ}04'$ N).

$$D = 17^{\circ}04' \text{ nord}$$

Nous avons tous les éléments pour trouver l'azimut du soleil ce 5 août à 12h15 à Nantes.

Un calcul que nous ne développerons pas ici nous donne : $Z = 48,6$; c'est l'angle que fait le mur avec la méridienne qui elle est au 180° . Donc le mur s'étend :

$$\text{du } 180 - 48,6 = 131,4 \text{ au } 131,4 + 180 = 311,4$$

LES CADRANS SOLAIRES

L'origine du cadran solaire se perd dans la nuit des temps. Il y a bien longtemps que les hommes ont remarqué que l'ombre d'un rocher, d'un arbre ou d'un simple bâton fiché en Terre se déplaçait régulièrement tout au long de la journée.

L'idée leur est vite venue de se servir de l'ombre pour marquer les instants du jour.

Simple piquet à qui une communauté humaine laissait le soin de déterminer l'heure et de régler ses activités !

Appelons-les obélisques, menhirs ou gnomons, leur rôle était le même : projeter une ombre sur tel ou tel détail au sol ou sur un mur, et ainsi : **mesurer le temps**.

Pendant plusieurs milliers d'années l'homme n'a pas eu d'autre moyen pour lui indiquer l'heure.

La journée était naturellement divisée en deux parties, l'une où le cadran était inutilisable, c'était la nuit faite pour se reposer et l'autre, le jour, où tout le monde s'activait. Au fond, le cadran avait la bonne fortune d'être disponible quand on en avait besoin et de prendre son repos en même temps que ses utilisateurs.

sont : l'angle de la sous-stylaire avec la ligne de midi, *CN-CI* sur l'épure (ou angle *NCD*), ainsi que les différentes lignes horaires avant et après midi.

Appliquant les relations du cadran déclinant on trouve (contrôlez sur l'épure !) :

$\beta = 29^\circ$ et les directions des différentes lignes horaires avec C-XII :

$$XI = 14,4$$

$$X = 32,5$$

$$IX = 54,4 \text{ (à gauche de XII sur le cadran)}$$

$$\text{et } XV = 31,7$$

$$XVI = 41,7 \text{ (à droite de la ligne de midi C-XII).}$$

Encore plus fort pour les matheux

Nous avons dit page 33, que pour déterminer la déclinaison du mur, il suffisait (!) de trouver son orientation en appliquant la relation :

$$\cotg Z = (tg D \times \cos \varphi - \sin \varphi \times \cos AH) / \sin AH$$

Les bons matheux arriveront facilement à résoudre une telle formule, mais ce sont les éléments à utiliser qu'ils auront sans doute du mal à trouver. Nous allons proposer un petit exercice pour éclairer les lanternes.

Le 5 août à Nantes, un mur est dirigé exactement dans la direction du soleil à 12h15m de l'heure officielle que marque ma montre. Quel est l'alignement du mur ?

On va prendre le problème à l'envers pour déterminer quelle est l'heure solaire à ce moment (afin d'avoir *AH* qui est l'angle horaire du soleil). Nous appliquerons les corrections dans l'autre sens en faisant :

$$\text{Heure solaire} =$$

Localité	date	cadran	E_t	G	saison	montre
Montaigu	15/2	12 heures	0:14:12	0:05:12	1	= 13h19min
Nantes	21/5	12heures	- 0:03:03	0:06:12	2	= 14h03min
Angers	14/6	12 heures	0:00:05	0:02:03	2	= 14h02min
Yeu	26/7	12 heures	0:06:28	0:09:03	2	= 14h15min
Guérande	30/11	12heures	- 0:11:30	0:09:42	1	= 12h58min

Les calculs précédents ont été menés en utilisant les secondes *pow* les corrections. On arrondit le résultat car il serait présomptueux de vouloir lire l'heure au soleil à la seconde près !

Contrôle des calculs par l'épure

Sur le cadran horizontal de la fig. 8, tracé par l'épure, on trouve par le calcul l'orientation des différentes lignes horaires. Contrôler avec le rapporteur si les deux résultats coïncident.

Le cadran a été dessiné pour une latitude de 48°30' nord.

Faisant :

$$tg z = \sin \phi \, tg AH$$

on trouve :

$$Z_{XI} = 11,3 - Z_X = 23,4 - Z_{IX} = 36,8 - Z_{VIII} = 52,4$$

L'angle Z est l'angle qui sépare chaque ligne horaire de celle de midi (XII).

Opérons de même sur le cadran vertical de la fig. 11, dessiné pour une latitude de 46° nord.

Résolvant :

$$tgz = \cos \phi \, tg AH$$

on trouve :

$$Z_{XI} = 10,5 - Z_X = 21,9 - Z_{IX} = 34,8 - Z_{VIII} = 50,3$$

Le cadran déclinant de la fig. 14 est un cadran prévu pour fonctionner à une latitude de 42° et il décline vers l'ouest de 30°.

Les mesures qui peuvent être prises directement sur l'épure

Principes

Heures inégales

De cette division de la journée en deux parties, jour et nuit, découlait une inégalité dans les heures, voici pourquoi :

Sauf à l'époque de l'équinoxe¹, les jours et les nuits n'ont pas la même longueur. En été les jours sont plus longs que les nuits, et en hiver c'est l'inverse. De plus, tout au long de l'année leur durée varie. Les anciens avaient comme habitude de diviser le jour en douze heures et la nuit en douze heures, d'où nécessairement des heures de jour plus longues en été qu'en hiver, plus courtes en hiver qu'en été et variant d'un jour à l'autre. On appelle ces heures, heures *antiques* ou *bibliques*, ce sont des heures dites temporaires.

À Babylone, où l'on comptait la journée en 24 heures, on la faisait débuter au lever du Soleil. Les heures avaient toutes la même durée, de jour comme de nuit, été comme hiver, mais le départ de la journée (*lever du Soleil*) se déplaçait selon les saisons. C'était le système des heures *babyloniennes*. (Nous avons hérité des babyloniens la division du jour en 24 heures).

Les romains (en Italie) divisant également la journée en 24 heures, la faisaient débuter tous les jours au coucher du Soleil. C'était le système des heures *italiques*.

On voit parfois sur de vieux cadrans solaires un réseau de lignes représentant les heures babyloniennes, un autre représentant les heures italiques. La combinaison des deux réseaux forme un abaque duquel en dehors de toute lecture d'heure on peut tirer de nombreux renseignements astronomiques concernant le lieu où le cadran est érigé (et où il était érigé en premier lieu, si par la suite il a été déplacé).

Le système de mesure du temps s'est perfectionné au cours de l'Histoire et maintenant nous divisons la journée en 24 heures

1 - Du latin *æqui* : égal, et *nox* : nuit. Chacune des deux périodes de l'année où le Soleil passant par l'équateur, le jour a, sur toute la Terre, une durée égale à celle de la nuit.

égales de minuit à minuit. Cependant, rares sont les cadrans, même modernes, (et les pendules) où les heures après midi sont comptées de 12 à 24 (XIII, XIV, XV, XVI etc., ou bien 13, 14, 15, 16 etc.). Ceci est peut-être un reste et un hybride des systèmes babylonique et italique !

Nous n'envisagerons que le système moderne avec éventuellement évocation des heures *du matin* et *de l'après-midi*, pour faire un peu rétro comme il sied à un cadran solaire.

Temps vrai et temps moyen

À l'origine comme on l'a vu, même des heures inégales suffisaient à régler les activités humaines; mais par la suite il s'est avéré que ce système devenait malcommode et inadapté. C'est pour cela que l'on fut appelé à diviser la journée en 24 heures égales. Égales, ou du moins apparemment égales. Car avec le temps, on se rendit compte que tout au long de l'année il se produisait une dérive dans un sens ou dans l'autre et que les heures, comme les journées, n'avaient pas la même durée.

Ceci est dû au fait que la trajectoire apparente du Soleil autour de la Terre, n'est pas un cercle, mais une ellipse, et en vertu de la *2^e loi de KEPLER*, ou *loi des aires*, la vitesse angulaire du Soleil varie le long de son orbite apparente². Cette variation de vitesse amène des perturbations dans la mesure du temps exact par le Soleil.

L'erreur ainsi causée s'appelle *l'équation du centre*³, elle se désigne par *C* et a comme valeur :

$$C = 2 e \sin(\omega.t)$$

où e = excentricité de l'orbite Terrestre = 0,0167
 ω = vitesse angulaire moyenne de la Terre

2 - Nous savons bien depuis Copernic que c'est la Terre qui tourne autour du Soleil et qu'il faudrait parler de trajectoire et d'orbite de la Terre. Mais les choses restent égales à elles-mêmes si on considère les apparences au lieu de la réalité, et c'est bien plus simple à expliquer et à comprendre.

3 - Le mot équation, mot ancien, veut dire ici correction, c'est la valeur qu'il faut apporter à une mesure observée pour avoir la mesure réelle.

Annexes

Applications

Après avoir parcouru ce fascicule sur les cadrans solaires, il va falloir mettre en pratique la plupart de ce qui y est exposé. Ce qui suit a pour but de vous faire réfléchir en vous incitant à rechercher les éléments et à les utiliser à bon escient.

Utilisation d'un cadran solaire :

Dans une localité désignée, on lit l'heure sur le cadran, un certain jour de l'année. Quelle heure est-il ?

cadran = heure solaire lue

E_t = équation du temps

G = longitude du cadran

saison = décalage saisonnier

montre = heure officielle des horloges publiques du pays.
 (Montre = cadran + E_t + G + saison)

Localité	Date	Cadran	E_t	G	Saison	montre
Pouancé	10/3	10:47	0h10m27s	0h04m42s	1	= 12h03min
Vannes	17/11	15:15	- 0h15m06s	0h10m54s	1	= 16h11min
Le Croisic	18/2	12:30	0h14m0ls	0h10m00s	1	= 13h54min
Blain	5/8	09:20	0h06m0s	0h07m0s	2	= 11h33min
Redon	9/9	17:50	- 0h02m30s	0h08m04s	2	= 19h55min

Installation d'un cadran solaire

Afin d'orienter le cadran, il faut chercher la direction de la méridienne, où se trouve le soleil à midi cadran.

Trouver l'heure officielle (de votre montre) au moment où le soleil passe au Sud (midi solaire)

On utilisera la même relation que ci-dessus en écrivant :
cadran = 12 heures.

