

Commission des Cadrans Solaires
Société Astronomique de France

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

3 rue Beethoven 75016 Paris

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

Tél : 01 42 24 13 74

Guides gnomoniques Cadran Info

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

Orientation d'un cadran



*et
déclinaison gnomonique*



*Déterminer l'orientation d'un cadran solaire pour le calculer et l'installer par
différentes méthodes de précisions variables*

GUIDES de gnomonique *Cadran Info*

Pourquoi ?

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

Pour tout cela nous avons imaginé ces guides.

Contenu ?

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

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

Quels guides ?

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

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

- ° **La chasse aux cadrans solaires**

Découvrir, reconnaître, analyser un cadran solaire.

- ° **Astronomie et cadrans solaires pour débutants**

Comprendre le fonctionnement d'un cadran solaire.

- ° **Ensoleillement d'un cadran solaire**

Définir l'emplacement d'un cadran en fonction de son environnement.

- ° **Orientation et déclinaison gnomonique**

Savoir mesurer l'orientation d'un cadran solaire.

- ° **Outils numériques du gnomoniste**

Connaître les logiciels et applications de la conception, la réalisation et la vérification d'un cadran.

Et sur notre site...

- ° La liste de **tous les articles publiés dans la revue *Cadran Info***. Sous forme de tableur, ils peuvent être triés par type de sujet.

- ° La liste de **plus de 50 logiciels/applications/tableurs gnomoniques**. Chaque item (analyse cadran, déclinaison gnomonique, ensoleillement, éphémérides...) est identifié par une couleur.

Les numéros de *Cadran Info* (année A-5) sont disponibles gratuitement sur le site de la CCS : [Cadran Info – Commission des Cadrans Solaires \(saf-astronomie.fr\)](http://saf-astronomie.fr). Pour les autres: "boutique" de la SAF, rubrique "Cadran Info" : <https://boutique.saf-astronomie.fr> ou sur demande.

GUIDE de gnomonique

Orientation et déclinaison gnomonique

Compilation/formalisation
Ph. Sauvageot

philippe.sauvageot@saf-astronomie.fr

Merci à Serge Grégori et Denis Savoie

Sommaire

INTRODUCTION	
Pour, Pourquoi, Il faut donc, Comment !	6
I - MÉTHODES	
I - 1 L'Étoile polaire (visée de l'étoile)	9
I - 2 La Boussole (relevé avec une boussole)	9
I - 3 La Boussole solaire (relevé par couplage de 2 cadrans solaires)	10
I - 4 Les Ombres solaires égales (utilisation de l'ombre d'un piquet vertical)	11
I - 5 Passage dans un plan (instant où le Soleil passe dans le plan)	12
I - 6 Passage au méridien (instant où le Soleil indique midi vrai)	12
I - 7 Style droit (mesure de l'ombre sur un plan)	13
I - 8 La Planchette (mesure de l'ombre sur un plan - calculs, tableur, retour expériences)	14
I - 9 Les Cordes (valeur précise pour les faibles déclinaisons)	16
I - 10 Outils numériques	17
I - 11 Relevés Google Earth (relevé "à distance")	19
I - 12 Recommandations et rappels	21
I - 13 Méthode de La Hire	23
II- MÉTHODES et INSTRUMENTS de membres de la CCS (Rappel d'articles <i>Cadran Info</i>)	
II - 1 Méthodes de détermination de la déclinaison gnomonique (plans verticaux inclinés ou non)	24
II - 2 Mesure de la déclinaison à l'aide d'un cadran horizontal	24
II - 3 Relevé de la déclinaison à l'aide d'un style à œilleton (faux-style)	25

II - 4 Comparaison des méthodes de mesure de la déclinaison gnomonique et outils associés	26
II - 5 Mesure de la déclinaison par différence d'Azimut	27
II - 6 Appareil de mesure de déclinaison d'un mur pour les non gnomonistes	27
II - 7 Orientation d'un plan incliné-déclinant	28
II - 8 Mesure de la déclinaison d'un mur (appareil mobile)	29
II - 9 Cercles hindous pour mur verticaux (technique des ombres solaires égales)	30
II -10 Sur une variante de la méthode de la planchette (<i>réf: I - 8</i>)	30
II - 11 Alignement avec la polaire (<i>réf: I - 1</i>)	32
II - 12 Détermination de la déclinaison par la mesure de la direction de l'ombre d'une sphère	34
III- MÉTHODES et INSTRUMENTS de membres de la CCS (Retours d'expériences)	
III - 1 Déclinomètre à fil (<i>réf: II - 2</i>)	37
III - 2 Style droit (<i>réf: I - 7</i>)	38
III - 3 Méthodes de relevés de la déclinaison d'un mur (<i>réf: I - 2 ; I - 8 ; I - 9</i>)	38
III - 4 Les bissectrices (<i>réf: I - 4</i>)	39
III - 5 Longueur de l'ombre et relevé sur carte et utilisation de Google (<i>réf: I - 9</i>)	39
III - 6 Méthode de la planchette (<i>réf: I - 8</i>)	41
III - 7 Tracé « à la montre » (<i>réf: I - 6</i>)	42
III - 8 Passage dans un plan et suivi d'un arc diurne (<i>réf: I - 5</i>)	43
IV - REFERENCES SOURCES et SITES UTILES	
IV -1 Référence, sources et tableurs associés	45
IV - 2 Applications/logiciels utiles	46

INTRODUCTION

La détermination de l'orientation d'un cadran solaire est primordiale pour son calcul et/ou son installation. De cette mesure dépendra sa précision.

Pour...

... utiliser un cadran solaire horizontal, il faut l'orienter dans le plan du méridien du lieu, c'est à dire dans la direction Sud-Nord "géographique" (Fig.1).

... tracer un cadran sur un mur vertical, il faut relever au préalable l'orientation de celui-ci (mesurer la "déclinaison gnomonique") par rapport à ce méridien (Fig.2).

Définir ces orientations sont les tâches primordiales en gnomonique.

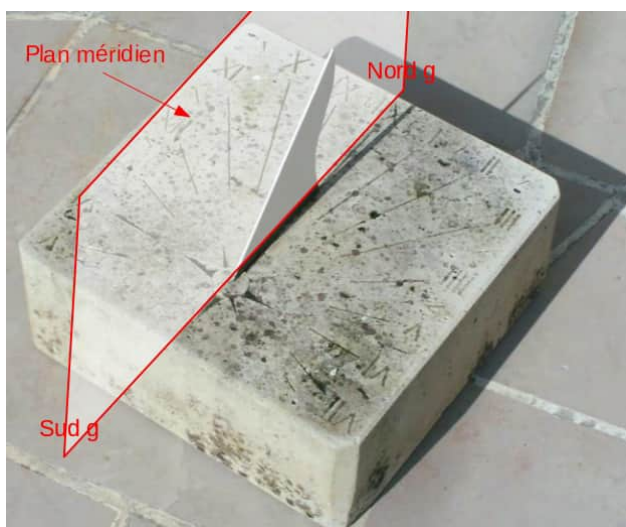


Fig.1 : orientation d'un cadran solaire horizontal :
ligne de 12h et style dans le plan méridien.
Photo CCS 02722009-02

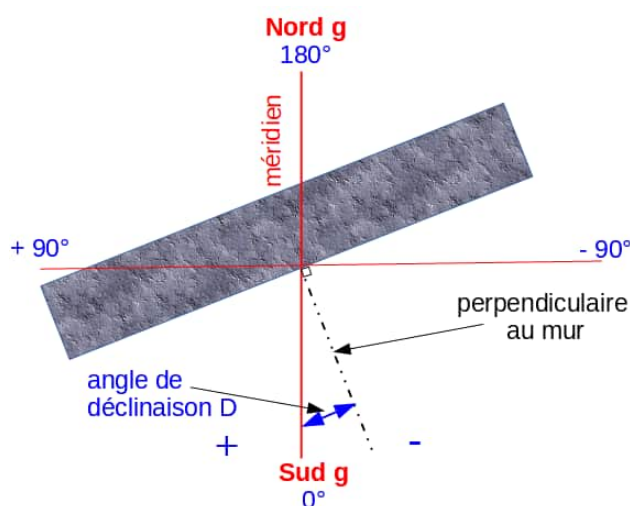


Fig.2 : mesure de la déclinaison gnomonique
(angle D) d'un mur vertical.
Schéma de S. Malassiné

Pourquoi ?

... le principe même du fonctionnement d'un cadran solaire classique est que le "style"¹ soit parallèle à l'axe de rotation de la Terre².

Pour cela, qu'il soit matérialisé ("style linéaire", arête d'un "style triangulaire"...) ou bien fictif (extrémité d'un "style droit", "œilleton" sur tripode...), le style doit (Fig.3) :

- être contenu dans le plan du méridien du lieu,
- faire avec "la table" un angle égal à celui de la latitude Φ du lieu dans le cas d'un cadran horizontal.

1 Indique par son ombre les heures ou autres tracés représentés sur "la table".

2 Se reporter à l'article « Espace débutants 1 » Cadran Info n° 39 page 132.

- faire avec "la table" un angle égal à 90° - angle de la latitude Φ du lieu dans le cas d'un cadran vertical méridional,
- être calculé dans le cas d'un cadran pour une autre orientation (cadrans déclinants/inclinés).

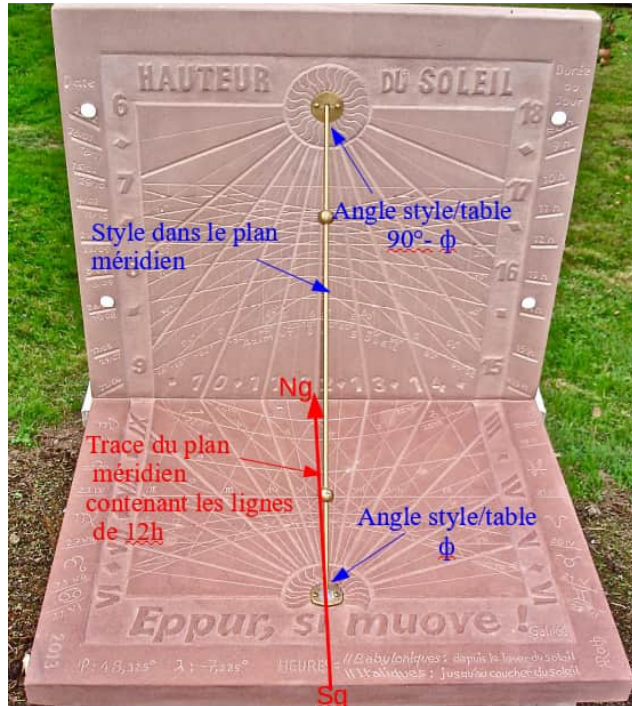


Fig.3 : cadran horizontal/vertical méridional
Photo de A. Roth CCS

Il faut donc...

- Relever sur une carte ou avec un GPS les coordonnées du lieu, c'est à dire la latitude Φ (et la longitude λ). Cette opération ne pose pas de problème.
- Déterminer la "déclinaison gnomonique" (Fig. 2), c'est à dire mesurer l'angle D entre la perpendiculaire du mur et la direction du plan méridien (orientation Sud/Nord géographique). Cette mesure est plus complexe.

Faisons tout d'abord la distinction entre Nord géographique (N_g) et Nord magnétique (N_m).

Le pôle Nord géographique est fixe. Il correspond avec le pôle Sud géographique à l'axe de rotation de la Terre (Fig. 4). A ces deux pôles convergent tous les méridiens.

Le pôle Nord magnétique est un point de « convergence » des lignes du champ magnétique terrestre. Sa position est variable dans le temps (Fig.5). Il est donné approximativement par une boussole en fonction du lieu où l'on se trouve.

L'écart entre la direction du pôle Nord magnétique et le pôle Nord géographique est appelé "déclinaison magnétique". Cette dernière par définition varie dans le temps et le lieu.

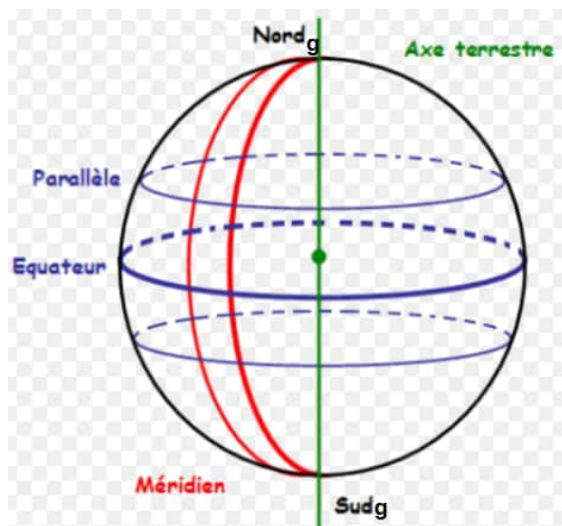


Fig. 4 : le pôle Nord géographique SVP ?
Suivez le fil rouge, c'est toujours tout droit.
Schéma site M. Lalos

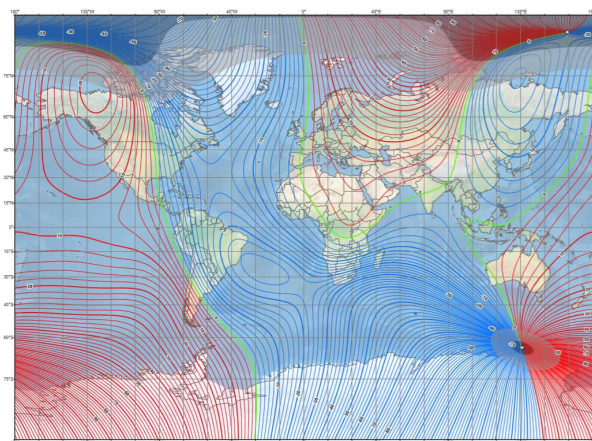


Fig. 5 : le pôle Nord magnétique SVP ?
Suivez les méandres en fonction du temps et du lieu.
Dépêchez vous il se déplace rapidement
ces dernières années !

US/UK World Magnetic Model - Epoch 2020.0

(https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2020/WMM2020_D_BoZ_MILL.pdf)

Comment...

... après ces rappels voyons les méthodes plus ou moins complexes, plus ou moins fiables, pour orienter un cadran ou mesurer la "déclinaison gnomonique".

Nous présenterons :

- Différentes méthodes dont les développements sont issus des études de Denis Savoie³.
- Les méthodes et instruments utilisés par des membres de notre commission complétés par quelques témoignages.
- Les références livresques et sites utiles.

3 Denis Savoie a publié de très nombreux articles de gnomonique et plusieurs ouvrages qui sont considérés comme des références en la matière. Il a également réalisé de nombreux cadrans solaires dans le monde entier. Dans les méthodes présentées dans cet article de nombreux textes sont issus partiellement ou intégralement du livre : La gnomonique de Denis Savoie. Édition : Les belles lettres.
Merci pour l'autorisation de publication.

I – Méthodes

I - 1- Étoile polaire

Dans notre hémisphère, nous avons la chance de voir chaque nuit l'étoile Polaire. Facilement repérable dans le ciel, elle se trouve presque exactement au pôle nord céleste vers lequel pointe l'axe de rotation de la Terre. En 2022, la distance angulaire qui les sépare est d'environ $0^{\circ} 38'$ et continuera de diminuer.

L'orientation d'un cadran horizontal peut se faire en visant la Polaire avec l'arête du style ou en alignant ce dernier vers l'étoile.

Par contre la mesure de la déclinaison d'un mur est peu pratique à réaliser.

Étoile polaire	Orientation : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Non	① ② ③ ④	Oui Non	Oui Non	① ② ③ ④
L'utilisation de l'étoile Polaire pour déterminer le méridien est peu aisée. D'autres solutions plus pratiques, aux résultats plus précis existent.					

I - 2 - Boussole

Après lecture de la définition du Nord magnétique en introduction, on comprend que l'on ne peut utiliser cet instrument sans correction.

Il faut obligatoirement introduire la correction de la "déclinaison magnétique" pour trouver le Nord géographique.