Heures du matin		Latitudes décimales en degrés et dixièmes								Heures du soir	
46,6	46,8	47	47,2	47,4	47,5	47,6	47,8	48			
11,75	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	12,25	
11,50	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,0	12,50	
11,25	7,8	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,6	7,6	7,6	12,75	
11,00	10,4	10,4	10,4	10,3	10,3	10,3	10,2	10,2	10,2	13,00	
10,75	13,1	13,1	13,0	13,0	12,9	12,9	12,9	12,8	12,8	13,25	
10,50	15,9	15,8	15,8	15,7	15,7	15,6	15,6	15,5	15,5	13,50	
10,25	18,7	18,7	18,6	18,5	18,5	18,4	18,4	18,3	18,3	13,75	
10,00	21,6	21,6	21,5	21,4	21,3	21,3	21,3	21,2	21,1	14,00	
9,75	24,7	24,6	24,5	24,4	24,3	24,3	24,3	24,2	24,1	14,25	
9,50	27,8	27,7	27,6	27,5	27,4	27,4	27,4	27,3	27,2	14,50	
9,25	31,1	31,0	30,9	30,8	30,7	30,6	30,6	30,5	30,4	14,75	
9,00	34,5	34,4	34,3	34,2	34,1	34,0	34,0	33,9	33,8	15,00	
8,75	38,1	38,0	37,9	37,8	37,7	37,6	37,6	37,5	37,3	15,25	
8,50	41,8	41,7	41,6	41,5	41,4	41,4	41,3	41,2	41,1	15,50	
8,25	45,8	45,7	45,6	45,5	45,4	45,3	45,3	45,2	45,0	15,75	
8,00	50,0	49,9	49,8	49,6	49,5	49,5	49,4	49,3	49,2	16,00	
7,75	54,3	54,2	54,1	54,0	53,9	53,9	53,8	53,7	53,6	16,25	
7,50	58,9	58,8	58,7	58,6	58,5	58,5	58,4	58,3	58,2	16,50	
7,25	63,7	63,6	63,5	63,5	63,4	63,3	63,3	63,2	63,1	16,75	
7,00	68,7	68,6	68,6	68,5	68,4	68,4	68,3	68,3	68,2	17,00	
6,75	73,9	73,8	73,7	73,7	73,6	73,6	73,6	73,5	73,4	17,25	
6,50	79,2	79,1	79,1	79,0	79,0	79,0	79,0	78,9	78,9	17,50	
6,25	84,6	84,5	84,5	84,5	84,5	84,5	84,4	84,4	84,4	17,75	
6,00	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	18,00	

Table des angles formés par les lignes horaires et la verticale C-XII.

Cadrans horizontaux.

En heures et degrés décimaux (9,75 = 9h45min)

(0,0172 radian/jour ou 0,9856 degré/jour)

 t = nombre de jours écoulés depuis le passage au périhélie.

Une autre erreur affecte la mesure du temps par le Soleil, c'est la réduction à l'équateur, elle se désigne par R et a comme valeur :

$$R = - \operatorname{Tg} 2 (i/2) . \sin(2.(\mathcal{L} + \omega . t))$$

où i = obliquité de l'écliptique (23°27') $\mathcal{L}$ = longitude céleste du périhélie ω et t comme plus haut

Cette erreur est due au fait que le Soleil se déplace sur l'écliptique et que les heures sont comptées sur l'équateur céleste.

La somme de ces deux erreurs : $E_t = C + R$ s'appelle l'*équation du temps*, elle a une très grande importance en gnomonique⁴.

Donc pour régler les activités humaines il a fallu se dégager de ce Soleil capricieux et imaginer un Soleil fictif qui se déplacerait d'un mouvement régulier et donnerait des heures régulières.

On a pris un très grand nombre de jours solaires et on en a fait la moyenne que l'on a appelé *jour moyen*. La 24^e partie de ce jour moyen a été appelée *heure moyenne*, etc. Ce sont ces heures moyennes qui président à nos activités, qui figurent sur nos annuaires, qui sont indiquées par nos montres mécaniques ou à quartz, mais quoi qu'il en soit, le Soleil continue à tourner capricieusement et ne nous donne que des heures solaires ou heures vraies sur tous les cadrans qu'il éclaire.

Pour obtenir l'heure moyenne en partant de l'heure solaire

4 - Pour l'installation et l'utilisation d'un cadran solaire, s'il vous faut absolument tenir compte de l'équation du temps, vous n'aurez jamais à la calculer, rassurez-vous. Des tables et des courbes toutes faites, calculées par de savants astronomes, vous donnent pour tous les jours de l'année la valeur de cette correction à appliquer à l'heure solaire. Nous les fournissons dans cet ouvrage, pour vous servir.

vraie du cadran il faudra appliquer la correction citée plus haut, à savoir, l'*équation du temps*. Et, et l'on aura :

$$\text{HEURE MOYENNE} = \text{HEURE SOLAIRE} + \text{ÉQUATION DU TEMPS}$$

Valeurs quotidiennes de l'équation du temps

Jours	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1	3.22	13.33	12.29	4.03	- 2.52	- 2.20	3.40	6.18	0.09	- 10.09	- 16.22	- 11.08
2	3.50	13.41	12.17	3.45	- 2.59	- 2.11	3.52	6.14	- 0.10	- 10.29	- 16.23	- 10.46
3	4.18	13.48	12.05	3.27	- 3.06	- 2.01	4.03	6.10	- 0.29	- 10.48	- 16.24	- 10.22
4	4.45	13.54	11.52	3.09	- 3.12	- 1.51	4.14	6.05	- 0.49	- 11.06	- 16.24	- 9.59
5	5.13	14.00	11.39	2.52	- 3.18	- 1.41	4.25	6.00	- 1.09	- 11.24	- 16.23	- 9.34
6	5.39	14.04	11.25	2.35	- 3.23	- 1.30	4.35	5.54	- 1.29	- 11.42	- 16.21	- 9.09
7	6.06	14.08	11.11	2.18	- 3.27	- 1.19	4.45	5.47	- 1.49	- 12.00	- 16.18	- 8.44
8	6.32	14.12	10.57	2.01	- 3.31	- 1.08	4.55	5.40	- 2.09	- 12.17	- 16.15	- 8.18
9	6.57	14.14	10.42	1.44	- 3.34	- 0.56	5.05	5.32	- 2.30	- 12.34	- 16.11	- 7.51
10	7.22	14.15	10.27	1.28	- 3.37	- 0.45	5.13	5.24	- 2.50	- 12.50	- 16.05	- 7.24
11	7.46	14.16	10.11	1.12	- 3.39	- 0.32	5.22	5.15	- 3.11	- 13.06	- 15.59	- 6.57
12	8.10	14.16	9.56	0.66	- 3.41	- 0.20	5.30	5.06	- 3.32	- 13.21	- 15.53	- 6.30
13	8.33	14.16	9.40	0.41	- 3.42	- 0.08	5.38	4.55	- 3.53	- 13.36	- 15.45	- 6.02
14	8.55	14.14	9.23	0.25	- 3.42	0.05	5.45	4.44	- 4.15	- 13.50	- 15.37	- 5.33
15	9.17	14.12	9.07	0.11	- 3.42	0.18	5.51	4.33	- 4.36	- 14.04	- 15.27	- 5.06
16	9.38	14.09	8.50	0.04	- 3.41	0.30	5.57	4.21	- 4.57	- 14.18	- 15.17	- 4.36
17	9.59	14.05	8.33	- 0.18	- 3.40	0.43	6.03	4.09	- 5.19	- 14.30	- 15.06	- 4.07
18	10.19	14.01	8.16	- 0.32	- 3.38	0.56	6.08	3.56	- 5.40	- 14.42	- 14.54	- 3.37
19	10.38	13.55	7.58	- 0.45	- 3.36	1.09	6.12	3.43	- 6.02	- 14.54	- 14.42	- 3.08
20	10.56	13.50	7.40	- 0.58	- 3.33	1.22	6.16	3.29	- 6.23	- 15.05	- 14.28	- 2.38
21	11.13	13.43	7.23	- 1.11	- 3.30	1.35	6.20	3.14	- 6.44	- 15.15	- 14.14	- 2.09
22	11.30	13.36	7.05	- 1.23	- 3.26	1.48	6.22	3.00	- 7.06	- 15.25	- 13.59	- 1.39
23	11.46	13.28	6.47	- 1.35	- 3.22	2.01	6.25	2.44	- 7.27	- 15.34	- 13.43	- 1.09
24	12.01	13.20	6.28	- 1.46	- 3.17	2.14	6.26	2.28	- 7.48	- 15.42	- 13.26	- 0.39
25	12.15	13.11	6.10	- 1.57	- 3.11	2.27	6.27	2.12	- 8.09	- 15.50	- 13.09	- 0.09
26	12.29	13.01	5.52	- 2.08	- 3.05	2.39	6.28	1.56	- 8.29	- 15.57	- 12.51	0.20
27	12.42	12.51	5.34	- 2.18	- 2.59	2.52	6.28	1.39	- 8.50	- 16.03	- 12.32	0.50
28	12.53	12.40	5.15	- 2.27	- 2.52	3.04	6.27	1.21	- 9.10	- 16.08	- 12.12	1.20
29	13.05		4.57	- 2.36	- 2.45	3.16	6.26	1.04	- 9.30	- 16.13	- 11.51	1.49
30	13.15		4.39	- 2.44	- 2.37	3.28	6.24	0.46	- 9.50	- 16.17	- 11.30	2.18
31	13.24		4.21		- 2.29		6.21	0.27		- 16.20		2.47