Ces variations de la déclinaison magnétique sont difficiles à anticiper avec précision. Elles sont fonction du lieu et du temps. Il est donc nécessaire de vérifier que les valeurs données sont bien d'actualités.

Il faut en outre se méfier des perturbations magnétiques comme un renfort métallique dans un mur ou pour une boussole de téléphone portable : la fermeture magnétique de la protection et son bon "calibrage" (rotation de l'appareil dans les 3 plans avant utilisation).

Où trouver les valeurs des déclinaisons magnétiques ?

- Carte IGN

La déclinaison magnétique est mentionnée sur les cartes IGN au 1 /25000. Il faut utiliser une carte récente (mise à jour des valeurs tous les 5 ans). Corriger la valeur indiquée en fonction de l'année de prise en compte. Pour en savoir plus et connaître les prestations de l'IGN :

https://geodesie.ign.fr/index.php?page=calcul_de_declinaison_magnetique

- Sites internet

° Information déclinaison magnétique :

<http://www.ipgp.fr/fr/obsmag/donnees-dobservation>

° Calculateur de déclinaison :

<https://www.geomag.nrcan.gc.ca/calc/mdcal-fr.php>

<http://vtopo.free.fr/declimag.htm> (obsolète actuellement)

Vérifiez toujours la période de validité de la déclinaison magnétique indiquée.

Boussole + déclinaison	Orientation : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	❶❷❸❹	❸❹ Non	❸❹ Non	❶❷❸❹

La boussole n'est pas l'outil du gnomoniste. Elle ne peut être utilisée qu'avec correction de la « déclinaison magnétique » pour le lieu et l'année. Attention de vérifier la validité de la période pour laquelle les valeurs de déclinaison sont données ou calculées.
Elle peut malgré cela être source d'erreurs.

I - 3 – Boussole solaire

« La construction proposée consiste à coupler deux cadrans solaires : un cadran horizontal et un cadran analemmatique (Fig. 6). Lorsque les deux cadrans indiquent la même heure, l'axe de cette "boussole solaire" est orienté vers le Nord géographique. Un tel système n'est cependant valable que pour une latitude donnée.

Fonctionnement : on place le style du cadran analemmatique à la position correspondant à la date. Puis on oriente les deux cadrans pour qu'ils indiquent la même heure. On doit donc faire pivoter horizontalement le système jusqu'à ce que les ombres des deux cadrans soient en accord ».

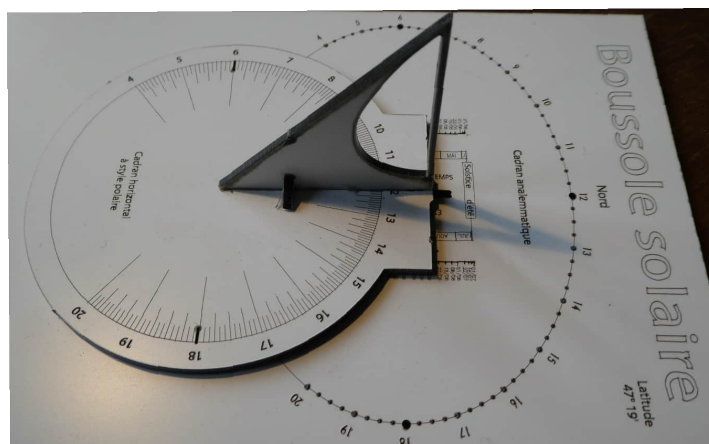
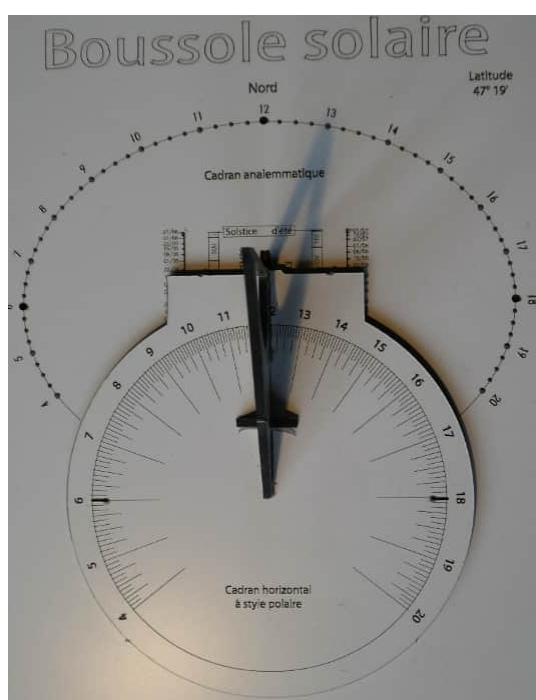


Fig. 6 : Photos de la maquette de Pierre Causeret
<http://www.astromaquettes21.com/>
Lorsque les deux cadrans indiquent la même heure solaire, l'axe des deux cadrans est orienté vers le Ng.

Boussole solaire	Orientation : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	❶❷❸❹	❸❹ Non	❸❹ Non	❶❷❸❹

Facile à réaliser par un gnomoniste. L'ensemble des 2 cadrans n'est utilisable que pour une seule latitude. Le manque de précision est dû principalement à celui du bon positionnement du style droit sur l'échelle des dates du cadran analemmatique et à la précision de la lecture des heures sur les cadrans en général.

I - 4 – Ombres solaires égales

« Sur une surface parfaitement horizontale, on installe un gnomon de 50 cm de hauteur dont on vérifie la verticalité par un fil à plomb. Depuis le gnomon, on trace très précisément 5 cercles de rayon respectifs de 25 cm, 50 cm, 100 cm, 150 cm et 200 cm » (Fig. 7).

L'extrémité de l'ombre du gnomon coupe chaque cercle deux fois au cours de la journée : une fois le matin et une fois l'après-midi. On doit noter très précisément le point d'intersection de l'ombre sur chaque cercle. A la fin de la journée, on joint d'un trait ("corde") les points correspondants de chaque cercle. La médiatrice de chaque corde passant par le pied du gnomon matérialise le méridien du lieu ».

Cette méthode est également appelée "cercles hindous" ou encore "méthode des bissectrices".

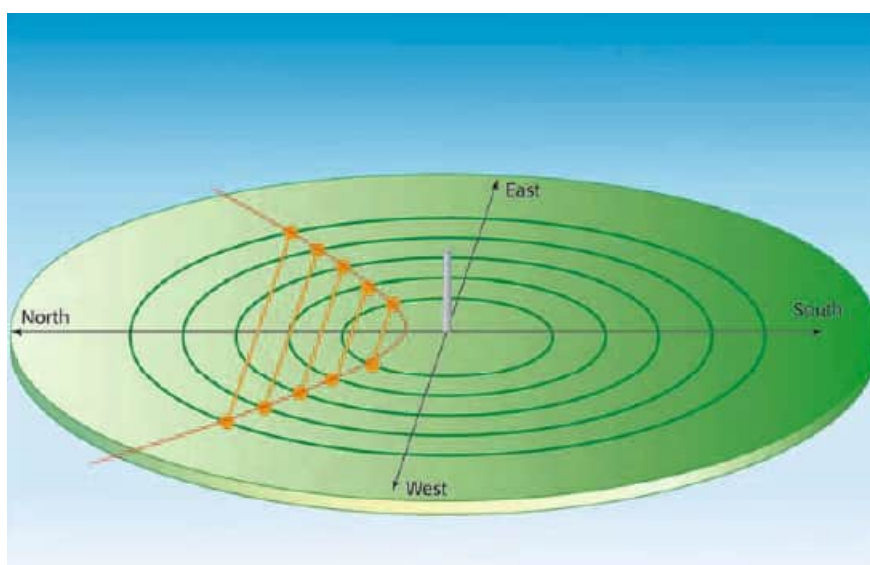


Fig. 7 : La courbe jaune matérialise l'ombre de l'extrémité du gnomon au cours de la journée.(Schéma D. Savoie)
La ligne Nord-Sud géographique, passant par le centre du gnomon, est la médiatrice commune aux cordes.

Ombres solaires égales	Orientation : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Non	❶❷❸❹	Oui Non	Oui Non	❶❷❸❹
Méthode simple et pédagogique, rigoureuse uniquement aux solstices. Elle n'est pas d'une grande précision par le fait de la pénombre de l'extrémité du gnomon.					

Remarque :

A partir d'un relevé théorique parfait⁴, G. Vincent (CCS) a calculé la précision en intégrant la variabilité diurne de la déclinaison du soleil⁵. Il en ressort :

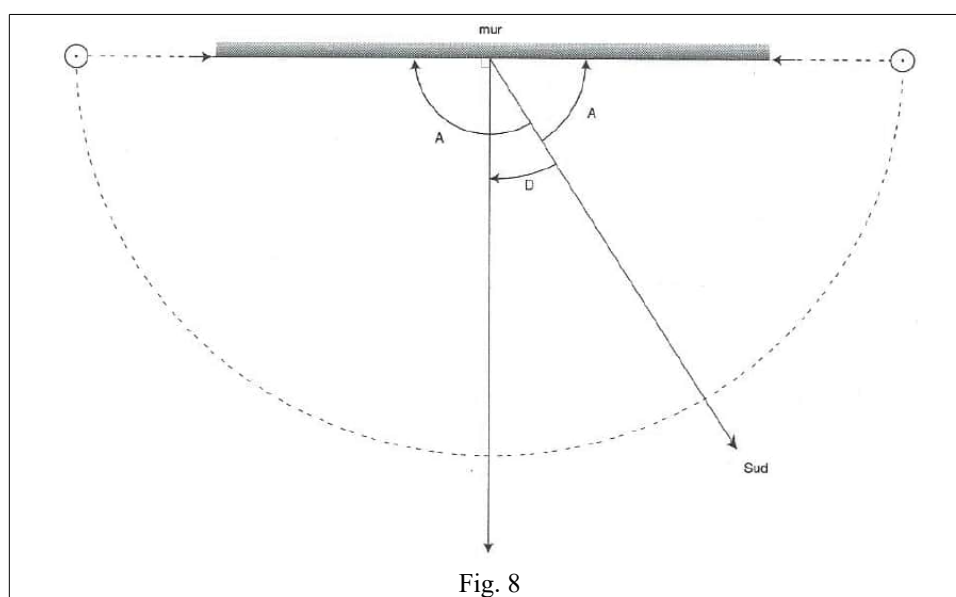
« La détermination de la méridienne présente un petit écart, maximal aux équinoxes et nul aux solstices. L'étude proposée permet de le quantifier : de l'ordre de 1/10ème de degré il est peu sensible au rayon du cercle et croît avec la latitude. Ces considérations s'appliquent aussi à la détermination des sous-stylaires des cadrans déclinants inclinés ».

4 Difficile à obtenir compte tenu de la qualité de l'extrémité de l'ombre ou de la détermination du centre de la tache lumineuse dans le cas d'un œilleton

5 "Méridienne par cercle hindou" : Cadrans Info n° 45.

I - 5 – Passage dans un plan

« Cette méthode consiste à noter l'instant précis où le Soleil passe dans le plan du mur, qui peut être soit le matin, soit l'après-midi (Fig.8).



Ceci peut se faire à l'aide d'un théodolite ou d'un système réticulé placé contre le mur. Ayant l'instant t de passage (en heure UT⁶), on déduit immédiatement la déclinaison gnomonique par la formule :

$$\tan D = (\cos \Phi \tan \delta - \sin \Phi \cos H) / \sin H$$

H étant l'angle horaire du Soleil à l'instant de la mesure (voir méthode de la planchette pour son calcul au chapitre I-8) et δ la déclinaison du Soleil au même instant ».

(Complément et exemples de calculs : *La Gnomonique* de D. Savoie p. 69)

Passage dans un plan	Orientation : Non	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	① ② ③ ④	Oui Non	Oui Non	① ② ③ ④
Méthode non applicable toute l'année si le mur est peu déclinant. Précision en fonction de la hauteur du soleil lors du passage dans le plan.					

I - 6 - Passage au méridien

Par calculs avec éphémérides

« Lorsque le Soleil passe au méridien d'un lieu en Europe, il se situe exactement au Sud géographique. A cet instant, l'ombre d'un gnomon (ou d'un fil à plomb) indique le Nord géographique.

Il faut donc connaître l'heure légale (heure de la montre) exacte du passage au méridien pour matérialiser le méridien grâce à l'ombre. L'instant de passage du Soleil au méridien varie chaque jour et dépend de la longitude du lieu. On peut le trouver dans les éphémérides (voir Chapitre III-2 : Applications/logiciels utiles).

6 Temps Universel

Connaissant la longitude λ du lieu exprimée en heures, minutes, secondes et la valeur E de l'équation du temps, on applique la relation :

Temps de passage = 12h + E + λ + (1h hiver ou 2h été)

Il faut prendre garde aux signes de l'équation du temps et de la longitude (voir chapitre I - 10 Recommandations et rappels). La montre doit être parfaitement réglée ».

Avec l'application Solar Info

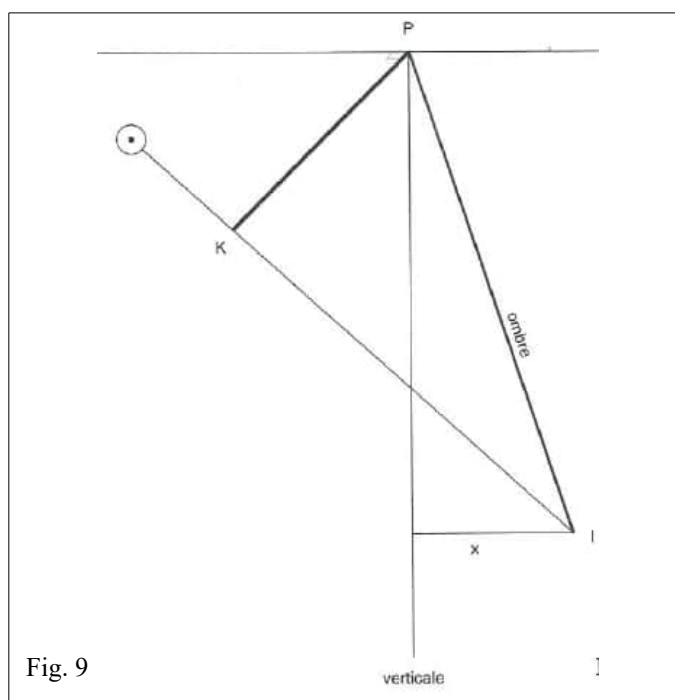
A noter que la fonction appelée "Événement" de l'application Solar Info⁷ indique (entre autre) l'heure de la montre du passage du soleil à l'azimut 180° ou bien traduit directement le midi solaire du lieu en heure de la montre. Plus besoin de calcul. (voir Chapitre IV : Applications/logiciels utiles)

(Complément et exemples de calculs : *Les cadrans solaires tout comprendre pour les construire* de D. Savoie p. 40)

Passage au méridien	Orientation : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	❶❷❸❹	Oui Non	Oui Non	❶❷❸❹
Méthode simple, déconseillée en été (variation rapide du Soleil à midi). Une petite erreur sur l'heure de la montre ou le temps mis pour marquer l'ombre sur le support peut influencer considérablement sur la direction Sud-Nord géographique.					

I - 7 – Style droit

On plante perpendiculairement au mur, dont on s'est assuré qu'il était bien vertical, un style droit de longueur PK. A un instant donné, on mesure la distance horizontale de l'extrémité de l'ombre PI du style par rapport à la verticale descendante passant par le style droit (Fig. 9).



7 Les adresses des applications, logiciels... téléchargeables sur le web sont mentionnées au chapitre IV-
REFERENCES SOURCES et SITES UTILES

Appelons x cette distance, on a :

$$\tan \Psi = x / PK$$

x est pris positif à droite de la verticale, négatif à gauche. Ayant calculé l'azimut A du Soleil, on a directement :

$$D = A - \Psi$$

On pourrait également noter l'instant où l'ombre du style droit coïncide exactement avec la verticale qui en est issue. En calculant l'angle horaire H et la déclinaison du Soleil δ à l'instant du passage, on a directement :

$$\tan D = \sin H / (\sin \Phi \cos H - \cos \Phi \tan \delta)$$

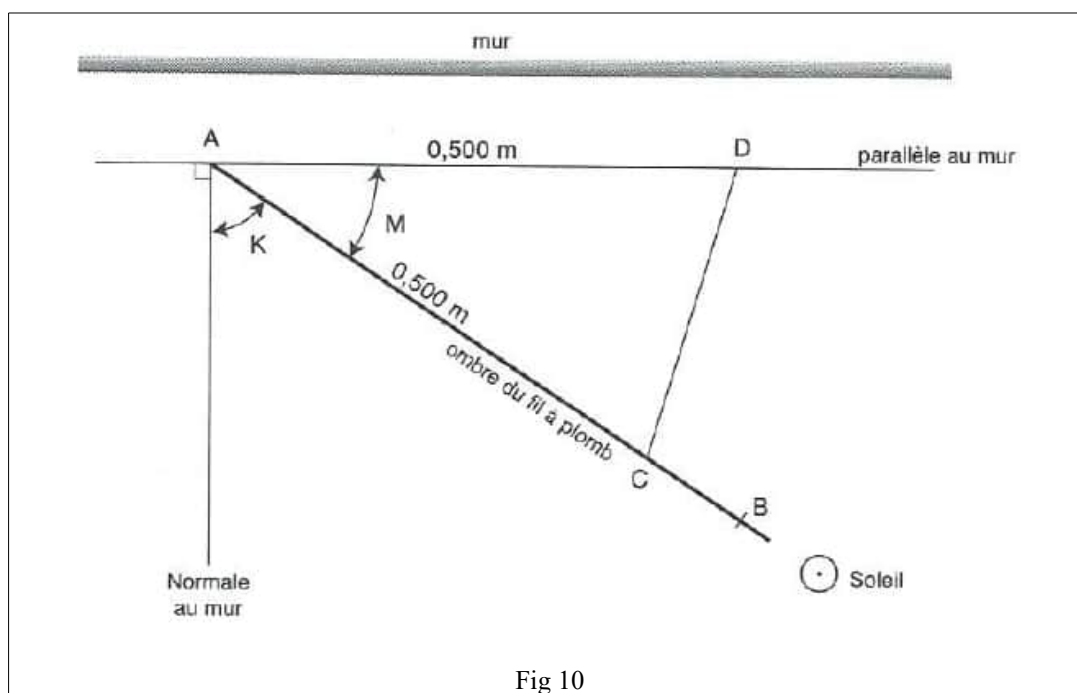
(Complément et exemples de calculs : *La Gnomonique* de D. Savoie p. 70)

Style droit	Orientation : N	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	① ② ③ ④	Oui Non	Oui Non	① ② ③ ④
La difficulté de la méthode est dans la mesure de la quantité x, laquelle est affectée par la pénombre et ce d'autant plus que l'on opère à une grande distance de la verticale.					

I - 8 – La Planchette

Méthodes et calculs

On place contre le mur une table ayant au moins 80 cm de longueur. On la recouvre d'un papier à dessin suffisamment grand. La table doit être parfaitement horizontale, ce qui peut être contrôlé à l'aide d'un niveau à bulle. On place ensuite un fil à plomb assez épais le plus près possible du bord extérieur de la table. Lorsque le Soleil brille, l'ombre du fil à plomb se projette sur le papier (Fig 10). On peut amortir les oscillations du fil à plomb en le plongeant dans un récipient d'eau en vérifiant bien qu'il reste libre.



Lorsque l'image du fil paraît nette et stable, on marque rapidement le point A où l'ombre coupe la ligne parallèle au mur et un point B pris sur l'ombre à courte distance du plomb. On note immédiatement l'heure à la seconde près, en ayant eu soin de régler la montre sur l'horloge parlante. Si l'on est en période « heure d'été », retrancher 2 h à l'instant de la mesure, et 1 h en période « heure d'hiver ». Il faut, en effet, exprimer l'instant de la mesure en Temps Universel (UT).

On joint ensuite les points A et B en prolongeant si nécessaire la droite ainsi tracée. Cette droite ainsi obtenue, on porte 500 mm exactement, ce qui donne le point C. Puis du même côté de C, sur la ligne parallèle au mur passant par A, on reporte aussi 500 mm, ce qui donne le point D. On mesure ensuite avec précision la corde CD.

Pour augmenter la précision des résultats, il est préférable de faire au moins quatre mesures au cours de la journée, en prenant soin que celles-ci soient suffisamment séparées les unes des autres (par exemple une mesure par demi-heure).

Le traitement numérique d'une mesure s'effectue de la façon suivante. On calcule en premier la déclinaison δ du Soleil à l'instant du pointé à l'aide des éphémérides⁸. On détermine ensuite l'angle horaire H du Soleil à partir de l'instant du passage au méridien du lieu, de longitude λ .

En appelant "t" l'instant d'une mesure (en UT), on a :

$$H = (t - T_{\text{passage}}) \times 15$$

Si la mesure a lieu après le passage au méridien local, l'angle H est positif, et négatif si la mesure a lieu avant le passage au méridien local.

On peut alors calculer l'azimut A du Soleil à l'instant de la mesure par la formule :

$$\tan A = \sin H / (\sin \Phi \cos H - \cos \Phi \tan \delta)$$

On notera que sin A doit avoir le même signe que sin H ; ajouter ou retrancher 180° si nécessaire. Par exemple si $H = 75^\circ$, $(J) = 48^\circ$, $\delta = 20^\circ$, $\tan A = -18,864$ et $A = 93^\circ,03$ (et non $-86^\circ,97$).

L'angle K dont la normale s'écarte de la ligne d'ombre s'obtient en faisant usage de l'une des deux relations suivantes :

$$\sin M/2 = c = \text{longueur CD exprimée en mètres,}$$

$$\text{puis } K = 90^\circ - M \quad \text{ou} \quad \sin K = 1 - 2c^2$$

Finalement, la déclinaison gnomonique D est donnée par

$$D = A (\text{azimut}) \pm K$$

l'angle K étant additif lorsque le triangle ACD se trouve à droite du point A, soustractif dans le cas contraire.

Remarque : si les dimensions de la table ne permettent pas de reporter les longueurs de 0,500 m, on emploie pour le calcul de l'angle K la valeur $CD/(2 \cdot AC)$ à la place de c. Ainsi avec $AC = AD = 0,350$ m et $CD = 0,180$ m, on a :

⁸ Les éphémérides donnent en général l'instant de passage T_{Paris} du Soleil au méridien à Paris (longitude - 9 m 21 s). Pour un autre lieu, il faut calculer l'instant de passage en tenant compte de la différence de longitude du lieu avec Paris, mais en prenant garde au fait que la longitude est comptée depuis le méridien international. Par exemple à Brest (longitude + 17 m 58 s), on aura $T_{\text{Brest}} = +9 \text{ m } 21 \text{ s} + 17 \text{ m } 58 \text{ s}$. Pour Strasbourg (longitude - 31 m 01 s), on aura $T_{\text{Strasbourg}} = T_{\text{Paris}} - 31 \text{ m } 01 \text{ s} + 9 \text{ m } 21 \text{ s}$. Il est recommandé de faire un petit schéma pour chaque situation.

Il existe des applications donnant directement l'instant de passage du Soleil du lieu considéré. (voir Chapitre Applications/logiciels utiles).

$$\sin K = 1 - 2(0,180/0,700)^2 = 0,8678 \text{ et } K = 60,20^\circ$$

(Complément et exemples de calculs : *La Gnomonique* de D. Savoie p. 65)

La Planchette	Orientation : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	① ② ③ ④	Oui Non	Oui Non	① ② ③ ④
Méthode préconisée par la CCS. Elle est applicable toute l'année. Faire plusieurs relevés au cours de la journée .					

Ci-dessous, photo de M. Robert Sagot † ancien président de la CCS. Il est l'auteur de la « Mesure de la déclinaison d'un cadran » *L'Astronomie* n° 102, février 1988 avec description de la méthode dite de la planchette. Le document est en annexe de l'article « débutants n°1 » de *Cadran Info* 39.



Fig. 11 : R. Sagot et ses outils de relevés de déclinaison



I – 9 - Les "cordes"

Cette méthode dite des "cordes" ne convient que pour les faibles déclinaisons. Elle peut être utilisée sur un cadran de grande surface dont on souhaite connaître l'orientation avec précision. Elle a été imaginée et utilisée par M. Robert Sagot † en 1972⁹.

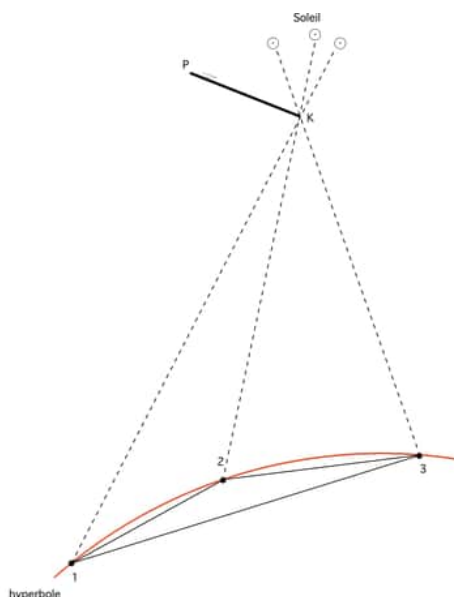
Sur le mur où va être tracé le cadran solaire, on fixe un style droit temporaire muni d'un œilleton. On repère sur le mur le centre de la tache de lumière en notant l'heure, en répétant l'opération plusieurs fois dans la journée lorsque le Soleil brille. On relie les points obtenus dans des droites, qui sont les *cordes* de l'hyperbole journalière et on les mesure précisément .

9 "Le nouveau cadran solaire de l'Observatoire de Juvisy" par R. Sagot, *L'Astronomie* 1974



▲ Style droit temporaire muni d'un œilleton

Mesure des cordes ►



Connaissant la latitude Φ , la déclinaison gnomonique D et la longueur a du style droit, on peut positionner l'image d'un œilleton pour n'importe quelles heures et n'importe quelles dates.

Inversement, disposant de plusieurs positions de la tache de lumière, on peut retrouver les paramètres D et a . Avec une seule corde, donc avec deux pointés, on trouve D si a est connu. Si a est aussi inconnu, on opère avec trois points formant un triangle dont on mesure les trois côtés ou cordes¹⁰.

I – 10 - Outils numériques

Tableur « Planchette » de Dominique Collin (CCS)

Le principe est publié dans *Cadran Info* n° 41, le tableur est en annexe du numéro. Ce tableur Excel (Déclinaison_SAF-CCS.xls) permet d'éviter les calculs liés à la méthode de "la planchette". Il se compose de 3 feuilles :

Feuille 1 : cartouche de renseignement ; Feuille 2 : par calcul ; Feuille 3 : par éphémérides.

Dans la feuille « par calcul » sont repris les exemples de la page 68 du livre *La gnomonique* de Denis Savoie. Cela informe le lecteur des cellules à modifier.

Dans la feuille « par éphémérides » est pris l'exemple de la mesure de la déclinaison d'un cadran solaire à Èze. Cela informe le lecteur des cellules à modifier.

Le lecteur peut suivre les exemples et remplir de la même façon ses données.

Dans la colonne déclinaison, se trouve à gauche un numéro : soit 0, soit 1, soit 2. Prendre 0 si on travaille à GAUCHE de la normale au mur, prendre 1, si on travaille à DROITE de la normale au mur et enfin utiliser 2 si l'on n'a pas de mesure ou encore si on veut éliminer une mesure jugée aberrante.

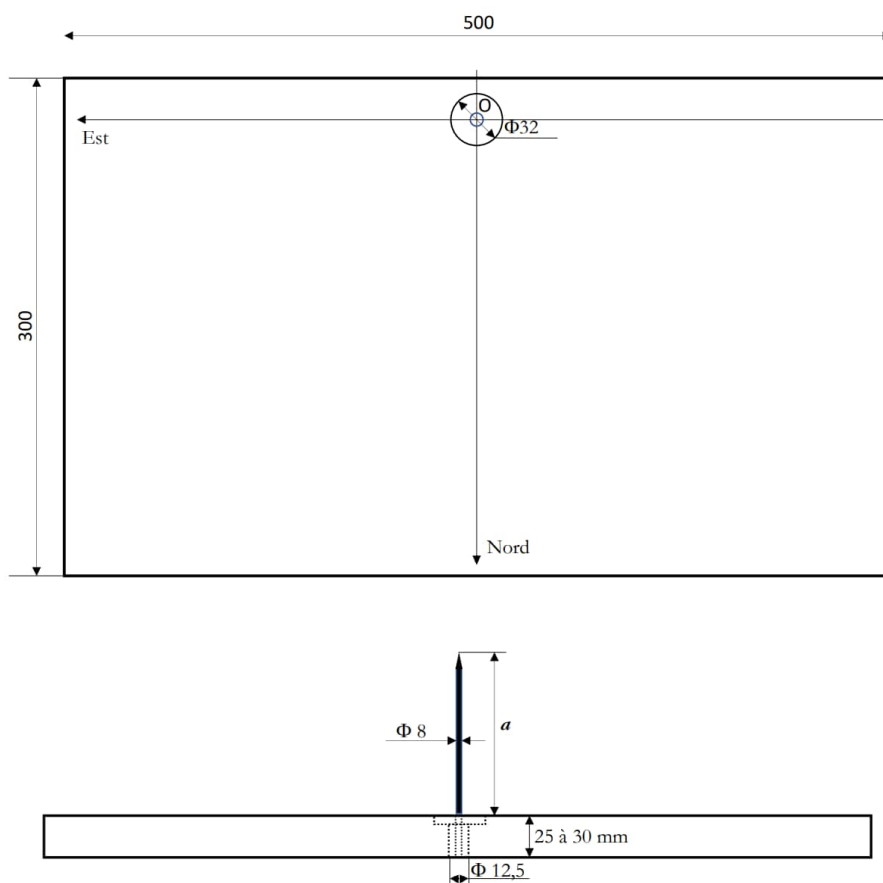
Calculs sous VBA de Marc Sauzeat (CCS)

Le principe est celui du style droit I – 7. Il est présenté en détail dans *Cadran Info* n° 45, le tableur est en annexe du numéro.

¹⁰ "Principe et formules : "Méthode des cordes" par D. Savoie, *Cadran Info* n° 45.

On dispose une plaque rectangulaire dotée d'une tige verticale (perpendiculaire au plan horizontal) implantée à l'origine du système de coordonnées cartésiennes parallèles aux côtés de la plaque.

Cette plaque sera posée sur un support horizontal (réglé au niveau à bulle) en veillant à aligner soigneusement le grand côté de cette plaque sur le support sur lequel le cadran solaire doit être placé. Le repère cartésien placé sur la plaque est tel que l'axe Ox soit orienté vers l'Est et l'axe Oy vers le Nord.



A partir du lever du soleil (hauteur supérieure à 30°), tracer sur la plaque (ou papier millimétré) une croix représentant l'extrémité de l'ombre du style. L'heure UT sera relevée à la seconde près et notée à proximité du point.

Cette opération sera renouvelée tous les quarts d'heure ou au minimum toutes les demi-heures.

Au coucher du soleil les observations cessent. On recueille dans un tableau pour chaque point d'observation : l'instant d'observation UTC et les coordonnées x_i et y_i du même point mesurées par rapport au repère Oxy.

Connaissant la longitude et la latitude du lieu, on introduit les données dans l'ordinateur en suivant les requêtes du programme d'estimation de la déclinaison gnomonique.

Le résultat est donné sur un tableau Excel contenant les données et les résultats des calculs après l'exécution d'un programme VBA.

Logiciel :

Le logiciel Shadows¹¹ de F. Blateyron (CCS) dans sa version gratuite permet, entre autre, de calculer automatiquement une "méthode de la planchette".

Pour cela : aller dans le menu "outils", cliquer sur "calculer la déclinaison gnomonique d'un mur", choisir "Méthode de la planchette" (Fig. 11).