Fig. 1

$$\text{Heure moyenne} = \text{Heure solaire} + \text{Équation du temps}$$

Tenir compte du signe ± en appliquant la correction

Heures du matin		LATITUDES ou HAUTEURS DU PÔLE								Heures du soir	
		46°40'	46°50'	47°00'	47°10'	47°20'	47°30'	47°40'	47°50'	48°00'	
45	2°44'	2°44'	2°45'	2°45'	2°46'	2°46'	2°46'	2°46'	2°47'	2°47'	15
30	5°28'	5°29'	5°30'	5°31'	5°32'	5°33'	5°34'	5°34'	5°35'	5°35'	30
15	8°14'	8°15'	8°17'	8°18'	8°19'	8°21'	8°22'	8°23'	8°24'	8°24'	45
XI	11°02'	11°04'	11°05'	11°07'	11°09'	11°11'	11°12'	11°14'	11°16'	11°16'	I
45	13°52'	13°54'	13°57'	13°59'	14°01'	14°03'	14°05'	14°07'	14°10'	14°10'	15
30	16°46'	16°49'	16°51'	16°54'	16°55'	16°59'	17°02'	17°04'	17°07'	17°07'	30
15	19°44'	19°47'	19°50'	19°53'	19°56'	19°59'	20°02'	20°05'	20°08'	20°08'	45
X	22°47'	22°50'	22°54'	22°57'	23°00'	23°04'	23°07'	23°10'	23°13'	23°13'	II
45	25°55'	25°59'	26°03'	26°06'	26°10'	26°14'	26°17'	26°21'	26°24'	26°24'	15
30	29°10'	29°14'	29°18'	29°22'	29°26'	29°30'	29°34'	29°38'	29°42'	29°42'	30
15	32°32'	32°36'	32°41'	32°45'	32°49'	32°53'	32°57'	33°02'	33°06'	33°06'	45
IX	36°02'	36°06'	36°11'	36°15'	36°20'	36°24'	36°28'	36°33'	36°27'	36°27'	III
45	39°40'	39°45'	39°50'	39°54'	39°59'	40°03'	40°08'	40°12'	40°17'	40°17'	15
30	43°28'	43°33'	43°38'	43°42'	43°47'	43°51'	43°56'	44°01'	44°05'	44°05'	30
15	47°26'	47°30'	47°35'	47°40'	47°44'	47°49'	47°54'	47°58'	48°03'	48°03'	45
VIII	51°34'	51°38'	51°43'	51°47'	51°52'	51°56'	52°01'	52°05'	52°09'	52°09'	IV
45	55°52'	55°56'	56°01'	56°05'	56°09'	56°13'	56°18'	56°22'	56°26'	56°26'	15
30	60°20'	60°25'	60°29'	60°33'	60°36'	60°40'	60°44'	60°48'	60°52'	60°52'	30
15	64°59'	65°03'	65°06'	65°10'	65°13'	65°17'	65°20'	65°24'	65°27'	65°27'	45
VII	69°47'	69°50'	69°53'	69°56'	69°59'	70°02'	70°05'	70°08'	70°10'	70°10'	V
45	74°42'	74°45'	74°47'	74°50'	74°52'	74°54'	74°57'	74°59'	75°01'	75°01'	15
30	79°44'	79°46'	79°48'	79°50'	79°51'	79°53'	79°54'	79°56'	79°57'	79°57'	30
15	84°51'	84°52'	84°53'	84°54'	84°54'	84°55'	84°56'	84°57'	84°58'	84°58'	45
VI	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	VI

Table des angles formés par la méridienne & les lignes horaires.
Cadrans horizontaux.

Pour conclure

Je pense avoir fait le tour des cadrans les plus répandus bien que le sujet est loin d'avoir été épuisé !

L'amateur désireux d'approfondir ses connaissances en gnomonique pourra consulter de véritables traités où il trouvera en détail tout ce qui concerne les cadrans solaires.

Le talent et l'enthousiasme de chacun pourra s'exprimer dans la réalisation d'un cadran solaire dont certains sont de véritables chefs d'œuvre artistiques.

Mais dans toute œuvre d'art il faut respecter les données de base élémentaires, c'est ce que permettra de faire ce modeste ouvrage afin que vos réalisations ne pèchent pas par l'ignorance des règles de la gnomonique.

Combien de beaux cadrans qui ne marqueront jamais l'heure car ils ont été édifiés par des personnages qui ne connaissaient rien des facéties du Soleil ni du calcul des différentes heures : vraies, moyennes, ni de l'équation du temps. En un mot, installés en dépit du bon sens !

Louis CAMPION
Capitaine au Long Cours



Équation du temps ($E = C + R$)

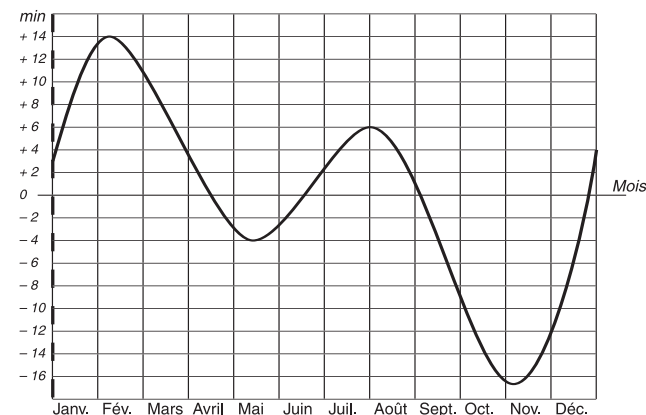


Fig. 2 - Courbe de l'équation du temps

L'équation du temps varie tout au long de l'année. Une table ou une courbe sont les accessoires obligatoires d'un bon cadran solaire.

Très souvent la courbe des équations du temps est gravée, ou peinte sur le cadran lui-même. Celle que nous vous présentons pourra vous servir pour vos besoins.

À l'étude d'une telle courbe, on remarque que l'équation du temps s'annule quatre fois par an :

- vers le 16 avril,
- vers le 14 juin,
- vers le 1^{er} septembre,
- vers le 25 décembre.

Les maxima et minima ont lieu :

- vers le 11 février : + 14 min 19 sec
- vers le 15 mai : - 3 min 45 sec
- vers le 26 juillet : + 6 min 26 sec
- vers le 3 novembre : - 16 min 23 sec

Si donc le 11 février je lis sur mon cadran solaire qu'il est 14h30min, comme la courbe m'indique une correction de

+14 min, il sera effectivement 14 h 44 min du temps moyen. À la même heure solaire le 3 novembre il sera effectivement 14 h 14 min du temps moyen. Entre ces deux dates, pour la même indication du cadran, on a une différence de temps moyen de presque 31 minutes. D'où la nécessité de la correction.

Perturbations d'origine humaine :

Si à la suite de cette correction on obtient le temps moyen, il ne faut pas croire pour autant posséder le temps officiel des horloges publiques de notre pays. Loin de là ! Des perturbations supplémentaires ont été introduites ces derniers temps par les hommes, et force nous est d'en tenir compte pour l'évaluation de l'heure légale.

Tout d'abord, l'institution des *fuseaux horaires* à la fin du XIX^e siècle qui avait pour but d'uniformiser l'heure dans un pays entier. On prend comme heure unique celle du milieu du fuseau, et toutes les provinces du pays vivent à cette heure. (Selon la taille du pays bien sûr !). La France entière est officiellement à l'heure du fuseau de Greenwich. Toutes les localités situées à l'est de ce méridien sont légalement en retard sur l'heure solaire, et celles situées à l'ouest sont légalement en avance sur l'heure solaire. C'est notre cas dans la France de l'Ouest. Le décalage sera d'autant plus grand que nous serons éloignés du méridien de Greenwich. Pour l'ouest de notre pays, il sera nul à Saumur qui se trouve presque sur ce méridien, il sera de 6 minutes à Rennes et Nantes, et de 18 minutes à Brest.

On calcule ce décalage en multipliant la longitude par 4 minutes. ($1^\circ = 4$ min de temps).

Un autre décalage a été introduit, c'est l'usage de l'*heure d'hiver* en avance d'une heure, et de l'*heure d'été* en avance de deux heures sur celle du fuseau.

Il faudra nécessairement en tenir compte pour déterminer l'heure légale en partant des indications du cadran solaire.

Pour nous résumer, partant de l'heure marquée par le Soleil, il faudra corriger :

égal à la latitude avec l'horizontale *HR*. *CA* sera la ligne horaire des 6 heures et sera aussi la sous-stylaire.

Prendre sur la sous-stylaire *CA* le point *A* tel que *AP = hauteur du style au-dessus de la table* (voir bas figure 19).

Avec *A* comme centre tracer un cercle que l'on divisera de 15 en 15° et dont les rayons aboutiront aux points horaires sur l'équinoxiale *EN*.

Tirer les parallèles à *CA* qui passent par ces points et l'on aura les lignes horaires.

Les lignes au-dessus de la sous-stylaire marqueront les heures qui précèdent 6 heures du matin, et les autres, au-dessous, celles qui suivent.

À midi l'ombre du style ne porte plus sur le cadran.

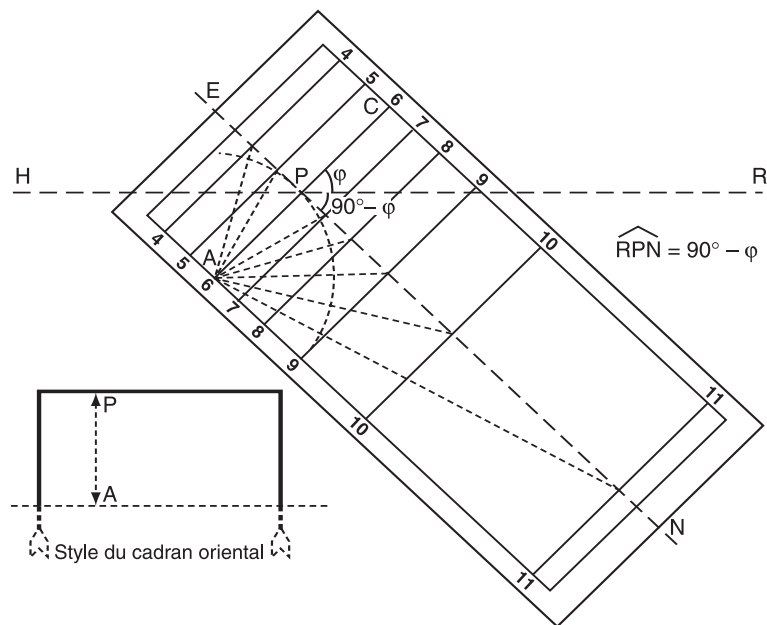


Fig. 19 - Tracé du cadran oriental

Le cadran oriental ou occidental (fig. 19)

C'est un cas particulier du cadran vertical déclinant. Sa déclinaison égale 90° puisqu'il regarde l'est ou l'ouest. Comme les cadrans polaires, le style est parallèle à la table et les lignes horaires sont parallèles entre elles, mais la table est verticale. Ce cadran ne peut indiquer l'heure que le matin (cadran oriental) ou l'après-midi (cadran occidental).

On le construit de la façon suivante (nous considérerons un **cadran oriental**) :

Tracer l'horizontale **HR** et y choisir un point **P** au-dessus duquel sera placé le style lorsque le cadran sera achevé.

Tirer par **P** la droite **EN** qui fera un angle de $90^\circ - \varphi$ (complément de la latitude) avec **HR**. Cette droite **EN** sera l'équinoxiale.

Mener **CA** perpendiculaire à **EN** en **P**, elle fera un angle

- 1 - de l'équation du temps E_p (avec le signe de la courbe)
- 2 - de la longitude transformée en heure (est : - et ouest : +)
- 3 - du décalage saisonnier : + 1 heure en hiver et + 2 heures en été pour obtenir l'heure légale dans notre pays à cet instant.

Exemples : À Nantes.

Le 15 janvier le cadran indique 10h15. Trouver l'heure légale.

Il est :

$$10h15 + 0h08 + 0h06 + 1h00 = 11h29$$

(Cadran) (Ét.) (Longitude) (Hre d'hiver)

Toujours à Nantes.