Détermination de la déclinaison gnomonique d'un mur vertical

Lieu de la mesure
 Lieu : XXX, FRANCE
 Latitude : 46° 44' 00" Nord Longitude : 1° 36' 00" Ouest
 Fuseau horaire : TU + 1 h Ecart de longitude : 1 h 06 min 24 s
 Changer le lieu...

Données astronomiques
 Déclinaison du Soleil : -21° 57' 50"
 Equation du temps : 7 min 23 s
 Heure de passage au méridien : 13 h 13 min 33 s (TL)
 Azimut du Soleil : 54° 27' 35,00" (Ouest)
 Hauteur du Soleil : 1° 54' 5,00"

Instant de la mesure
 Date : vendredi 10 janvier 2020 ☐ Heure d'été
 Temps Universel (TU) : 16:18:54 Temps Légal (TL) : 17:18:54 Maintenant

Méthode de mesure
☐ Méthode par mesure de l'angle du Soleil
☐ Méthode de l'ombre rasante
☒ Ombre entrante ☐ Ombre sortante
☒ Méthode de la planchette
☒ Coté gauche ☐ Coté droit
 Longueur des bras : 400 mm
 Mesurer la longueur de l'arc et indiquer le coté où est fait la mesure.
 En savoir plus sur les méthodes de mesure...

Résultats
 Supprimer
 Tout supprimer

Données
 Longueur mesurée : 0 mm
 Déclinaison calculée : 0°
 Valider

Déclinaison gnomonique
 OK
 Annuler

Fig. 12 : copie d'écran de la fenêtre de calcul de la déclinaison gnomonique de Shadows

Les explications nécessaires aux relevés figurent dans le manuel associé au logiciel : chapitre "Déterminer la déclinaison gnomonique d'un mur".

I - 11 - Relevés Google Earth

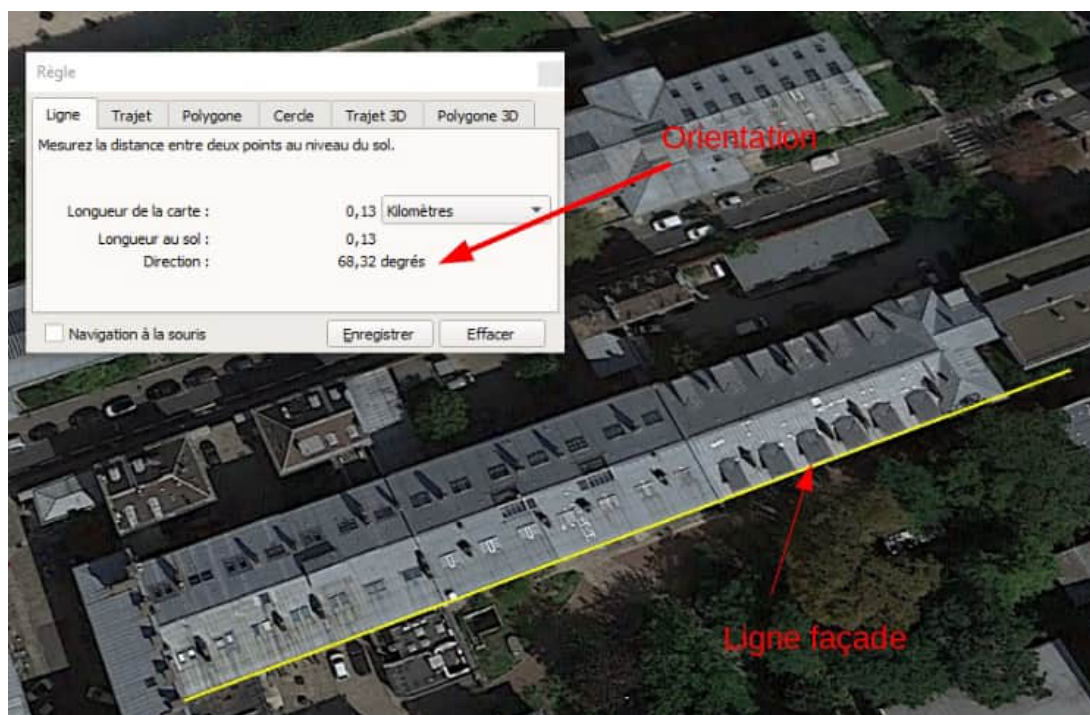
Google Earth Pro

Il est possible de relever directement une orientation avec en particulier Google Earth Pro (gratuit).

Pour cela :

- ° Choisir le lieu en mode photo aérienne.
- ° Cliquer sur "règle", une fenêtre s'ouvre, choisir la fonction "ligne". Tracer une ligne correspondant au bord du mur/toit et lire l'orientation directement (Nord = 0°, Est = 90°, Sud = 180°, Ouest = 270°).

11 Logiciel Shadows et manuel : <https://www.shadowspro.com/fr/telecharger-shadows.html>



Google earth	Orientations : Oui	Difficultés relevé	Calculs	Logiciel	Précision résultats
	Déclinaison : Oui	❶❷❸❹	Oui Non	Oui Non	❶❷❸❹
Très simple et pratique à utiliser principalement pour des "relevés à distance".					

Application "DeclGnom"

César Busto créateur de l'application « Solar Info » a réalisé une nouvelle application « DeclGnom » pour smartphone (Android). Elle permet de déterminer l'orientation d'un plan vertical.

Le principe est celui offert par Google Earth Pro : utilisation en mode carte ou photo satellite, détermination de l'orientation en couvrant la façade ou la bordure de toit en vue verticale, par une "ligne repère" (du point bleu au point vert), photo ci-après.

Que ce soit de son bureau ou sur le terrain, « DeclGnom » apporte des facilités appréciables pour le gnomoniste. En effet, il est possible de faire plusieurs relevés et d'en lire directement la moyenne. Cela permet ainsi de réduire les erreurs dans le positionnement de la ligne couvrant le plan à relever.

Nota : Les relevés sur Google Earth peuvent avoir une précision de l'ordre de 2° à 3° (voir III – 5).



Exemple :

Traçons la ligne repère (appelée "relèvement compas" dans le mode d'emploi en annexe) sur la façade sur laquelle nous souhaitons installer un cadran.

Répétons l'opération 3 fois. Nous constatons (photo de gauche), que notre premier tracé donne une déclinaison de 9,62, éloignée des deux autres valeurs de déclinaison très voisine (11,76 et 11,87). Il suffit alors de supprimer ce premier relevé (photo de droite) qui fausserait la moyenne pour obtenir une valeur fiable de la déclinaison (ou de reprendre une mesure).

Sud	Déclinaison
80.3775	9.6225
78.2359	11.7641
78.1263	11.8737

Sud	Déclinaison
78.2359	11.7641
78.1263	11.8737

DeclGnom	11.09
----------	-------

DeclGnom	11.82
----------	-------

L'application "DeclGnom.apk" à charger sur votre smartphone peut être demandée directement à César Busto [<cbusto1@gmail.com>](mailto:cbusto1@gmail.com) qui vous l'adressera par wetransfer. Le mode d'emploi est en annexe.

I - 12 – Recommandations¹² et rappels

- Tout d'abord ayons à l'esprit que sous nos latitudes Φ et longitudes λ :
 - ° Un degré d'erreur dans l'orientation entraîne une erreur de lecture de 4 minutes environ.

¹² Se reporter aux ouvrages de D. Savoie mentionnés au chapitre IV

° Si la déclinaison gnomonique D est connue à $0,1^\circ$ près, l'heure du cadran sera exacte à + ou - 0,4 ou + ou - 0,5 minute près. En général les gnomonistes se satisfont d'une précision de cet ordre.

° Une minute de longitude correspond en mètres sur le terrain à : $1852 \cos \Phi$.

- Symboles astronomiques et gnomoniques utilisés :

° Φ = latitude du lieu (+ dans l'hémisphère Nord, - dans l'hémisphère Sud).

° λ = longitude du lieu (+ à l'Ouest de Greenwich, - à l'Est de Greenwich). Elle est en $^\circ$, ', " ou bien en minutes et secondes de temps (sachant que $1^\circ = 4$ minutes de temps).

° A = Azimut d'un astre compté positivement depuis le méridien Sud du lieu vers l'Ouest de 0° à $+180^\circ$, négativement vers l'Est de 0° à -180° .

° h = hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon de 0° à 90° .

° δ = déclinaison du Soleil.

° H = angle horaire du Soleil (0° à $+180^\circ$ à l'Ouest du méridien ; 0° à -180° à l'Est du méridien). En gnomonique on compte $12h = 0^\circ$; $13h = +15^\circ$; $14h = +30^\circ$... et pour le matin $11h = -15^\circ$, $10h = -30^\circ$...

° D = déclinaison gnomonique de la table d'un cadran. C'est l'azimut de la perpendiculaire au mur, comptée depuis le Sud de 0° à $+180^\circ$ vers l'Ouest et de 0° à -180° vers l'Est. Un cadran méridional à une déclinaison de 0° .

° UT (TU) = l'Universal Time (Temps Universel) est l'heure de la montre (Temps Légal) - 1 heure en hiver, ou -2 heures en été.

- Incidence "solaire" :

° On ne perdra jamais de vue que sous nos latitudes, l'azimut du Soleil varie le plus vite lors du passage au méridien, tout particulièrement en été. En France, la variation moyenne est de $36'$ en une minute au solstice d'été. Autrement dit, les ombres tournent plus rapidement lorsqu'il est midi au Soleil »

° Tôt le matin ou tard le soir apparaît le phénomène de réfraction. « Celle-ci interfère sur l'heure solaire de l'ordre d'une minute de temps, lorsque le Soleil est proche de l'horizon ».

° Le diamètre apparent du Soleil ($32'$) s'ajoute à l'erreur de la réfraction. L'erreur de mesure du temps solaire atteint presque 2,5 minutes.

On pourra lire les articles de D. Savoie sur le sujet de la culmination du Soleil au passage au méridien ainsi que le déplacement de son ombre à cet instant dans :

° *Culmination et méridien* Cadran Info n° 7,

° *Passage au méridien et méridienne* Cadran Info n° 6.

- Les formules données par D. Savoie sont directement utilisables avec une "présentation à la française" de l'équation du temps. S'il s'agit d'une présentation anglo-américaine, attention les signes sont inversés. Pour savoir si une valeur de l'équation du temps est donnée selon la définition française : vérifier la valeur pour le 1er janvier : si elle est positive, c'est la définition française ; sinon, pour utilisation (remplacer - par + et réciproquement).

- Effectuer plusieurs mesures et écarter la (les) valeur(s) aberrantes (valable pour tous les types de relevé).

- Fil à plomb :

° Amortir les oscillations du fil à plomb en plongeant ce dernier dans un récipient contenant de l'eau.

° Plutôt que de placer le fil à plomb avec son récipient sur la surface du relevé (planchette), placer ceux-ci sur le côté de celle-ci (surélevée et parfaitement horizontale) pour profiter au mieux de la netteté de l'ombre du fil (Fig 13).

Le fil à plomb au plus prêt d'une planchette permet d'obtenir une ombre portée de qualité sur environ 20 cm

Photo Ph Sauvageot

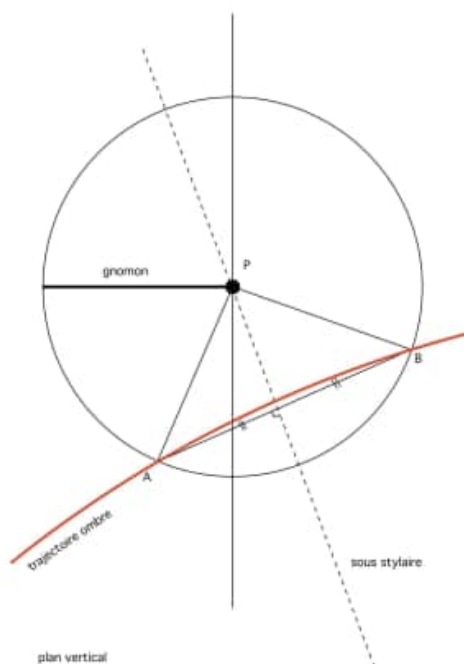


I - 13 – Méthode de La Hire

Cette méthode définie par Philippe de La Hire¹³ dans ses traités de 1682 et 1698 permet de tracer un cadran d'orientation et d'inclinaison quelconques inconnues ne connaissant que la seule valeur δ de la déclinaison du Soleil.

Nous la rapportons ici pour son aspect général et historique qui clos la liste des techniques concernant le tracé d'un cadran sur un plan dont l'orientation est inconnue.

Sur un mur, on pointe à deux instants de la journée l'extrémité de l'ombre d'un gnomon perpendiculaire afin de déterminer sa plus courte distance. On obtient ainsi ce que l'on appelle la sous-stylaire du cadran. Elle est la projection du style polaire sur le plan vertical.



A partir de la sous stylaire, par constructions géométriques à l'aide de la règle, du compas et du fil à plomb, on détermine le point d'implantation du style polaire, la droite équinoxiale perpendiculaire à la sous-stylaire, la ligne midi et enfin les autres lignes horaires.

La détermination de la sous-stylaire sur un plan incliné et déclinant se fait de la même façon.

◀ Tracé de la sous stylaire
schéma de D. Savoie

13 "Philippe de La Hire : un astronome novateur dans la gnomonique et les astrolabes" par Denis Savoie : Cadran Info n° 40.

II - Les méthodes et instruments des membres de la CCS

Rappel des articles publiés dans *Cadran Info*¹⁴

La présentation est dans l'ordre chronologique des publications.

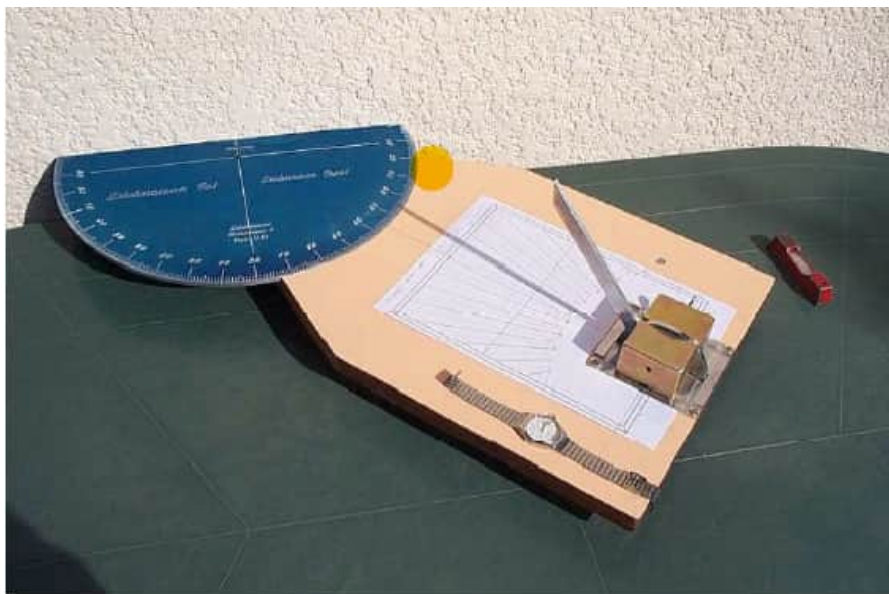
II - 1 Méthode de détermination de la déclinaison gnomonique par Dominique Collin (*Cadran Info* n°1).

Cet article concerne aussi bien les plans inclinés et verticaux. Il définit ce qu'est la déclinaison gnomonique et énumère 5 méthodes de mesure. Il présente principalement la méthode de la planchette avec détails pratiques :

- ° du matériel nécessaire,
- ° l'épaisseur du fil à plomb, le montage, le mode opératoire et les calculs,
- ° la mesure des incertitudes et la modélisation des erreurs de mesure,
- ° la conclusion sur la précision fournie par cette méthode.

II - 2 Mesure de la déclinaison par un cadran horizontal par Gérard Labrosse (*Cadran Info* n° 6).

Cet article présente un outil réalisé par l'auteur associant un cadran solaire et un rapporteur d'angle. Lorsque l'heure lue sur le cadran (heure solaire TS) correspond à celle de la montre (heure légale TL¹⁵) au jour de la mesure, on plaque le grand rapporteur d'angle sur le mur puis, on fait pivoter la table seule du cadran. La mesure de la déclinaison du mur est lue sur le rapporteur d'angle.



Appareil et photo de G. Labrosse

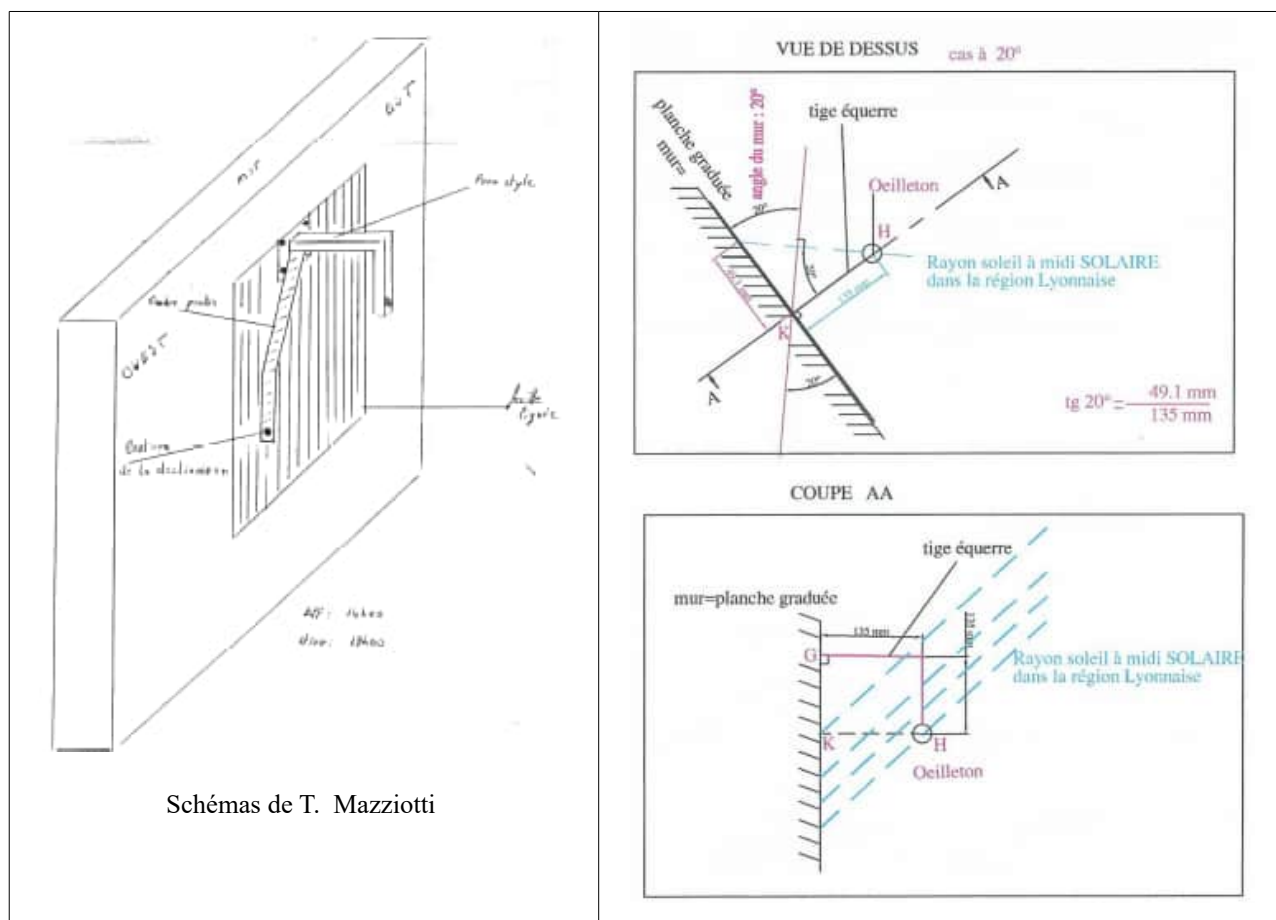
14 Pour la description complète des méthodes et tableurs numériques associés, se reporter au numéro de *Cadran Info* mentionné. Liste et outils au chapitre IV - 1

15 $TL = TS + E + \lambda + 1$ heure (hiver) ou $+ 2$ heures (été), avec E (valeur de l'équation du temps) et λ (longitude en minutes et secondes de temps) qui ont des valeurs positives ou négatives.

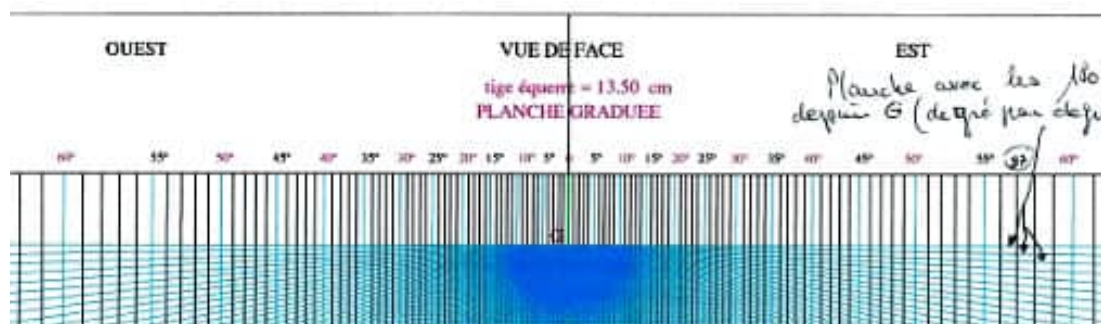
II - 3 Relevé de la déclinaison par Tony Mazziotti (Cadran Info n°6¹⁶).

T. Mazziotti utilise la technique du "faux style". Il présente :

- les outils nécessaires : une feuille A4 lignée en degrés, un faux style et une équerre de 135 x 135 mm,
- la méthode qui consiste à pointer sur la feuille, la position du point lumineux projeté par l'œilleton, à l'instant de la montre correspondant au midi solaire du lieu.



Une grille sur papier millimétré ou une "règle des tangentes", indique directement la déclinaison du mur en fonction de la distance entre la verticale et la tache lumineuse.



Grille donnant directement la déclinaison

II - 4 Comparaison des méthodes de mesure de la déclinaison gnomonique et outils associés par Pierre-Joseph Dallet (*Cadran Info* n°9).

L'article décrit en première partie différentes méthodes, leur facilité d'emploi et la précision qu'il estime :

- la "planchette" : précise (1/10e de degré),
- l'azimut particulier parallèle à un mur¹⁷ : précise mais difficile d'application,
- méthode de Bedos de Celle¹⁸ : précision de 1/2 degré,
- méthode de l'azimut et l'inclinaison simultanées : précision de 1/2 degré,
- méthode de la boussole : pour une estimation,
- méthode de l'étoile polaire.

Dans la deuxième partie, il présente « sa planchette » et la méthode associée permettant une précision de 1/10e de degré. Son logiciel Solarium/Algo Solar* permettait d'effectuer les calculs automatiquement.

* Le logiciel n'est plus mis à jour. Il est encore disponible à l'adresse :

http://villagedeste.ens-lyon.fr/village_este/cycles/cycle-3/cadrams_solaires/solarium/

ou sur CD "Études gnomoniques de P-J Dallet" (Présentation, définition, réalisation de presque tous les types de cadrans solaires et de tracés + Logiciel AlgoSolar).

Le logiciel n'est pas garanti de fonctionner avec les dernières versions de windows. Nous profitons de cet article pour remercier Pierre-Joseph pour toutes ses études gnomoniques offertes à notre commission.



Montage et photo de P-J Dallet

17 Méthode dite du "passage dans un plan".

18 Méthode du "faux style".

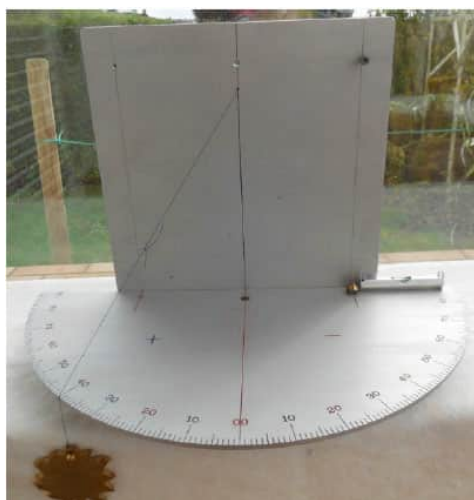
II - 5 Mesure de la déclinaison - Différence d'Azimut par Gérard Labrosse (*Cadran Info* n°10 et *Cadran Info* n° 31).

Dans la première partie de son article G. Labrosse présente son outil permettant de faire coïncider l'ombre supérieure du fil à plomb avec la ligne verticale gravée sur le panneau arrière. À ce moment là, il faut noter simultanément l'heure exacte de la montre et la mesure de l'angle.

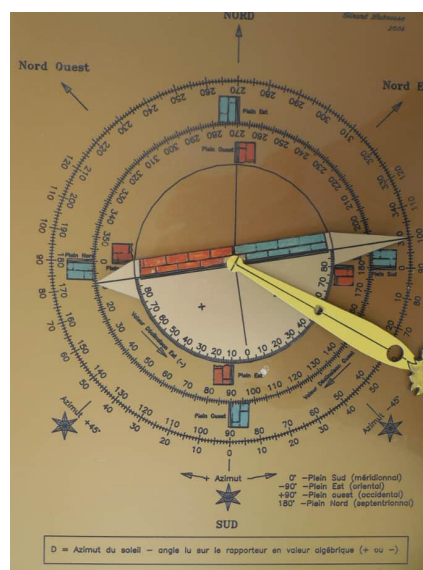
Les formules nécessaires et des exemples sont donnés.

En deuxième partie, la recherche de la déclinaison d'un mur est donnée par la méthode des différences d'azimuts. Les relevés sont présentés. Un montage permet de vérifier la cohérence.

En annexe de l'article de *Cadran Info* n°31 est fourni la feuille Excel pour les calculs : "déclinaison, diff Az.xls".



▲ Outil de relevé Maquette « cohérence » ►
Photos G. Labrosse



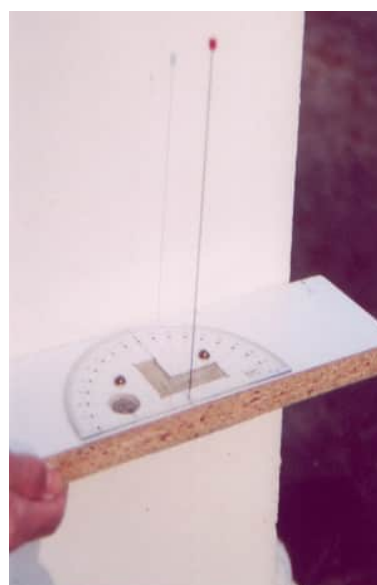
II - 6 Appareil de mesure de déclinaison d'un mur pour les non-gnomonistes par Michel Vercasson (*Cadran Info* n°10).

M. Vercasson (†) présente un outil constitué par une planchette rectangulaire qui comporte sur sa face supérieure : un rapporteur, deux niveaux à bulle perpendiculaires, une boussole, une aiguille implantable au centre du rapporteur, perpendiculaire à la planchette.

L'utilisateur doit placer la planchette contre le mur, parfaitement horizontalement, lire la division du rapporteur indiquée par l'ombre de l'aiguille, noter la date et l'heure de la mesure.

L'auteur proposait de réaliser lui-même le calcul de l'azimut du soleil.

Appareil et photo de M. Vercasson ►



II – 7 Orientation d'un plan incliné-déclinant par Y Massé (Cadran Info n° 10 et n° 45)

Les valeurs de la déclinaison gnomonique et celle de l'inclinaison du mur sont données par le relevé de la position de la tache lumineuse projetée par un oeilleton sur une "planchette" à plusieurs instants de la journée. Puis les calculs sont effectués automatiquement à partir du site de Michel Lalos¹⁹ ou de l'auteur.

Dans son article initial, Y. Massé présente : les calculs de l'orientation d'un plan, les calculs du cadran, les matériaux nécessaires à la constitution de la planchette et en annexe les différentes formules.

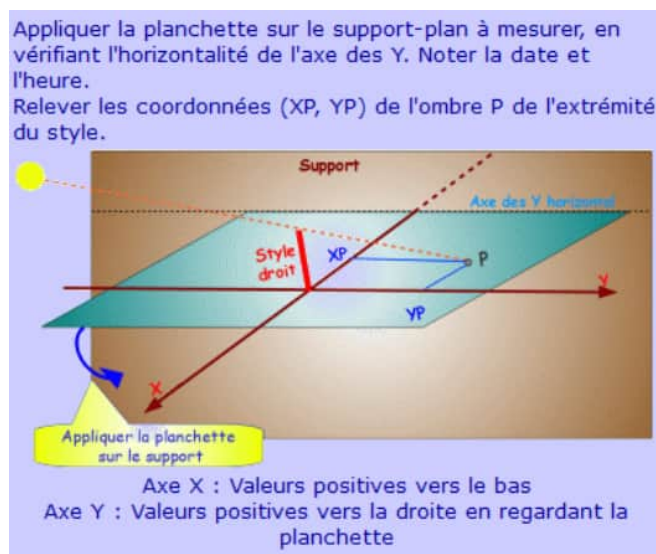
A partir des deux textes, nous présentons ici : la planchette, les relevés à effectuer et les tableurs à remplir pour obtenir automatiquement les résultats.

La planchette :



Les relevés :

Il faut noter les positions successives de la tache lumineuse correspondante au trou de la plaque par une petite croix au crayon et relever en même temps l'heure précise (ci-dessous à gauche). Le principe est décrit sur le site de M. Lalos (ci-dessous à droite).



19 Site de M. Lalos, page :

http://michel.lalos.free.fr/cadran_solaires/doc_cadran/theorie_cs/declinaison_gnomonique.html

Avant d'effectuer les calculs, il faut déterminer la position géographique du lieu. Le plus simple est d'utiliser Google Maps.

Les calculs :

Il suffit de renseigner toutes les valeurs obtenues précédemment dans le formulaire proposé par Michel Lalos :

http://michel.lalos.free.fr/cadrams_solaires/outils_gno/Declinaison-gno-mur.php

Utiliser celui sur le site de Y. massé, qui prend en compte automatiquement le changement d'heure été/hiver :

<http://gnomonique.fr/forum/viewtopic.php?f=3&t=21> .

II - 8 Mesure de la déclinaison d'un mur par Philippe Langlet (*Cadran Info* n°32).

Ancien cadranier professionnel, Ph. Langlet présente son appareil qui était expédié aux clients, permettant les relevés nécessaires au calcul de la déclinaison d'un mur.

Il donne :

- les plans cotés pour réaliser l'outil,
- le mode d'emploi,
- les calculs à réaliser.



Appareil de Ph. Langlet sur support (photo Ph. Sauvageot)

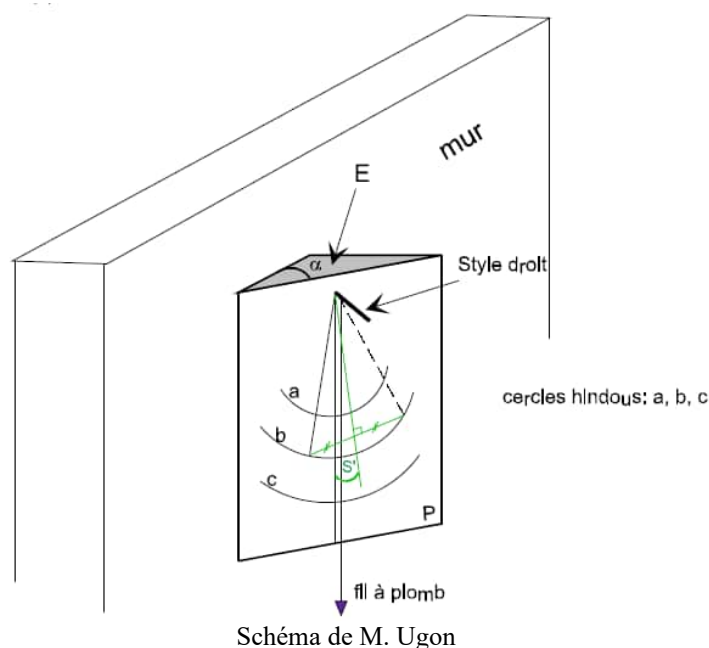
II - 9 Cercles hindous pour murs verticaux par Michel Ugon (*Cadran Info* n° 27)

La méthode des cercles hindous²⁰ est une construction astucieuse et relativement précise pour déterminer le méridien du lieu. Elle peut également servir à tracer les bases d'un cadran solaire, quelle que soit son inclinaison, en particulier sur les murs verticaux.