Le 15 mai le cadran indique encore 10h15. Trouver l'heure légale.

Il est :

$$10h15 - 0h04 + 0h06 + 2h00 = 12h17$$

(Cadran) (Ét.) (Longitude) (Hre d'été)

Vocabulaire élémentaire :

Gnomonique : c'est la science des cadrans solaire, leur étude, leur construction, leur histoire.

Table : c'est la surface sur laquelle sont tracées les lignes horaires.

Style : c'est la tige porte-ombre, le style est orienté selon l'axe du monde. Tous les cadrans à la surface de la Terre ont leurs styles parallèles.

Centre du cadran : Intersection de la table et du style

Méridien du lieu : grand cercle céleste qui passe par les deux pôles et le zénith du lieu. À midi, le Soleil passe au méridien. La détermination du méridien a une grande importance pour le calcul et l'installation d'un cadran.

Latitude d'un lieu : distance angulaire mesurée depuis l'équateur jusqu'au lieu considéré. C'est également la hauteur du pôle

céleste au-dessus de l'horizon, chez nous c'est tout simplement la hauteur de l'étoile polaire. Il faut connaître la latitude pour dresser le style du cadran.

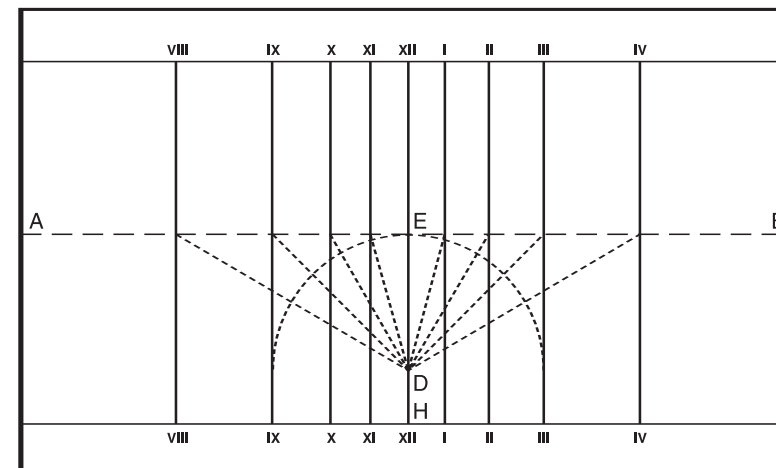


Fig. 18 - Tracé du cadran polaire

Il a l'apparence de la fig. 17. Sa table est parallèle à l'axe du monde, perpendiculaire au méridien et à l'équateur. C'est un cadran équatorial développé selon un plan tangent. Il ne peut pas marquer les 6 heures ni les 18 heures, car alors l'ombre de son style est parallèle au cadran. Ce cadran n'a pas de centre et toutes les lignes horaires sont parallèles entre elles et à l'axe du monde.

On le construit de la façon suivante qui est la plus simple qui soit (fig. 18).

Tracer la ligne **AB** parallèle à l'horizon et mener **CEH** perpendiculaire à **AB**

Sur **CEH** choisir un point **D** tel que **DE** soit égal à la distance du style à la table (hauteur du style au-dessus de la table).

Avec **D** comme centre, tracer un demi-cercle que l'on divisera de 15 en 15° (Ou bien en 12 parties égales).

Les rayons ainsi tracés seront prolongés jusqu'à **AB** où ils détermineront les points horaires.

Tirer sur ces points horaires des parallèles à **CEH** qui seront les lignes horaires du cadran polaire. **CEH** sera la ligne de midi.

Détermination du style :

De O abaissons une perpendiculaire sur xy , soit N le pied de cette perpendiculaire.

Fabriquons la forme CNO (bas de fig. 11), c'est un triangle rectangle en N .

CN = sous-styloire,

CO = style,

NO = style-droit (voir fig. 13 et 14)

Plaçant NO perpendiculaire au cadran en N , le côté CN de la forme sur CN du support, l'arête CO représentera le style en longueur et en orientation.

Il sera nécessairement de biais sur le mur.

Le tracé d'un tel cadran par le calcul dépasse le cadre de ce modeste ouvrage, de même que l'étude du cadran incliné où la table n'est ni horizontale ni verticale. (Nous donnons plus loin les relations qui permettent de trouver les différents angles sur un tel cadran, pour contrôle).

Il y a encore deux autres types de cadrans intéressants et faciles à réaliser :

- le cadran polaire,
- le cadran oriental ou occidental.

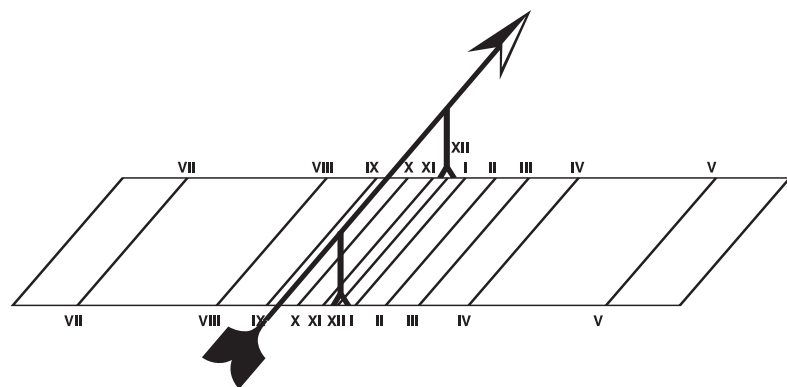
Le cadran polaire

Fig.17 - Cadran polaire

Différents types de cadrans

On trouve de nos jours une grande variété de cadrans selon l'imagination et l'ingéniosité du constructeur. On sait et on peut tout construire en matière de cadrans. Néanmoins ils rentrent dans un nombre limité de types que nous allons énumérer.

Un cadran peut être équatorial, horizontal, vertical ou incliné.

Le cadran équatorial

C'est le plus simple, il est parfois très spectaculaire mais demande peu de calculs. Sa table est parallèle à l'équateur. Les grandes sphères métalliques hérissées de flèches érigées au milieu de jardins publics sont des cadrans équatoriaux.

Le cadran horizontal

Le plus simple après l'équatorial, et le plus répandu. Il dérive du piquet fiché en Terre, de nos ancêtres du paléolithique.

Le cadran vertical

Il y en a plusieurs variétés :

- méridien, s'il fait exactement face au midi,
- déclinant, s'il regarde une autre direction que le sud.

Le cadran incliné

Il n'est ni horizontal, ni vertical, il peut être méridien ou déclinant. Les cadrans inclinés-déclinants sont ces cadrans compliqués et délicats que l'on construirait sur un toit en pente orienté au sud-est par exemple, ou sur l'arrondi d'un escalier. On conçoit que les difficultés de construction croissent en allant du cadran équatorial ou horizontal simple à ces cadrans inclinés-déclinants super sophistiqués.

La construction du cadran solaire

La première chose à connaître lorsque l'on veut construire un cadran solaire est la position géographique exacte du lieu où sera érigé l'appareil.

Pour ce qui concerne la latitude, une précision du demi degré sera suffisante, mais la longitude demande à être connue plus précisément ; car 15' de longitude (un 1/4 de degré) font une minute de temps.

Tout dépendra de la finesse que vous voulez obtenir dans la détermination de l'heure par le Soleil. Il n'est pas difficile d'obtenir les coordonnées d'un lieu sur la Terre.

Voir la carte jointe qui figure un périmètre passant par Vannes, Rennes, Laval, Angers, La Roche sur Yon avec Nantes au centre. Elle est quadrillée en degrés de latitude nord et de longitude ouest pour permettre à l'amateur éventuel de déterminer avec une précision suffisante les coordonnées

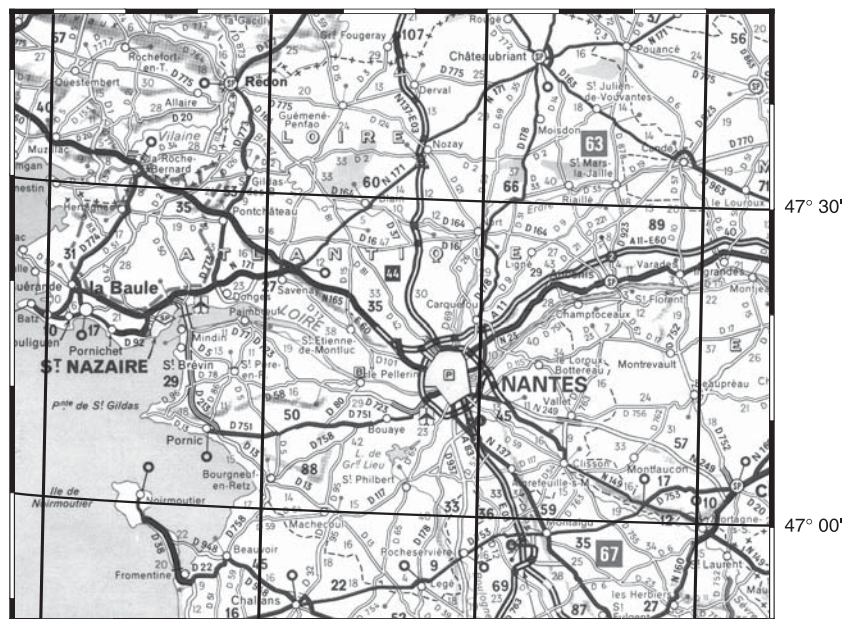


Fig. 3 - Région de Nantes

- φ est positif si nord, négatif si sud ;
- d est la déclinaison du cadran (positif s'il est tourné vers l'ouest et négatif vers l'est) ;
- α = angle du style avec la sous-style ;
- β = angle de la sous-style avec la ligne de midi ;
- γ = angle horaire du soleil au moment où l'ombre du style tombe sur la sous-style ;
- z = angle formé par les lignes horaires avec la ligne de midi.

Cadran vertical déclinant. La déclinaison d peut avoir toutes les valeurs de - 90 à 90.

Sur le cadran ci-dessus où :

$$d = - 72^\circ 15' \text{ (est)}$$

$$\varphi = 48^\circ 51' \text{ (nord) (c'est écrit dessus !)}$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \cos d \cos \varphi \\ \operatorname{tg} \beta &= \sin d \cotg \varphi \\ \operatorname{tg} \gamma &= \operatorname{tg} d / \sin \varphi \\ \operatorname{tg} z &= \cos \varphi / (\cos d \cotg AH + \sin d \sin \varphi) \end{aligned}$$

le calcul nous donne :

$$\alpha = 11^\circ 34'$$

$$\beta = 39^\circ 46'$$

$$\gamma = 76^\circ 32'$$

Pour $AH = 30^\circ$ (X heures) on a $z = 27^\circ 51'$

Vous pouvez vérifier : le style c'est la flèche, la sous-style presque confondue avec la ligne horaire de VII heures est la ligne en pointillés cx sur laquelle repose le support du style. $C-XII$, verticale est la ligne de midi et l'angle $XII-c-X$ est l'angle z pour $AH = 30^\circ$.