Dans ces cas, les cercles hindous donnent directement une méridienne du plan, qui devient alors la sous-style d'un cadran à style polaire.

Sont donnés :

- la précision de la méthode,
- le principe,
- l'application.



II – 10 Sur une variante de la méthode de la planchette par Dominique Collin (*Cadran Info* n° 41)

II – 10-1 Méthode d'après P. Drumel

Si la *méthode de la planchette* utilise la longueur de la corde de l'arc qui se trouve entre la direction de l'ombre d'un fil à plomb et la direction parallèle au mur pour trouver ensuite l'angle entre la perpendiculaire au mur et l'ombre la variante proposée utilise une autre technique pour mesurer cet angle.

On dispose toujours d'un plan horizontal et perpendiculaire au mur, d'un fil à plomb et d'un système de chronométrage. On installe alors deux axes gradués millimétrés perpendiculaires au mur et espacés entre eux d'une quantité connue L. L'origine des graduations sur ces axes peut être à la même distance du mur (variante A), mais peut être aussi tout à fait quelconque (variante B).

On relève toujours la direction de l'ombre permettant d'accéder à l'angle entre la normale au mur et l'ombre du fil à plomb.

²⁰ Technique également appelée "Ombres solaires égales"

La mise en œuvre des relevés des ombres est telle que l'opérateur n'agit que sur le fil à plomb et ne touche en rien à l'ensemble table et équerres graduées. Il n'est plus aucunement besoin d'une feuille pour relever au crayon la direction de l'ombre du fil à plomb. Une prise de vue photographique avec un téléphone portable²¹, se chargera de cette opération manuelle. Nous aurons besoin également d'utiliser un logiciel de dessin de type : Paint (windows), Geogebra ou autre.



Dispositif variante "A" de la méthode de la planchette



Exemple de photo pour un relevé d'ombre

Cette variante ("A" ou "B") ne permet pas des mesures au voisinage de la normale au mur, contrairement à la méthode classique. Elle permet par contre d'effectuer des mesures alors même que le Soleil transite dans le plan du mur et passe "derrière" le mur. La méthode des cordes n'étant alors plus applicable en raison de la dimension qu'il faudrait donner à la feuille de relevé. Pour des valeurs faibles de l'angle K_m , la méthode des deux équerres de même longueur s'avère très efficace mais elle ne l'est plus pour des angles supérieurs à 50° (c'est-à-dire lorsque l'ombre se rapproche de la normale au mur)²².

II – 10-2 Solution plus "classique"

Si l'on ne souhaite pas utiliser un smartphone alors on est forcé de revenir à la méthode traditionnelle : papier, crayon, chronographe et ... beaucoup de temps devant soi.

Supposons que sur votre table horizontale vous fixez une grande feuille (format 50×50 cm par exemple) quadrillée millimétrée dont un des bords millimétrés est ajusté contre le mur.

Vous remplacerez alors les deux équerres graduées par deux axes tracés au crayon le long d'une ligne principale des carreaux millimétrés. Ces lignes sont donc déjà graduées (mais non chiffrées), liberté est alors offerte pour placer les origines sur une même ligne de niveau, comme par exemple à distance 350 mm du mur.

21 Permet de stocker simultanément : relevés d'ombre, temps à la seconde près, et position GPS,

22. Avec le matériel utilisé ici (modèle Dexter 400 mm, distance minimale des deux équerres de l'ordre de 300 mm), l'angle maximal que l'on peut espérer atteindre est de 53° . L'ombre du fil à plomb ayant pour position limite la diagonale du rectangle formé par les deux équerres perpendiculaires au mur.

On procédera à l'installation du dispositif du fil à plomb comme précédemment. En ayant réglé un chronographe à un top horaire entier de l'horloge parlante²³ puis l'ayant déclenché quand tout vous semble prêt, les mesures peuvent commencer :

- positionner le fil à plomb de telle sorte que son ombre coupe bien les deux axes perpendiculaires. Attendez qu'il se stabilise.
- marquer les points d'intersection de la partie supérieure et inférieure de l'ombre du fil à plomb avec les deux axes orthogonaux.
- notez simultanément au possible les secondes écoulées puis les minutes. La fonction "tour" du chronographe peut s'avérer particulièrement utile pour cela puisque la durée est affichée sans arrêter le temps.
- numérotez soigneusement les points marqués pour bien distinguer par la suite ce qui appartient au bord supérieur puis au bord inférieur de l'ombre.

Répétez autant de fois que vous le souhaitez cette procédure en espaçant les mesures tous les quarts d'heures par exemple (ce qui permet de faire en direct les relevés des cotes a et b des bords supérieur et inférieur de l'ombre si on le souhaite. Elles seront consignées dans un tableau préalablement préparé).

Il ne sera pas nécessaire de tracer la direction des ombres, les points d'intersection suffisent car la lecture des millimètres sur les axes est directe (avec un peu d'exercice toutefois en raison de l'absence de chiffrage). Ce qui procure un gain de temps et surtout beaucoup moins d'intervention du gnomoniste.

Le traitement s'effectue ensuite exactement de la même façon. L'usage d'un tableur Excel s'avère particulièrement efficace.

La méthode complète de D. Collin est décrite dans *Cadran Info* n° 41. Il est fourni le fichier en annexes l'ensemble des tableurs "Variante_Déclinaison_SAF-CCS.xls" avec ses 4 feuilles : Feuille 1 : Cartouche ; Feuille 2 : Utilisation ; Feuille 3 : Mesures ; Feuille 4 : Coefficients de Student, ainsi que des exemples de résultats.

II – 11 Alignement avec la polaire par J-C. Reita (*Cadran Info* n° 43)

II – 11-1 Méthode J. London

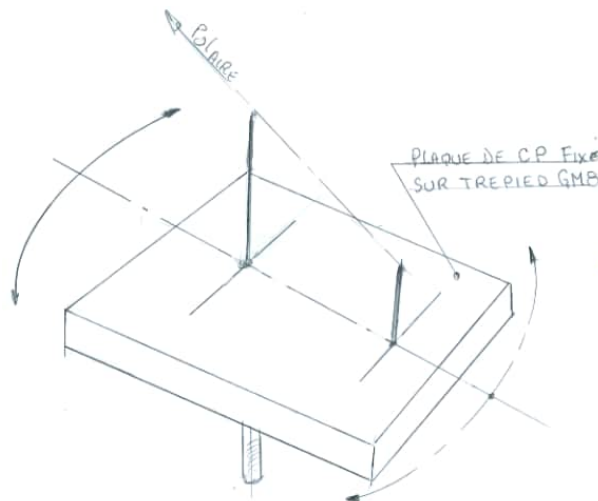
Il faut planter la nuit, deux fines baguettes à deux mètres de distance alignées sur l'étoile polaire. Pour vérification, le lendemain à midi solaire (passage au méridien), l'ombre devrait être alignée sur ces deux baguettes.

La méthode est issue du livre de Jack London "Souvenirs et aventures en pays de l'or".

23. L'instant UT de la mesure a alors la forme $t_0 + \Delta t_i$ ou i est le numéro chronologique de l'ombre. On relève Δt_i en minutes et secondes, t_0 est l'heure du top horaire pris pour origine.



L'Ombre est 11h 43 mn 28s
au passage du Soleil au méridien.



Projet de remplacer les deux baguette par deux tiges sur
plateau pivotant

II – 11-2 Méthode J. James

Autre façon de trouver le Nord (et de définir l'heure du midi vrai). Elle est à découvrir dans le livre de J. James "Histoire et pratique de l'astronomie ancienne"²⁴.

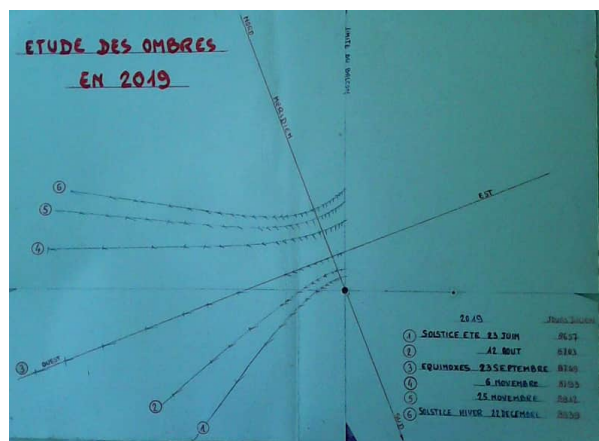
Dans son livre J. James interprète les traces de l'ombre d'un gnomon dans la durée ou dans une journée. Pour cette dernière, il propose entre autre de déterminer la direction du Nord par :

- a) la direction de l'ombre la plus courte projetée par le gnomon.
- b) la technique de la bissectrice des ombres égales.
- c) la hauteur du soleil maximale

Par un contrôle avec l'heure de passage au méridien et fil à plomb, j'ai testé les méthodes, elles marchent.

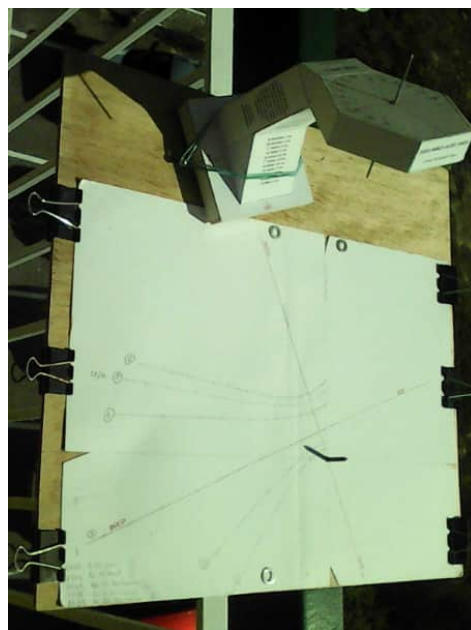
Je vous joins une étude des ombres faite en 2019 en utilisant le garde-corps de mon balcon. La situation de celui-ci ne permet pas d'obtenir une grande courbe l'après-midi.

24 Référence : Histoire et pratique de l'astronomie ancienne de James Evans. Traduction française : Alain Segonds (pages 28-29). Les belles lettres Paris 2016.



▲ Direction du Nord (méridien)
avec l'ombre de mon balcon (2019)

Installation ►

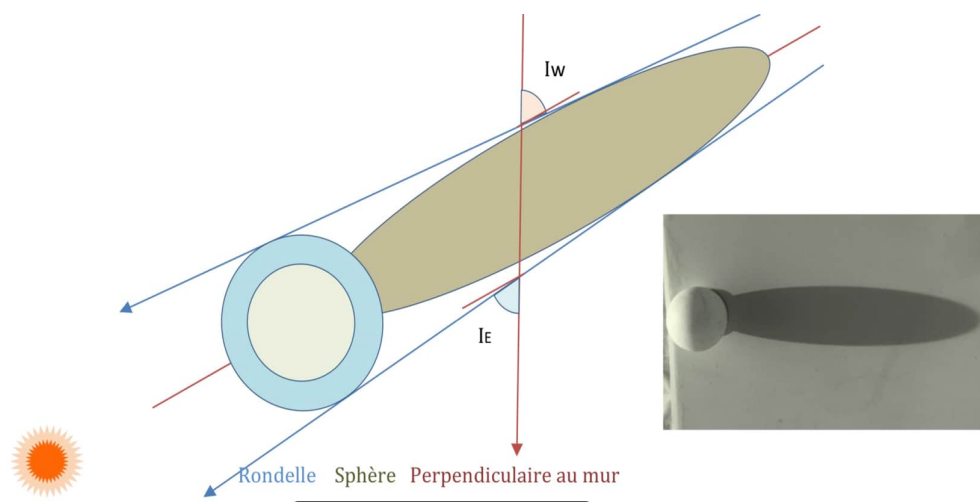


II – 12 Détermination de la déclinaison gnomonique par la mesure de la direction de l'ombre d'une sphère par Gérard Hory (*Cadran Info* n° 51)

Cette méthode repose sur la détermination de la direction de l'ombre d'une sphère sur un plan horizontal, par rapport au plan vertical du cadran. Elle revient à mesurer l'azimut du soleil.

Principe

L'ombre ellipsoïdale d'une boule portée sur un plan horizontal par une rondelle permet la mesure de la déclinaison gnomonique des tables de cadrans verticaux (ou presque verticaux).



Comme l'indique le croquis ci-dessus, les tangentes à la rondelle et à l'ombre de la sphère forment avec la perpendiculaire au cadran deux angles I_w et I_e . La moyenne de ces derniers est égale à l'angle I que fait l'axe de l'ellipse avec la normale au cadran. Cet axe matérialise l'azimut du soleil.

Le diamètre extérieur de la rondelle est soit:

- ° Supérieur à celui de la sphère : dans ce cas la précision est améliorée.
- ° Egal : les tangentes sont alors parallèles à l'azimut.
- ° Inférieur : la précision est un peu moindre. Mais l'on peut tracer un cercle du diamètre de la sphère, y centrer la sphère et tirer des tangentes parallèles à l'azimut.

Quand la hauteur du soleil est basse, l'ellipse très allongée a des contours moins nets. La zone de pénombre est « diluée » par la diffraction ; mais en pointant symétriquement de chaque côté de l'ellipse dans ces zones de pénombre inversées, la précision atteinte est excellente.

Une feuille A4 ou A3 dotée de deux sphères permettra de raccourcir la séance d'observation. Des sphères pleines vissées à travers leurs rondelles constituent une structure d'observation très maniable et précise.



Balle, ombre, mesure à l'aide d'une "règle-rapporteur de Cras"

Matériel

Balles de ping-pong, de billard ou de golf ; les balles de golf présentent en surface des petites dépressions mais le contour de l'ellipse reste net. La sphéricité des balles de qualité est garantie.

Rondelles métalliques percées, de diamètre inférieur ou supérieur à celui de la sphère utilisée. Vérifier si besoin la symétrie des dimensions au pied-à-coulisse. L'épaisseur des rondelles et le rayon de la lumière choisis doivent éviter que la sphère ne touche le plan horizontal.

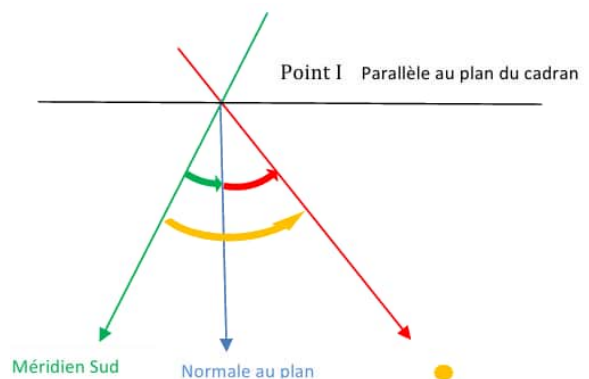
Deux petites règles graduées, équerre, rapporteur ou "règle-rapporteur de Cras". Compas à pointes sèches à longues branches et évidemment niveau à bulle ou nivelle.



Balle de ping-pong posée sur un écrou

Formulaire

L'azimut "A" du soleil (arc jaune) est compté depuis le méridien sud positivement vers l'ouest et négativement vers l'est. La déclinaison gnomonique "D" (arc vert) est de la même manière, depuis le sud, positive à l'ouest et négative à l'est. L'angle "I" (arc rouge) est compté, depuis la perpendiculaire au cadran, positif vers l'ouest et négatif vers l'est.



Tous ces angles orientés, sont donc (comme la longitude géographique) positifs dans le sens horaire et il vient, selon cette convention de signe, la formule algébrique suivante : $D = A - I$

Sur la figure ci-dessus : $A = -63^\circ$ $I = -36^\circ$ soit : $D = -63^\circ + 36^\circ = -27^\circ$

Calcul de l'angle horaire du soleil :

1) Emploi de l'équation du temps :

L'heure d'hiver est égale à TU+1, l'heure d'été à TU+2. L'angle horaire local AHg est compté de 0 à 360. Compté de 0 à 180 et de 0 à -180 il est noté H selon les astronomes.

L'équation du temps, en minutes de temps moyen, est divisée par quatre pour l'exprimer en degrés : $H = TU.15 - 180 - E/4 - G$

2) Par la différence du temps sidéral local et de l'ascension droite : $H = T_{sid}0 - G - ARV$

Calcul de la hauteur :

$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H$ (H compté de 0 à 180 et 0 à -180 depuis le sud).

Calcul de l'azimut :

$\sin Z = -\sin AH \cdot \cos \delta / \cos h$ $\cos Z = (\sin \delta - \sin h \cdot \sin \varphi) / \cos h \cdot \cos \varphi$

° AH étant compté de 0 à 360 dans le sens horaire depuis le sud du méridien.

° Z étant l'azimut "nautique" ou "géographique", compté de 0 à 360 depuis le Nord.

° L'azimut "astronomique", A, est compté depuis le sud de 0 à 180 vers l'Ouest et de 0 à -180 vers l'Est. $A = Z - 180$

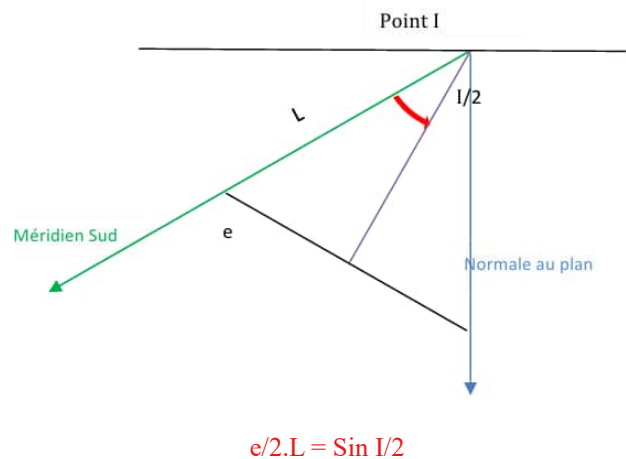
Tracé des tangentes

Il vaut mieux ne pas tracer directement les tangentes lors de l'observation. A l'aide des deux petites règles on dégrossit le lieu de « tangente » et l'on pique avec le compas à pointe sèche la double épaisseur de papier rapidement des deux côtés de l'ellipse. Baliser éventuellement les points piqués avec un feutre très clair. Le procédé nécessite des hauteurs comprises entre 20 et 8 degrés, donc l'azimut varie très lentement à ces instants ; la moyenne des tops suffira. Les enregistrements audio ou vidéo sur les smartphones que l'on déclenchera à l'avance à la minute ronde donnent une précision horaire de la seconde, même pour un seul observateur. Les tangentes seront tracées à tête reposée avant la mesure ou le calcul des angles.

Mesure ou calcul des angles "I"

La mesure au moyen d'un grand rapporteur ou d'une règle CRAS atteint la précision du dixième de degré pour de bons yeux.

Quant au calcul de I, pour la précision des mesures, l'usage du compas à pointe sèche est recommandé. Caler le compas sur un écartement de 40 mm par exemple. Pointer le point d'intersection avec une branche et marquer les $L = 40$ mm sur les deux droites. Faire pivoter le compas sur le dernier point et mesurer le côté intermédiaire par le nouvel écartement e.



Nota : des exemples numériques sont donnés dans l'article de *Cadran Info* 51 de mai 2025.

III - Les méthodes et instruments de membres de la CCS

Retours d'expériences

Il s'agit des retours sur les méthodes, outils, astuces utilisés par les membres de la CCS et de méthodes relevées sur des sites également de membres de la CCS.

III -1 Déclinomètre à fil de Henri Gagnaire (CCS) (réf CI 41)

Pour la mesure de la déclinaison d'un mur bien vertical, H. Gagnaire utilise « un appareillage dont le coût est très modeste » et qu'il a nommé : déclinomètre à fil.

La méthode consiste à l'heure H (heure du soleil) de placer le fil afin que son ombre recouvre la verticale du dispositif et de relever l'angle marqué par l'ombre sur la partie horizontale.

Pour déterminer la déclinaison D du mur, il faut ensuite calculer, pour cette heure H^{25} , l'azimut A du Soleil, le vrai, celui par rapport au Sud géographique. Pour cela il faut connaître la latitude (Φ) du lieu, la déclinaison (δ) du Soleil (éphémérides) et utiliser la bonne formule donnée en annexe de Cadran Info n° 41. Celle-ci offre également tous les détails :

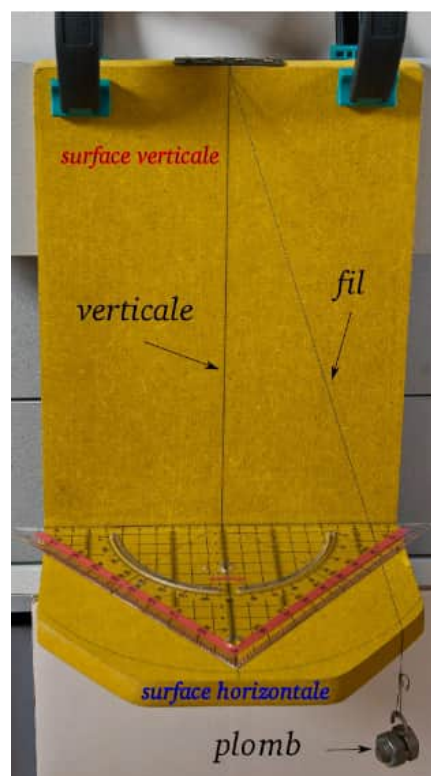
- de l'appareil,
- des techniques de relevés avec les avantages et inconvénients du processus,
- des formules,
- de la précision obtenue.

Remarques complémentaires :

« L'appareillage que j'utilise et que je nomme "déclinomètre à fil" a déjà été décrit par Gérard Labrosse dans un article de *Cadran Info* de 2004. C'est à lui que revient la "paternité" de la méthode et de l'instrument. Merci de mentionner ce travail de Gérard Labrosse ».

« D'autre part, je me permets une suggestion. Dans les mesures de la déclinaison d'un mur, il est important de connaître l'heure solaire avec la meilleure précision. L'application pour smartphone Android, "Gnomonic-Photo" de César Busto qui donne l'heure solaire vraie (si l'horloge du smartphone est bien réglée), la déclinaison du Soleil, sa hauteur et son azimut du lieu de la mesure est un auxiliaire précieux qui évite des calculs fastidieux toujours source d'erreurs ».

Déclinomètre et photo de H. Gagnaire ►



25 Les symboles astronomiques utilisés par les auteurs peuvent être différents d'un témoignage à l'autre. Pour rappel : ils sont normalisés et à retrouver dans "Gnomonique moderne" de D. Savoie édition SAF, page 11 : « symboles et définitions ». Ils sont donnés partiellement au chapitre I-9.

III - 2 Style droit sur plan vertical par Paul Gagnaire (CCS) (réf CI 41)

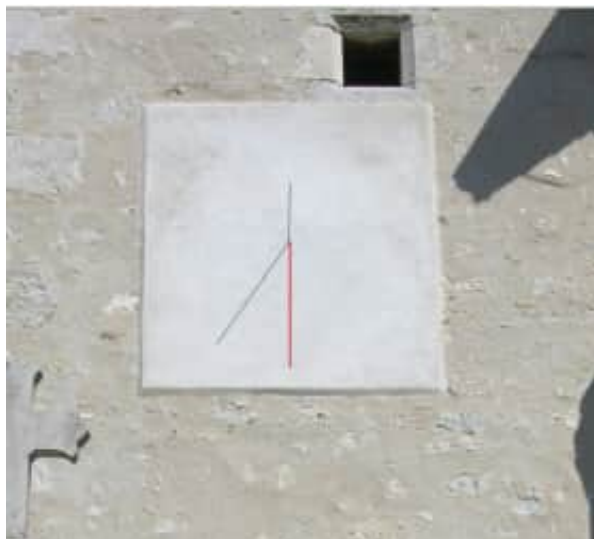
P. Gagnaire présente son expérience de Rochefort-en-Savoie, où il fallait tracer deux cadrans complémentaires.

« Il eût été impensable que les deux cadrans, pendant les plages horaires où ils marchaient tous les deux, ne donnent pas la même heure, aussi j'ai mesuré les déclinaisons des murs avec des raffinements de maniaque, bien qu'en utilisant une méthode très simple.

On ne s'occupe que de la table du cadran, plane et verticale. On enfonce dans la table un long style droit, bien horizontal et bien perpendiculaire à celle-ci.

Du point d'émergence du style, on trace, au fil à plomb, une verticale descendante. On note l'instant horaire où l'ombre du style recouvre cette verticale. Il suffit alors de calculer l'azimut du Soleil en un instant donné, en un lieu donné, connaissant la latitude du lieu, la déclinaison du Soleil, l'angle horaire ».

Le fichier "Déclinaison d'un mur.pdf" qui précise la méthode et son application concrète, ainsi que la formule et la feuille Excel pour effectuer automatiquement les calculs ("Calcullette Astro-Gno 2015-09-26_OK.xls" : problème n° 12) sont disponibles dans *Cadran Info* 41 et ses annexes.



III - 3 Méthodes de relevés de la déclinaison d'un mur par Michel Lalos (CCS)

Sur son site, à la page :

http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/theorie_cs/declinaison_gnomonique.html présente différentes méthodes de relevés de la déclinaison d'un mur :

- Relevé à l'aide d'une boussole
- A partir de Google Earth
- A l'aide d'un plan cadastral
- Les méthodes présentées dans le logiciel Shadows de F. Blateyron : planchette, rapporteur et fils à plomb, "réseau de tangentes"
- Le logiciel Cadcal de Y. Massé
- La méthode de la planchette avec calculateur.

8 - méthode de la planchette



Calculs

- Outil de calculs de l'inclinaison et de la déclinaison gnomonique d'un support plan

Copie écran page :

http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/theorie_cs/declinaison_gnomonique.html

III - 4 les bissectrices par Serge Malassiné (CCS)

Outre sa méthode, S. Malassiné nous donne son avis.

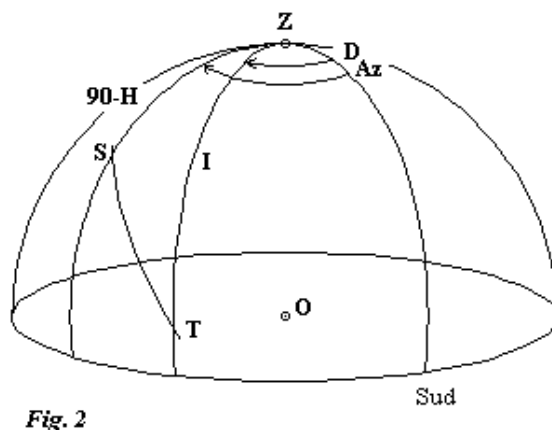
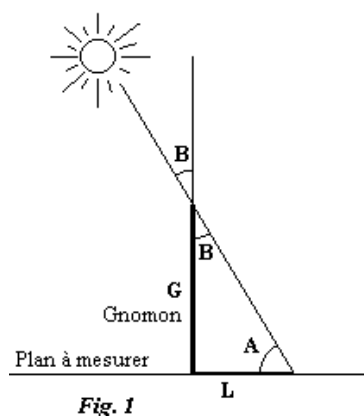
« Tout d'abord, ayons constamment à l'esprit que c'est la précision dans le relevé de la déclinaison qui donnera la précision à notre cadran. Quant à l'utilisation d'une boussole pour cet usage, j'y suis totalement opposé :

- on relève l'orientation du Nord magnétique, et non pas celle de l'axe de rotation de la Terre, et la déclinaison magnétique varie selon le temps et la localisation.
- insuffisance de précision.
- grosses incertitudes dues à l'influence des masses magnétiques, cachées à proximité.

Personnellement, j'utilise la " méthode des bissectrices" décrite dans Shadows. On l'appelle aussi "méthode de l'hyperbole" et je crois, certains, la nomment "méthode des cercles hindous". Tout cela me paraît être la même chose, mais chacun l'adapte à sa manière. C'est une méthode simple, facilement accessible à tous, précise et très fiable, nécessitant peu de moyens et de connaissances, et qui ne coûte rien. »

III – 5 Longueur de l'ombre et relevé sur carte par Eric Mercier (CCS)

« Les quelques fois où j'ai eu besoin de définir une orientation, j'ai utilisé la méthode proposée par Yvon Massé. Elle est basée sur le relevé de la longueur de l'ombre d'un gnomon, tige perpendiculaire au plan à mesurer dont l'inclinaison est connue (Fig.1). Les valeurs recherchées sont traitées par les relations des triangles sphériques (Fig.2).



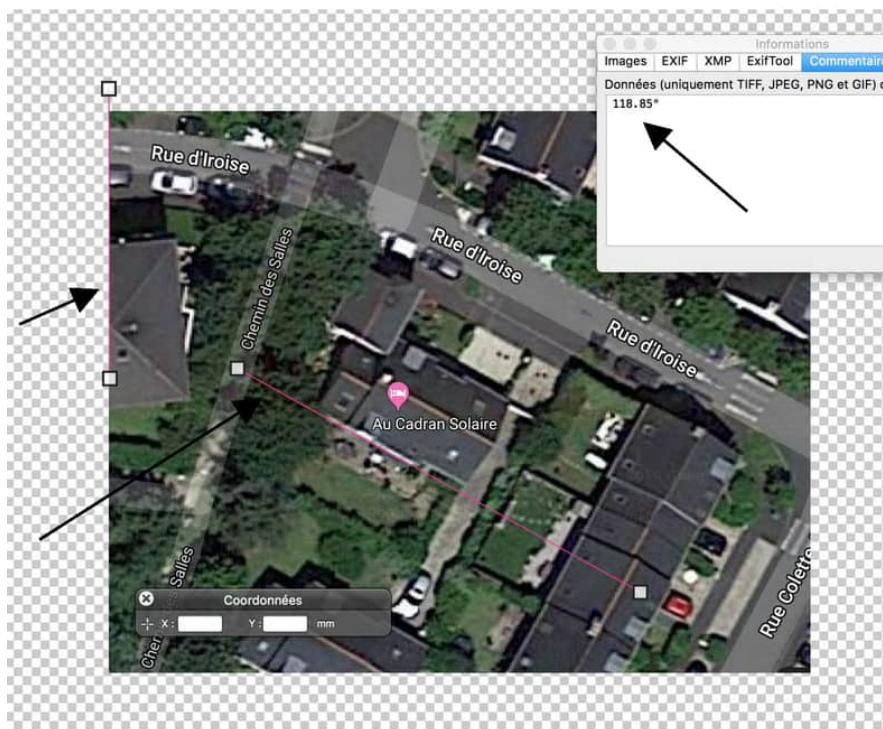
On peut retrouver sa description, calculs et programme à l'adresse :

<http://gnomonique.fr/gnomon/longomb.htm>

Sinon, par expérience, la mesure sur Google map, quand le mur est suffisamment grand pour bien caractériser la direction, donne des résultats utilisables...Voilà donc la « procédure" que j'utilise:

- passer Google-Map ou GeoPortail en mode photo aérienne,
- grossir le bâtiment,

- faire une copie d'écran (ou une capture de la partie intéressante de la photo),
- transférer sur un logiciel de dessin,
- utiliser l'outil « mesure d'angle » pour caractériser l'azimut (moi j'utilise « Graphic Converter" sur Mac),
- éventuellement ajouter ou retrancher 90° pour avoir la déclinaison du mur.