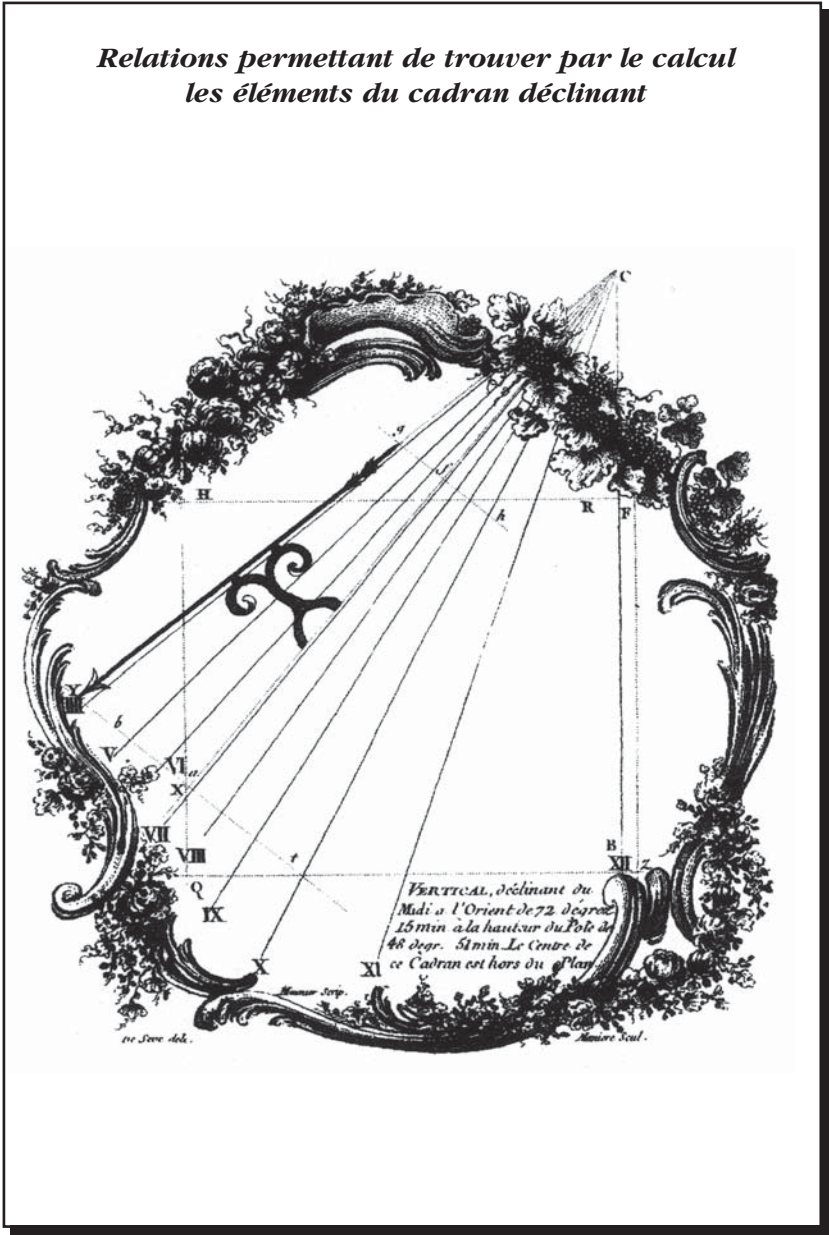


Fig. 15

Localité	Latitude ϕ nord	Longitude ouest en °	Longitude minutes	Dépt
Aizenay	46°44'	1°38'	6,5	85
Ancenis	47°21'	1°10'	4,7	44
Angers	47°30'	0°35'	2,3	49
Bain de Bretagne	47°50'	1°40'	6,7	35
Beaupréau	47°12'	0°59'	4,0	49
Beauvoir sur Mer	46°55'	2°2'	8,0	85
Blain	47°28'	1°46'	7,0	44
Bressuire	46°51'	0°29'	1,0	79
Candé	47°34'	1°0'	4,0	49
Challans	46°50'	1°52'	7,5	85
Châteaubriant	47°43'	1°23'	5,5	44
Château-Gontier	47°50'	0°42'	2,8	53
Cholet	47°4'	0°52'	3,5	49
Doué la Fontaine	47°11'	0°16'	1,0	49
Guémené Penfao	47°38'	1°50'	7,3	44
Guérande	47°20'	2°26'	9,7	44
Josselin	47°57'	2°33'	10,2	56
La Baule	47°17'	2°24'	9,6	44
La Roche Bernard	47°31'	2°19'	9,3	56
La Roche sur Yon	46°40'	1°26'	5,7	85
Laval	48°4'	0°47'	3,1	53
Le Croisic	47°18'	2°31'	10,0	44
Legé	46°53'	1°36'	6,4	44
Machecoul	46°59'	1°49'	7,3	44
Malestroit	47°49'	2°23'	9,5	56
Montaigu	46°59'	1°18'	5,2	85
Nantes	47°12'	1°33'	6,2	44
Noirmoutier (île)	47°0'	2°15'	9,0	85
Nort sur Erdre	47°26'	1°30'	6,0	44
Nozay	47°34'	1°37'	6,5	44
Orvault	47°17'	1°38'	6,5	44
Paimbœuf	47°17'	2°2'	8,1	44
Pontchâteau	47°25'	2°5'	8,3	44
Pornic	47°7'	2°5'	8,3	44
Pouancé	47°44'	1°10'	4,7	49
Pouzauges	46°47'	0°50'	3,3	85
Redon	47°40'	2°6'	8,4	35
Rennes	48°7'	1°41'	6,7	35
Rezé	47°10'	1°34'	6,3	44
Segré	47°40'	0°52'	3,6	49
St Gilles Croix de Vie	46°41'	1°55'	7,7	85
St Nazaire	47°17'	2°12'	8,8	44
St Philbert de Gd Lieu	47°2'	1°39'	6,6	44
St Gildas des Bois	47°31'	2°3'	8,2	44
St Hilaire de Riez	46°42'	1°56'	7,7	85
St Jean de Monts	46°47'	2°4'	8,3	85
Vannes	47°40'	2°44'	10,9	56
Varades	47°25'	1°1'	4,0	44
Vitré	48°8'	1°12'	4,8	35
Yeu	46°43'	2°20'	9,3	85

Fig. 4 - Coordonnées des principales localités de la région

géographiques du site qu'il aura choisi pour installer son cadran. Un compas à pointes sèches ou une règle graduée seront utilisés pour ce faire.

Les atlas donnent parfois la position de plusieurs villes ou agglomérations. Nous donnons ci-après la position de plusieurs villes de notre région tirée d'un tel atlas géographique.

On pourra contrôler avec la carte pour s'exercer à relever une position !

Il est courant de faire figurer sur les cadrans installés à poste fixe, les coordonnées du lieu, mais surtout la latitude, même si la longitude est omise.

Une autre donnée essentielle pour l'installation d'un cadran est la **direction de la méridienne du lieu**, c'est à dire la direction exacte du sud, où sera le Soleil à midi dans nos pays.

Cet élément doit être déterminé et connu avec une grande précision. De lui dépend la bonne marche et l'exactitude du futur cadran.

Détermination de la direction méridienne

Il y a plusieurs façons de déterminer cette direction :

1 - Avec une boussole

Loin de toute masse métallique perturbatrice, en tenant compte de la déclinaison magnétique du lieu et de la date actuelle.

Dans notre région le 1^{er} janvier 1989 la déclinaison magnétique était de 4°22' ouest, elle diminue tous les ans de 0°08'. La ligne nord/sud que vous indique votre boussole devra être corrigée de cette déclinaison magnétique⁵.

Ce procédé n'a rien de précis.

5 - La correction de déclinaison n'est pas dans le même sens selon que l'on utilise un compas de marine ou une boussole de randonneur. Nous ne nous apesantirons pas sur ce sujet ! Que l'on sache que le nord ou le sud vrai est à droite de la direction indiquée par la boussole, (en 2000 de 4°22' - (0°08' x 11 ans) = 4°22' - 1°28' = 2°54' ≠ 3°.

AH le nombre d'heures qui nous sépare de midi (exprimées en degrés).

L'angle de déclinaison du mur étant trouvé nous allons pouvoir tracer notre cadran (fig. 11).

Prenons notre épure.

Traçons les axes :

xy, qui est l'horizontale

CI, qui est la verticale (ligne de midi)

WE, qui est l'équinoxiale (ligne est/ouest)

IS, qui est la méridienne (ligne nord/sud)

Déterminons les centres :

C, centre du cadran, point de fixation du style dans le support,

I, sur verticale de **C**, intersection de l'horizontale **xy** et de l'équinoxiale **WE**

De **H** sur **WE**, à une distance **IH = IC**, menons une droite orientée **90° - φ** qui coupera la méridienne **IS** en **O**.

De **I** abaissons la perpendiculaire **Ie** sur **HO**.

Sur **IO** menons la longueur **IE = Ie**, nous obtenons le centre **E** du cadran auxiliaire.

Traçons ce cadran auxiliaire de centre **E** et de rayon quelconque (sur la fig. 11 il passe par **I**, mais ce n'est pas nécessaire, ce n'est que pur hasard).

Les rayons tirés de 15 en 15° donnent les points horaires sur **WE**.

Il nous va falloir transférer ces points horaires sur le support **xy** du cadran. Pour cela :

Du point **O** menons les droites **O / points horaires de WE** c'est à dire : **O-9**, **O-10**, **O-11** etc. Elles coupent la ligne **xy** aux points horaires de notre cadran :

IX, **X**, **XI** etc.

Les lignes horaires du cadran seront les droites :

C-IX, **C-X**, **C-XI**, etc. **CI** sera la ligne de midi.