Si l'on compare le résultat avec la même manip refaite une nouvelle fois, ou faite sur une image de Geoportail, on a une bonne répétitivité, je dirai +/- 1°.

C'est sans doute suffisant pour une première approche... et à mon avis de l'ordre de l'erreur que l'on fait avec une mesure directement sur le mur (qui n'est jamais parfaitement plan).

Mais la VRAIE question est plutôt de savoir, comme d'habitude avec une photo, si on n'est pas victime d'aberration ou de distorsion sur les bords. En d'autres termes si la photo est bien corrigée (on parle d'orthophotographie). Je n'ai pas vraiment trouvé l'info, ni sur Google, ni sur Geoportail, mais sur :

<https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/informatique-google-earth-geoportail-3d-653/page/11/>

Il est dit : « Les orthophotographies aériennes ou satellites proposées par les deux services (*Google et Geoportail*) sont obtenues par numérisation de clichés aériens. L'inclinaison de la prise de vue et celle des objets due aux pentes sont ensuite corrigées, afin d'obtenir une carte plane, dont tous les points semblent avoir été pris à la parfaite verticale, sur un terrain plat. Les images sont alors assemblées en mosaïques et les superpositions gommées ». Donc à priori, pas de problème ».

Précision avec Google Earth

- Eric Mercier :

Donne au paragraphe ci-dessus une précision de +/- 1°

- Joseph Auvray :

« J'ai eu l'occasion de vérifier plusieurs orientations de façades avec Google Earth, en les comparant avec l'orientation déterminée sur place. Cela marche à environ 3° à 4° , mais cela dépend aussi de la date de la photo-satellite et des restaurations du bâtiment. Parfois le bâtiment a été restauré depuis les photos-satellite... »

- Yves Guyot :

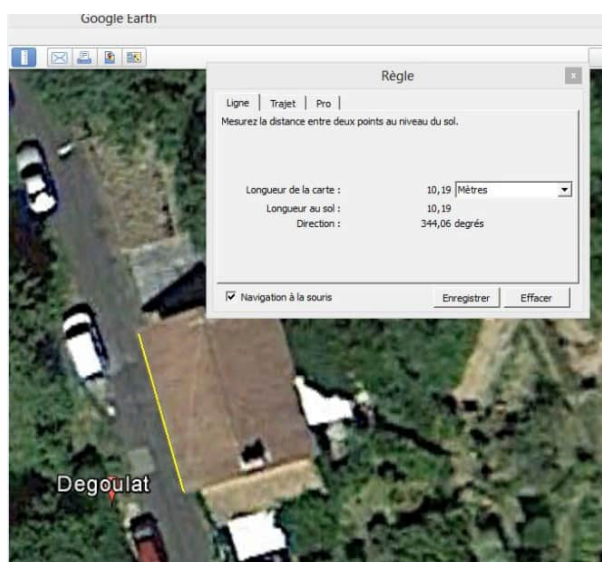
« La détermination de l'orientation du mur à partir de Google Earth, n'est pas précise. L'écart entre cette méthode et la méthode traditionnelle peut atteindre 2 ou 3 degrés.

De plus certaines maisons ne sont pas visibles (masquées par la végétation par exemple) ou non construites à l'époque de la prise de vue.

En outre, l'orientation est prise à partir d'une vue de dessus par rapport à la ligne de bord de toit ou de la ligne du faîtage de toiture. Il arrive souvent que ce bord de toit ne soit pas parallèle au mur considéré pour le cadran, surtout sur des vieilles maisons.

J'avais envisagé cette solution mais je ne l'ai pas retenue. Le procédé est réservé à des gens qui ne s'intéressent pas à la précision, objet pourtant d'un vrai cadran.

Test avec ma maison : l'écart entre la mesure à l'aide de relevés d'ombres habituels et la ligne de bord de toit de Google, est de $1,5^{\circ}$ ».



III- 6 Méthode de la planchette par Joël Robic (CCS)

La mesure de la déclinaison d'un plan vertical est décrite par J. Robic sur son site : <http://www.cadrans-solaires.fr/construction.html>.

« J'ai fait ma planchette avec une demi-circonférence qui fait exactement 90 cm, chaque cm fait alors 2° . Cela permet de mesurer les angles avec une précision de l'ordre du demi-degré.

Un fil à plomb ainsi qu'un niveau plan permettent de vérifier l'horizontalité de la planchette. On obtient l'orientation du soleil par rapport au mur et en comparant par rapport à l'azimut (en utilisant la calculette solarium), on en déduit la déclinaison du mur.

Remarque : à midi solaire, l'ombre permet de mesurer directement la déclinaison du mur.



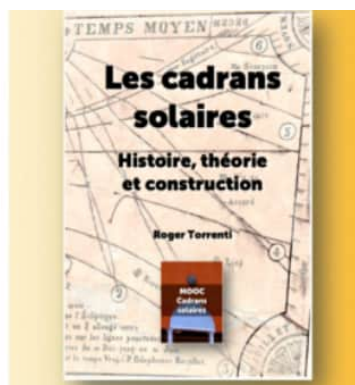
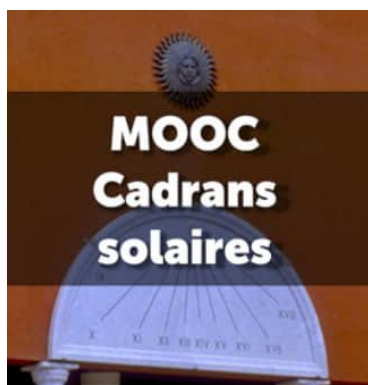
III -7 tracé « à la montre » par Roger Torrenti (CCS)

« Pour ma part, dans les deux cas : orientation d'un cadran et relevé de l'orientation d'un mur vertical, je recommande (notamment dans le MOOC) un tracé à la montre :

- Pour déterminer la direction nord-sud (formule que je préfère à « trouver le sud » car elle s'applique au 2 hémisphères) utiliser un mât vertical avec un œilleton à son sommet (sinon un fil à plomb assez long) et noter sur sa montre (ou son téléphone...) lorsqu'il sera midi solaire, après avoir auparavant avec la fameuse formule du gnomoniste trouvé à quelle heure de la montre correspond le midi solaire (ce qui nécessite la connaissance de la longitude – facile à récupérer sur son téléphone ou sur Google - et de la valeur de l'équation du temps – sur le site de la Commission ou sur le MOOC !). Dans le cas où l'on a déjà installé un style sur un cadran horizontal, ce sera encore plus simple car on alignera le cadran pour qu'à midi solaire à la montre l'ombre du style indique 12h....

- Pour déterminer l'orientation d'un mur vertical, la ligne horaire de midi restant verticale, je préconise de tracer la ligne de 15 h ou de 9h (toujours un 'tracé à la montre') puis de calculer l'angle entre les 2 droites (en tirant une droite perpendiculaire à la ligne de midi depuis la ligne de 9 h ou 15 h puis en appliquant les propriétés d'un triangle rectangle). Comme l'on connaît la formule (un peu compliquée pour un non mathématicien) donnant cet angle pour un mur d'orientation donnée on peut déduire l'orientation exacte du mur. Ceci étant, je préconise de ne pas chercher à connaître la déclinaison d'un mur... mais de simplement tracer à la montre l'ensemble des lignes horaires (cela prend un peu de temps dans une journée mais peut être fait par un débutant non-mathématicien !)

Adresse directe du MOOC Cadrons solaires : <https://www.cadrons-solaires.info/acces-au-mooc/> ou depuis le site de la CCS.



III - 8 Passage dans un plan et suivi d'un arc diurne par Gilbert Vincent (CCS)

« J'utilise préférentiellement 2 méthodes :

1) Passage du soleil dans l'alignement du plan du mur²⁶ :

- outils : filtre solaire* + montre + logiciel éphémérides précis*,
- avantages : très simple à mettre en œuvre,
- inconvénient : méthode peu précise si le soleil est haut dans le ciel (donc être patient et attendre éventuellement la saison adéquate!),
- précision : 0,1 à 0,2 degré. Elle est meilleure si on peut observer 2 passages Est et Ouest. Et de plus formule simple à utiliser. Elle est aussi meilleure (0,05 degré env.) si le soleil passe entre 2 murs parallèles (cas d'un lotissement par exemple) : il suffit alors d'observer la symétrie de l'ensoleillement des 2 murs (filtre inutile), dont on aura préalablement vérifié le parallélisme.

Remarque : méthode utilisée pour le cadran qui illustre l'article « Ecart des cadrans solaires ... » par G. Vincent, *Cadran info* n° 39).

* Précisions :

Filtre = Le filtre solaire est un filtre de sextant de marine. Je le tiens à la main pour les observations.

Logiciel = Le logiciel utilisé est une implémentation quasi totale dans un tableur EXCEL de l'ouvrage *Astronomical Algorithms* de notre collègue Jean MEEUS (avec les termes les plus précis proposés!). Sa précision est donc bien supérieure à celle qui est nécessaire pour les calculs concernant les cadrans solaires.

2) Suivi d'un arc diurne sur un cadran fictif muni d'un style (presque) quelconque.

- Outils :
 - ° planche à dessin munie d'une feuille + crayon + fil à plomb et/ou niveau à bulle ou électronique,
 - ° style quelconque, mais muni d'un trou (à environ 10 cm de la feuille), dont on repère la projection orthogonale précise sur la feuille,

26 Le passage du Soleil dans le plan du mur peut-être généralisé à tous les astres. Je l'ai pratiqué avec La lune, mais aussi les planètes et étoiles.

Pour le Soleil (ou pleine Lune), prendre la moyenne des 2 contacts (début, fin), ou alors il faut calculer, mais attention, les diamètres des astres ne se répercutent pas directement sur les Azimuts.

- ° éphémérides précises et montre,
- Méthode :
 - ° fixer la planche sur le mur (c'est mieux s'il est déjà préparé .. et s'il est plan),
 - ° figurer les axes horizontaux et verticaux passant par la projection du trou du style,
 - ° marquer sur la feuille un maximum de centres de la tache lumineuse,
 - ° repérer les couples X,Y de ces centres,
 - ° chercher informatiquement par régression la meilleure orientation. Sauf aux solstices, il faut tenir compte de la variation de la déclinaison du soleil durant le laps de temps des mesures. Si le mur n'est pas vertical, en tenir compte aussi dans le calcul des X, Y théoriques.
- Inconvénient : il faut 1/2 journée d'observation, et savoir traiter les données. Un logiciel personnel d'éphémérides est idéal pour «bidouiller».
- Précision : quelques centièmes de degrés (0,05 ?)

Remarque : méthode utilisée pour les cadrans Est et Ouest de la Chartreuse du Reposoir (Haute Savoie, 2017). Là, le mur n'était pas vraiment plan!



Photo de la planche qui, fixée directement sur un mur (ici vertical), permet de déterminer sa déclinaison par l'analyse des courbes diurnes. On y observe deux réseaux croisés, car je l'ai utilisée sur deux murs perpendiculaires : deux «droites» d'équinoxe et deux « hyperboles". C'est une (mauvaise) photo de principe, la plaque trouée est normalement sensiblement verticale, mais je n'ai pas sous la main de photo où elle soit correctement positionnée.

Autres méthodes :

- méthode de la planche, toujours avec de nombreuses mesures + régression informatique,
- vue satellite pour dégrossir l'orientation ».

IV- REFERENCES SOURCES et SITES UTILES

IV -1 Référence, sources et tableurs associés

- Ouvrages utilisés

Ce sont ceux de Denis Savoie :

- ° *Les cadrans solaires tout comprendre pour les construire* éd. Belin,
- ° *Gnomonique moderne* éd. SAF
- ° *La gnomonique* éd. Les belles lettres

- Articles cités et tableurs associés

Pour détails et utilisations des tableurs, liste des articles à consulter.

Orientation et déclinaison gnomonique (Ph. Sauvageot) ° Calculette Astro-Gno.xls ° Déclinaison_SAF-CCS.xls ° Declinaison_22_rue_Lamoro_EZE.xls ° Mesure_declinaison_CLG_Republique.xls ° Measure-declinaison_mur_experimental.xls	CI 41
Méthode de détermination de la déclinaison gnomonique (D. Collin)	CI 1
Mesure de la déclinaison par un cadran horizontal (G.Labrosse)	CI 6
Relevée de la déclinaison (T. Mazziotti)	CI 6
Comparaison des méthodes de mesure de la déclinaison gnomonique et outils associés (P-J. Dallet)	CI 9
Mesure de la déclinaison - Différence d'Azimut (P-J. Dallet)	CI 10
Appareil de mesure de la déclinaison (P-J. Dallet) ° déclinaison, diff Az.xls	CI 31
Appareil de mesure de déclinaison d'un mur pour les non gnomonistes (M. Vercasson)	CI 10
Mesure de la déclinaison d'un mur (Ph. Langlet)	CI 32
Cercles hindous verticaux (M. Ugon)	CI 27
Orientation et déclinaison gnomonique (variante de la méthode de la « planchette » (D. Collin) ° Variante_Declinaison_SAF-CCS.xls	CI 41
Courrier/courriel : Nord et midi, détermination du Nord géographique d'après J. London et J. Evans. (JC. Reita)	CI 43
Étalonnage de la déclinaison gnomonique (M. Sauzeat) ° Programme	CI 45

IV - 2 Applications/logiciels utiles

Liste non exhaustive d'applications et ou de logiciels. Ceux réalisés par des membres de notre commission sont indiqués (CCS). Merci d'excuser les oublis.

Thème	Titre
Boussole	Valeur de la déclinaison : ° calculateur en fonction du lieu et de la date : https://www.geomag.nrcan.gc.ca/calc/mdcal-fr.php ° boussole avec Nm et Ng https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gamma.compass&hl=fr https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/mobileDeclination.shtml
Niveau	° Niveau à bulle (également clinomètre) : https://play.google.com/store/apps/details?id=com.plaincode.clinometer&hl=fr
Éphémérides	° Éphémérides en ligne de l'IMCCE : https://www.imcce.fr/services/ephemerides/ ° Application LunaSolCal (CCS) : https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vvse.lunasolcal&hl=fr
Éphémérides TV/TL A, h, E... à l'instant et pour une date/heure spécifique	° Application SolarInfo de César Busto (CCS) : https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tempusumbra.solarwidget&hl=fr ° Application Sol Et Umbra : https://play.google.com/store/apps/details?id=gian.gnomonica.SolEtUmbra&hl=fr
Heure de passage au méridien/h/ TSV-TL	° Application SolarInfo de César Busto (CCS) https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tempusumbra.solarwidget&hl=fr
TV/TL A, h, E à l'instant	° Appli GnomonicPhoto de César Busto (CCS) : indications sur photo https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tempusumbra.gnomonicphoto&hl=fr_CH
A, h du soleil à l'instant et pour une date/heure spécifique	° Logiciel Stellarium : https://www.clubic.com/telecharger-fiche18474-stellarium.html ° Application TpSol de Yvon Massé (CCS) : http://gnomonique.fr/applis/
Déclinaison	° Site les cadrans solaires d'Eure et Loire : méthode et calculs http://cadransolaire28.free.fr/index2.htm ° Site de Jean Pakhomoff (CCS) : méthode http://www.pakhomoff.net/mesdec.html ° Site de La Sousta : méthode et calculs https://lasousta.pagesperso-orange.fr/Cadrans/soleilmeridien.htm ° Site de Michel Lalos (CCS) : méthodes et calculs http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/theorie_cs/declinaison

gnomonique	gnomonique.html ° Site de Joël Robic (CCS) : méthode http://www.cadrans-solaires.fr/construction.html ° Shadows de François Blateyron (CCS) : logiciel et manuel, méthodes et calculs https://www.shadowspro.com/fr/telecharger-shadows.html https://www.shadowspro.com/fr/manuel-utilisateur.html ° Calcad de Yvon Massé (CCS) : cadran solaire sur un plan quelconque. http://gnomonique.fr/calcad/ ° Google Earth pro Versions de Google Earth – Google Earth
------------	--



Brevet US 4050161 (septembre 1977) de Yabashi Tokutaro
d'un appareil destiné à indiquer la direction du "Nord méridien".