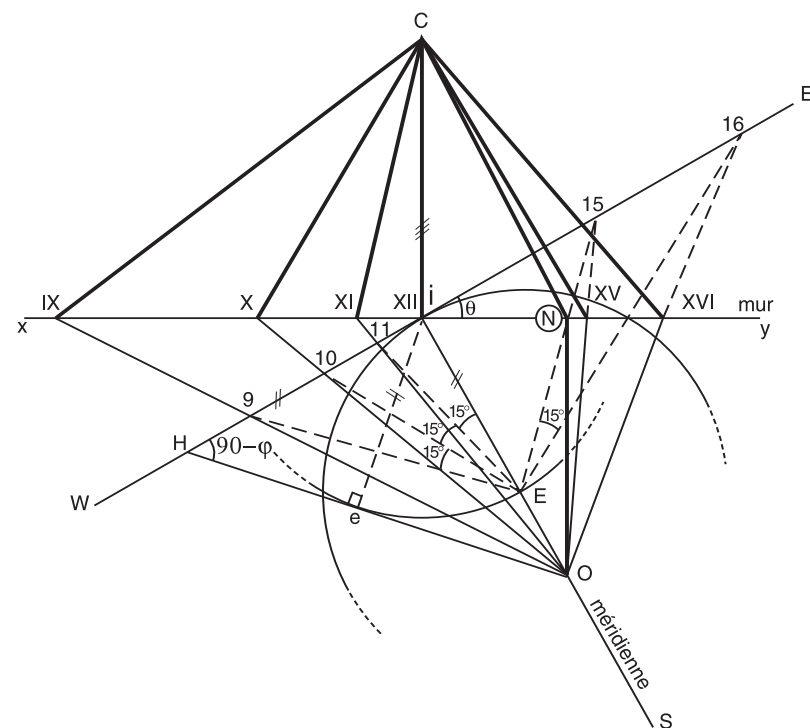


Fig. 14 - Tracé du cadran vertical-déclinant

Connaissant la date et l'heure solaire exacte, tirée de tous les éléments précédemment exposés (E_p , longitude, décalage saisonnier), la latitude et la déclinaison du Soleil⁸ le jour de l'observation on trouve l'orientation du mur Z par la relation :

$$\cotg Z = (tg D \times \cos \varphi - \sin \varphi \times \cos AH) / \sin AH$$

où Z est l'azimut du Soleil : angle Soleil - sud

φ est la latitude du lieu considéré,

D est la déclinaison du Soleil que l'on tirera de la table jointe

⁸ - Ne pas confondre la déclinaison du Soleil, la déclinaison du mur et la déclinaison magnétique du compas. Trois choses tout à fait différentes mais que les astronomes se plaisent à mélanger (on a affaire à une vieille science empoussiérée !).

2 - Observation de l'étoile polaire.

En matérialisant le méridien à l'aide de jalons que l'on utilisera de jour par la suite. L'étoile polaire n'est pas au pôle céleste, mais à 1° de celui-ci, dans la direction de Cassiopée.

(Utiliser la règle mnémonique : pôle → polaire → Cassiopée)

Si Cassiopée se trouve au-dessus ou au-dessous de la Polaire, celle-ci se trouve 1° au-dessus ou 1° au-dessous du pôle, mais dans sa direction. Pour toute autre apparence des constellations dans le ciel, il faudra apprécier.

Dans nos régions, le pôle est à 47/48° de hauteur, le méridien est difficile à matérialiser par des jalons ou des fils à plomb, car l'observation à cette élévation est malaisée et peu précise.

3 - La méthode du gnomon ou des cercles indiens

Planter en Terre un piquet (jalon) bien droit dont la verticalité aura été vérifiée à l'aide d'équerres. Le piquet se dressera sur une aire parfaitement horizontale et sur laquelle on aura tracé un cercle centré sur le pied du piquet.

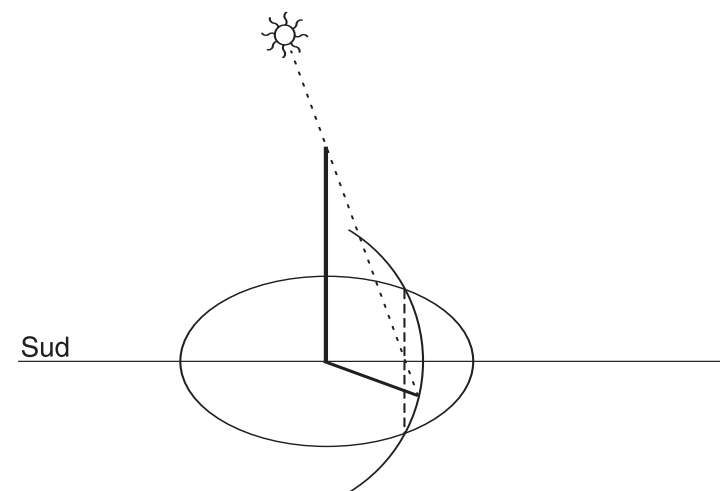


Fig. 5 - Détermination de la direction méridienne

Au cours de la journée on observera le déplacement de l'ombre de l'extrémité du piquet. On marquera avec précision les points où cette ombre coupe le cercle le matin et le soir. On reliera ces deux points par une droite, et la perpendiculaire à cette droite passant par le pied du piquet sera la direction méridienne.

On aura intérêt à tracer plusieurs cercles concentriques et à marquer toutes les intersections de l'ombre et des différents cercles. On reliera les intersections deux à deux sur le même cercle, celle du matin à celle du soir. Si les opérations ont été menées avec précision, les droites obtenues seront parallèles et chacune aura son centre sur la perpendiculaire commune menée du pied du piquet qui sera d'ailleurs la médiatrice de toutes ces parallèles tracées, et la méridienne du lieu.

4 - Par le calcul de l'heure de la méridienne :

Nous avons vu comment obtenir l'heure légale (celle de notre montre) en partant de l'heure solaire indiquée par le cadran :

Heure légale =

Heure solaire + Équation du Temps + Longitude + Décalage saisonnier

En supposant dans cette relation :

Heure solaire = 12 heures (midi),

nous obtiendrons l'heure que devra marquer notre montre au moment où le Soleil passera au méridien, et donc où il sera midi au Soleil⁶. Un fil à plomb judicieusement installé permettra de tracer sans problème la méridienne sur n'importe quel plan puisque l'ombre du fil à plomb est la matérialisation même de cette méridienne cherchée.

6 - Ce procédé applicable au ^{xxi}e siècle suppose que l'on dispose d'une montre précise pour évaluer l'heure exacte du passage du soleil au méridien. Alors que l'on construit un cadran pour nous donner l'heure, il va de soi qu'à une époque passée on n'avait pas de montre, et il fallait s'en passer pour trouver le sud. Néanmoins vivons avec notre temps ! Comme un cadran solaire est de nos jours un ouvrage décoratif plus qu'un ouvrage utilitaire, on supposera que l'installateur, comme tout le monde actuellement dispose d'une montre pour avoir l'heure à tout moment.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Jours												
1	-23,03	-17,20	-7,72	4,41	14,97	22,01	23,13	18,11	8,41	-3,05	-14,32	-21,75
2	-22,95	-16,91	-7,34	4,79	15,27	22,14	23,06	17,85	8,05	-3,44	-14,64	-21,90
3	-22,86	-16,62	-6,95	5,18	15,57	22,27	22,99	17,60	7,68	-3,83	-14,95	-22,05
4	-22,76	-16,33	-6,57	5,56	15,86	22,39	22,91	17,33	7,31	-4,21	-15,27	-22,19
5	-22,65	-16,03	-6,18	5,94	16,15	22,51	22,82	17,07	6,94	-4,60	-15,57	-22,32
6	-22,54	-15,72	-5,80	6,32	16,44	22,62	22,73	16,80	6,57	-4,98	-15,88	-22,45
7	-22,42	-15,41	-5,41	6,70	16,72	22,72	22,62	16,52	6,20	-5,37	-16,18	-22,57
8	-22,29	-15,10	-5,02	7,07	16,99	22,81	22,52	16,24	5,82	-5,75	-16,47	-22,68
9	-22,15	-14,78	-4,63	7,45	17,26	22,90	22,40	15,96	5,45	-6,13	-16,76	-22,78
10	-22,01	-14,46	-4,24	7,82	17,53	22,99	22,28	15,67	5,07	-6,51	-17,05	-22,88
11	-21,86	-14,13	-3,85	8,19	17,79	23,06	22,15	15,37	4,69	-6,89	-17,33	-22,97
12	-21,70	-13,80	-3,45	8,56	18,05	23,13	22,02	15,08	4,31	-7,27	-17,60	-23,05
13	-21,53	-13,47	-3,06	8,92	18,30	23,19	21,88	14,78	3,93	-7,64	-17,87	-23,12
14	-21,36	-13,13	-2,67	9,28	18,54	23,25	21,73	14,47	3,55	-8,02	-18,14	-23,19
15	-21,18	-12,79	-2,27	9,64	18,78	23,29	21,58	14,16	3,16	-8,39	-18,40	-23,25
16	-21,00	-12,45	-1,88	10,00	19,02	23,34	21,42	13,85	2,78	-8,76	-18,63	-23,30
17	-20,81	-12,10	-1,48	10,35	19,25	23,37	21,26	13,53	2,39	-9,12	-18,90	-23,34
18	-20,61	-11,75	-1,09	10,71	19,47	23,40	21,09	13,21	2,01	-9,49	-19,14	-23,38
19	-20,40	-11,40	-0,69	11,05	19,69	23,42	20,91	12,89	1,62	-9,85	-19,38	-23,41
20	-20,19	-11,04	-0,30	11,40	19,91	23,43	20,73	12,56	1,23	-10,21	-19,61	-23,43
21	-19,98	-10,68	0,10	11,74	20,11	23,44	20,54	12,23	0,84	-10,57	-19,84	-23,44
22	-19,75	-10,32	0,49	12,08	20,32	23,44	20,35	11,90	0,45	-10,93	-20,06	-23,44
23	-19,52	-9,95	0,89	12,42	20,51	23,43	20,15	11,56	0,06	-11,28	-20,27	-23,44
24	-19,29	-9,59	1,28	12,75	20,70	23,42	19,94	11,22	-0,33	-11,63	-20,48	-23,42
25	-19,04	-9,22	1,68	13,08	20,89	23,40	19,73	10,88	-0,72	-11,98	-20,68	-23,41
26	-18,80	-8,84	2,07	13,40	21,07	23,37	19,51	10,54	-1,10	-12,32	-20,87	-23,38
27	-18,54	-8,47	2,46	13,72	21,24	23,34	19,29	10,19	-1,49	-12,66	-21,06	-23,34
28	-18,29	-8,09	2,85	14,04	21,40	23,30	19,07	9,84	-1,88	-13,00	-21,24	-23,30
29	-18,02		3,24	14,36	21,56	23,25	18,83	9,48	-2,27	-13,34	-21,42	-23,25
30	-17,75		3,63	14,67	21,72	23,19	18,60	9,13	-2,66	-13,67	-21,59	-23,19
31	-17,48		4,02		21,87		18,35	8,77		-13,99		-23,12

Valeurs quotidiennes de la déclinaison du soleil destinées au calcul de la déclinaison d'un mur par l'azimut.

Valeurs à midi (Temps Universel) et exprimées en degrés et centièmes.

$$\text{Cotg } Z = \frac{(\text{tg } D \cos \varphi - \sin \varphi \cos AH)}{\sin (AH)}$$

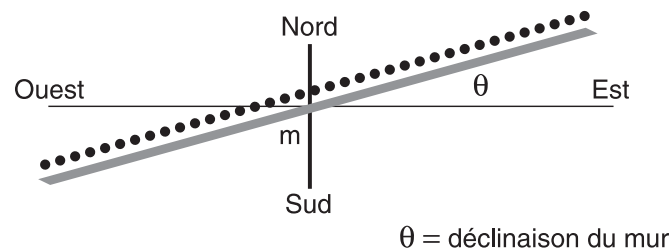


Fig. 12 - Détermination de la déclinaison du mur

est utilisé plusieurs fois par jour par les marins qui veulent contrôler la variation de leur compas (c'est à dire l'erreur de leur boussole), ils visent le Soleil ou un astre quelconque, à l'aide de leur compas et notent l'azimut trouvé et l'heure précise de l'observation ; à la suite d'un calcul relativement simple ils trouvent l'azimut exact de l'astre, et en comparant les deux valeurs : *azimut vrai* - *azimut compas*, ils trouvent l'erreur de leur compas qu'ils appliquent pour corriger la route du navire et toutes les autres observations qu'ils auront à faire par la suite.

Cette opération je l'ai faite plusieurs fois par jour pendant des années à la mer.

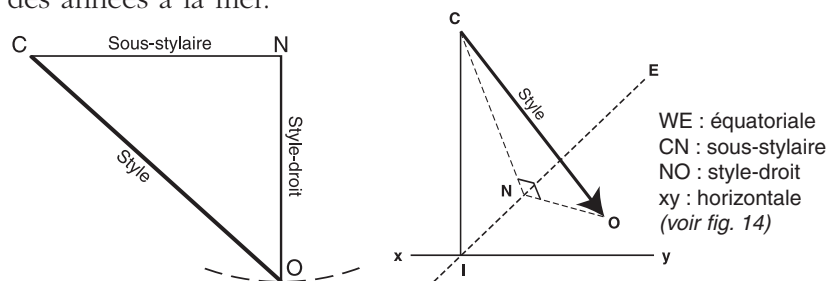


Fig. 13 - Ajouter légende

Fig.13 bis - Disposition du style CO au-dessus de la table à l'aide de la forme CNO fabriquée selon les explications de la p.39 et de la fig. 13

L'angle $NCI = \beta$ de la sous-styloire CN avec la ligne de midi CI est aisément calculable pour pouvoir disposer avec précision la forme CNO sur la table et obtenir la direction parfaite du style CO car :

$$\operatorname{tg} \beta = \sin d \operatorname{cotg} \varphi \text{ (voir page 38).}$$

Exemple : À Nantes le 3 juillet, à quelle heure de ma montre sera-t'il midi au Soleil ?

Équation du Temps (E_p)	=	+ 4 minutes (0 h 04 min)
Longitude	=	+ 1°30' Ouest (0 h 06 min)
Heure d'été	=	+ 2 heures

Quand l'heure au Soleil = 12 heures, l'heure de ma montre indiquera :

12 heures + 0 h 04 min + 0 h 06 min + 2 h = 14 h 10

Mon installation sera prête un peu avant 14h 10 et à cette heure exacte, je tracerai la ligne de midi en suivant sur le sol, l'ombre du fil à plomb.

Si le vent par aventure avait la mauvaise idée de vouloir faire bouger le fil, j'aurais eu soin de plonger le plomb dans un seau d'eau. On n'opère pas autrement en navigation pour déterminer à l'avance l'heure du passage du Soleil au méridien et se préparer à observer au sextant la hauteur de l'astre à ce point caractéristique de sa trajectoire diurne afin d'en tirer la latitude du navire. J'ai effectué ce calcul en mer des centaines de fois, et c'est de cette façon que j'opère à terre pour matérialiser la méridienne de n'importe quel lieu. La méthode est simple et à la portée de tous, elle est très précise. Le seul inconvénient (pour la petite histoire) est qu'il se trouve bien plus souvent qu'il ne devrait, un petit nuage pour passer devant le Soleil et le masquer à cet instant crucial !!

La recherche du midi a toujours été le souci majeur de tout cadranier. À Paris où ils avaient pignon sur rue, ils tenaient tous boutiques dans la même rue qui a d'ailleurs conservé son nom jusqu'à nos jours : la rue du **Cherche-Midi**.

Le style

Nous avons maintenant tout ce qu'il faut pour construire un cadran solaire.

Le style qui portera ombre, peut être une tige ou une pièce de métal dont l'arête rectiligne se comportera comme une tige (renforcée par le corps rigide de la pièce métallique).

Le plus grand soin devra être apporté à l'orientation du style, qui sera dans tous les cas parallèle à l'*axe du monde*, donc dirigé vers le pôle céleste.

Le pôle étant par définition sur le grand cercle méridien dont le plan a été déterminé par une des méthodes précédentes, il ne nous reste plus qu'à trouver son élévation. Or, par définition aussi, la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon est la latitude. On commence à voir pourquoi la connaissance de la latitude est importante dans la construction d'un cadran.

En gros, pour orienter le style, il faudra le placer dans la direction de la méridienne et le relever d'un angle égal à la latitude. C'est ce style qui portera ombre et donnera l'heure.

Le Soleil semble tourner autour de la Terre en un jour. Il parcourt donc une circonférence de 360° en 24 heures, soit : $360/24 = 15^\circ$ en une heure. La connaissance de cette valeur est importante en gnomonique.

Le style étant orienté tel que nous venons de le voir, *c'est autour du style que semble tourner le Soleil*.

c - *par le calcul* :

Comme pour le cadran horizontal, mais en utilisant cette fois la relation :

$$\text{tg } Z = \cos \varphi \cdot \text{tg } AH$$

où Z est l'angle des lignes horaires avec la verticale *C-XII*, φ est la latitude et AH le nombre d'heures (exprimées en degrés) qui séparent de midi (avant ou après). Exemple : $9h = 3 \times 15^\circ = 45^\circ$, $16h = 4 \times 15^\circ = 60^\circ$.

Sur un tel cadran, l'horizontale passant par le centre C est la ligne *VI/XVIII heures*. Il n'indiquera jamais l'heure avant 6 heures du matin ni après 6 heures du soir (18h), car dans ce cas le Soleil est en arrière de la table.

Pour les lecteurs fâchés avec la trigonométrie, nous donnons en annexe, pour quelques latitudes comprises entre La Roche-sur-Yon et Rennes, des tableaux où ces calculs sont effectués. Ils n'auront qu'à y puiser pour tracer les lignes horaires par le calcul.

Le cadran vertical déclinant

Il fait face à une autre direction que le sud, il est *déclinant*, et l'angle qu'il fait avec la ligne est/ouest est sa déclinaison.

Pour construire un tel cadran il faut connaître sa déclinaison avec précision.

Détermination de la déclinaison du mur :

a - On peut après avoir trouvé la direction de la méridienne, matérialiser celle-ci sur le sol horizontal au pied du mur et chercher avec un grand rapporteur ou tout autre moyen que l'on voudra l'angle du mur et de la direction méridienne, appelons cet angle m , la déclinaison θ sera égale à $90^\circ - m$.

b - En notant l'heure exacte où le Soleil tangente le mur, c'est à dire où les aspérités les plus petites ont une ombre portée, on peut obtenir par le calcul, l'orientation du mur. Ce procédé

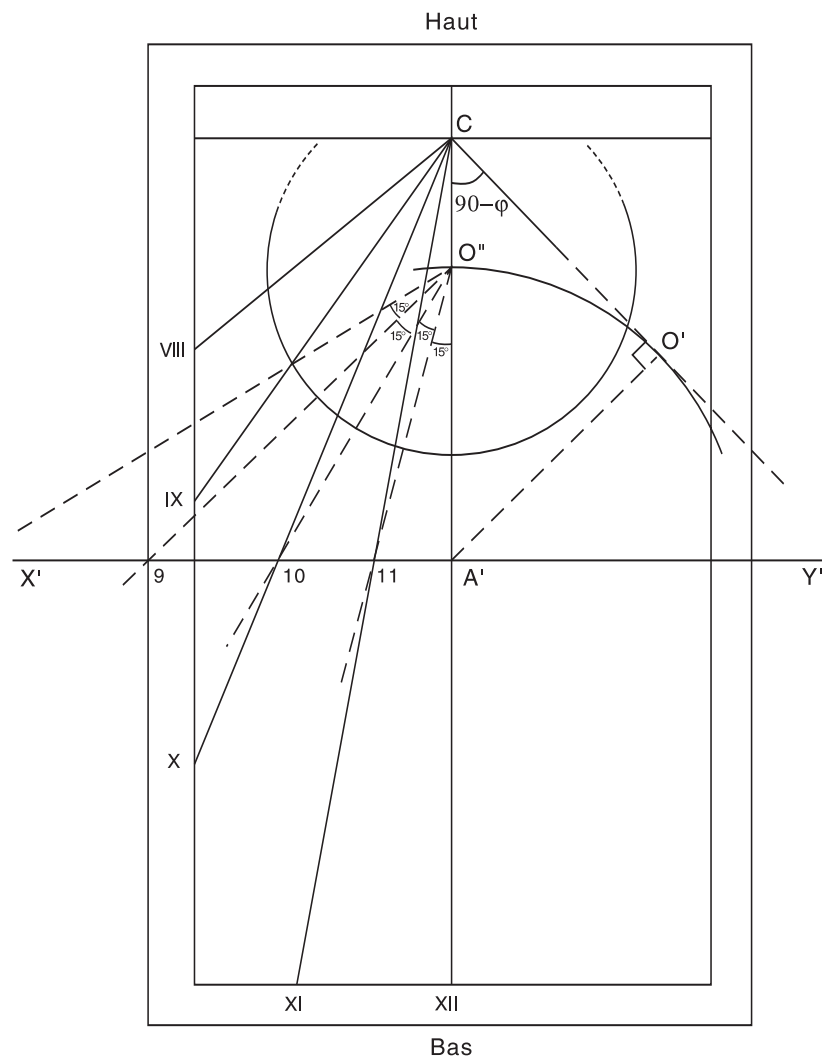


Fig. 11 - Tracé du cadran vertical

Les cadrans

Le cadran équatorial

C'est le plus simple et celui dont dérivent tous les autres (Fig. 6). Le style est orienté parallèlement à l'axe du monde comme dans tous les cadrans et sa table est un cercle perpendiculaire au style qui la traverse en son milieu.

Il ressemble dans sa simplicité à une roue pleine, munie d'un axe, et cet axe pointe vers le pôle céleste. Le style porte ombre sur la table du cadran, et les *lignes horaires* sont des rayons séparés les uns des autres par 15° (le déplacement du Soleil en une heure, on l'a vu).

Pour l'installer, il suffit, après avoir tracé ces rayons, d'orienter le style vers le pôle et de placer un des rayons à la verticale du style. *Ce rayon sera la ligne de midi.*

Un tel cadran indiquera l'heure en toutes saisons depuis le lever jusqu'au coucher du Soleil. (Tous ne le font pas ! Voir plus loin.)

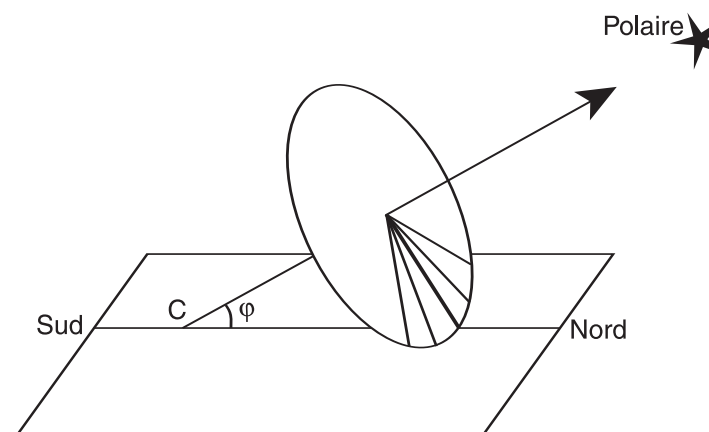


Fig. 6 - Cadran équatorial

La table est parallèle à l'équateur céleste, ce qui fait que pendant six mois de l'année, lorsque le Soleil est dans un hémisphère du ciel, une face du cadran est éclairée et pendant les six autres mois où l'astre du jour est dans l'autre hémisphère, c'est l'autre face qui est éclairée et donc qui sera utilisable.

De mars à septembre, les beaux jours, chez nous ce sera la partie supérieure (faisant face au pôle nord céleste) qui sera éclairée, et on verra l'ombre et donc les heures, se déplacer dans le sens des aiguilles d'une montre. Il faudra se mettre le dos au nord, face au Soleil, pour lire le cadran.

De septembre à mars, les mauvais jours, ce sera la partie inférieure qui recevra le Soleil, et donc l'ombre du style. Le mouvement de l'ombre se fera dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Il faudra se placer face au nord, avec le Soleil dans le dos pour lire les indications du cadran.

Sur un cadran équatorial, la ligne 6h / 18h est toujours horizontale.

Un tel cadran a la particularité, vue sa simplicité élémentaire, d'être très facile à régler. Pour figurer l'orientation du style il suffit de s'arranger pour que l'ombre d'un détail ou d'une marque ou même de l'extrémité du style lui-même si cela est possible, tombe sur la table, et de faire en sorte qu'elle garde la même longueur toute la journée en déplaçant légèrement le style dans la direction voulue.

En effet dans un cadran équatorial, la longueur d'une ombre est déterminée par la déclinaison du Soleil tout au long de la journée; au cours d'une journée, la déclinaison ne variant que peu, l'ombre d'un détail gardera la même longueur si le style est parfaitement orienté.

Les autres cadrans sont tous issus du cadran équatorial par dérivation.

Le cadran horizontal (Fig. 8)

Il est dérivé du cadran équatorial tel qu'on peut le voir sur la fig. 7.

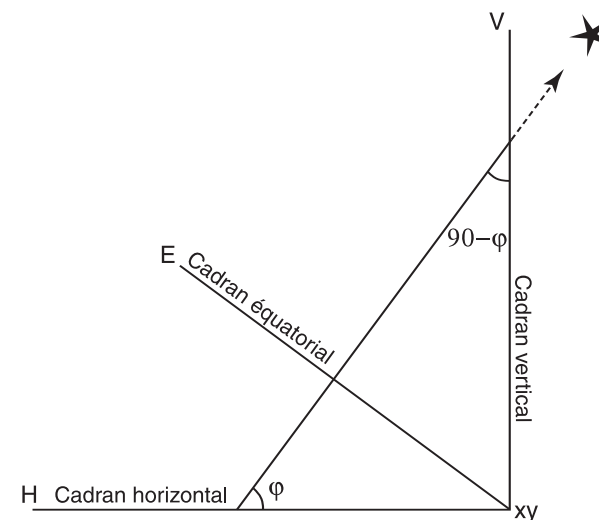


Fig. 9 - Ajouter légende

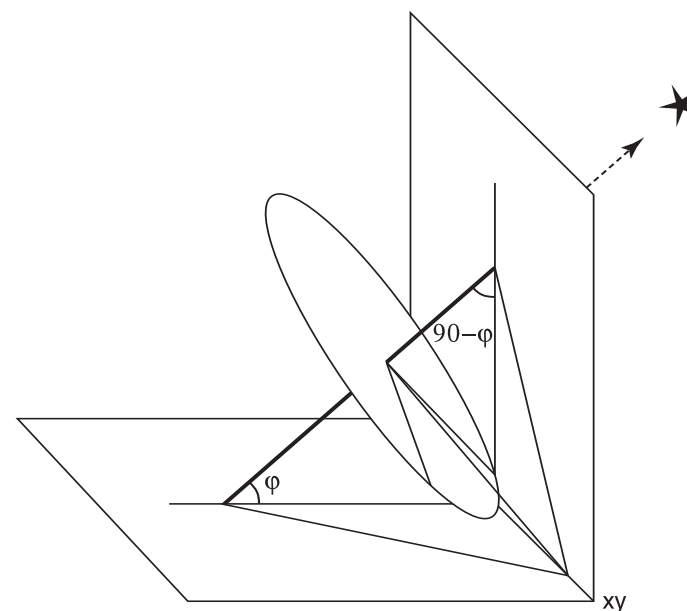


Fig. 10 - Ajouter légende

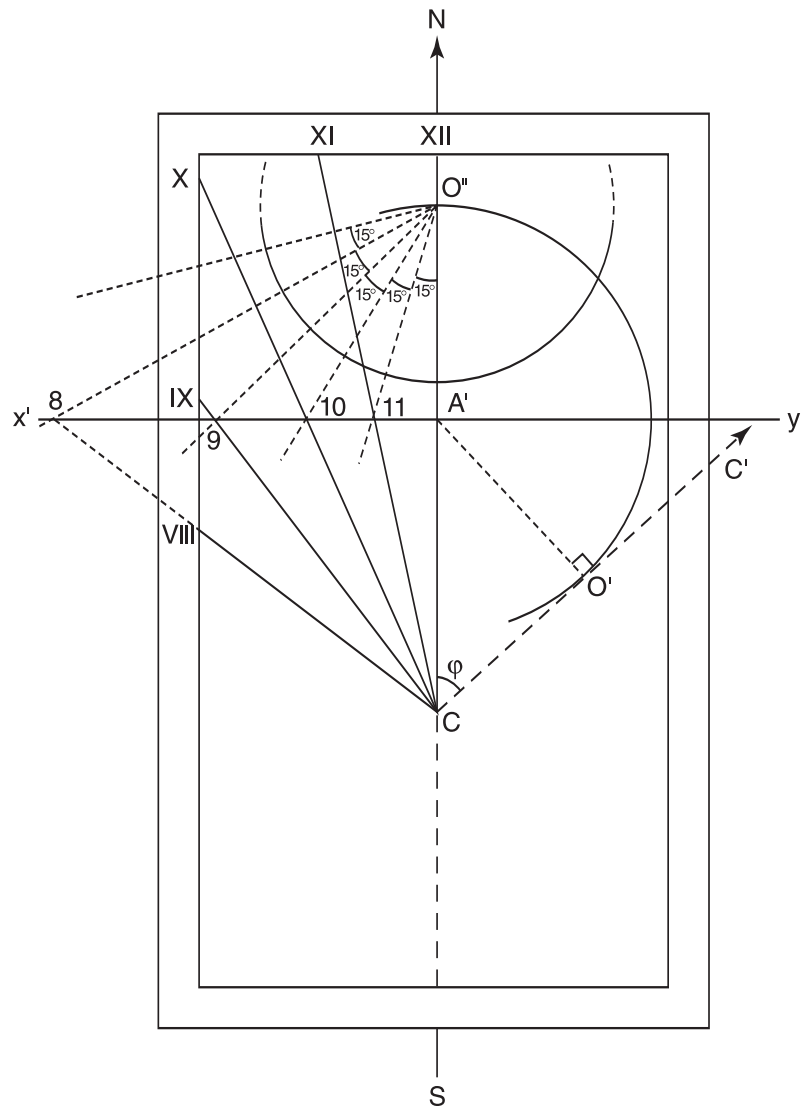


Fig. 8 - Tracé du cadran horizontal

b - *par l'épure* (fig. 8) :

C = centre du cadran

O = extrémité du style

On suppose connues la direction du méridien NS et la latitude φ .

Faisons un rabattement.

Sur la table, en un point quelconque A' de NS menons la perpendiculaire $X'Y'$ que nous considérerons comme l'intersection de l'équateur avec la table.

En C portons l'angle $A'CC' = \varphi$ et de A' menons $A'O'$ perpendiculaire à CC'

Avec A' comme centre et $A'O'$ comme rayon, nous obtenons O'' qui est O rabattu.

Cela fait, autour de O'' comme centre avec un rayon quelconque, on trace le cadran équatorial avec $1h = 15^\circ$ et l'on a sur $X'Y'$ les points qui permettent de tracer les *lignes horaires*.

c - *par le calcul* :

On peut tracer directement les *lignes horaires* partant de *C* en calculant les angles qu'elles doivent faire avec la ligne méridienne.

On utilisera la relation : $tg Z = \sin \varphi . tg AH$

En donnant à *AH* les valeurs 15° ($=1h$), 30° ($=2h$), 45° ($=3h$) etc. on trouvera *Z* qui permettra de tracer les lignes de $1h$, $2h$, $3h$ etc. de part et d'autre de la ligne de midi⁷.

Le cadran vertical

On distingue deux types de cadrans verticaux :

- *le cadran vertical méridien*, qui fait exactement face au sud,
- *le cadran vertical déclinant*, qui regarde une direction autre que le sud.

7 - Il va sans dire que l'angle Z, l'azimut du Soleil, est l'angle formé en C par chacune des lignes horaires avec la ligne de midi.: angle XII-C-XI, puis XII-C-X etc. avec leurs symétriques dans l'après-midi.