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

Ensoleillement d'un cadran solaire

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

MàJ Mars 2022

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 internets 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 "cadraniers - gnomonistes".

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

Quels guides ?

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

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

° **La chasse aux cadrans solaires**

Découvrir, reconnaître, analyser un cadran solaire.

° **Astronomie et cadrans solaires pour débutants**

Comprendre le fonctionnement d'un cadran solaire.

° **Ensoleillement d'un cadran solaire**

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

° **Orientation et déclinaison gnomonique**

Savoir mesurer l'orientation d'un cadran solaire.

° **Outils numériques du gnomoniste**

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

Et sur notre site...

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

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

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

GUIDE de gnomonique
Ensoleillement d'un cadran solaire

Compilation/formalisation

Ph. Sauvageot

philippe.sauvageot@saf-astronomie.fr

Merci à Serge Gregori et Denis Savoie

Sommaire

INTRODUCTION	
Pour, Pourquoi, Comment !	5
I - ENSOLEILLEMENT	
Les formules	6
Cadran horizontal	6
Cadran vertical	6
Autres	7
L'informatique	7
Tableur (cadran horizontal/vertical déclinant)	7
En ligne (cadran sur plan quelconque)	8
II- COURSE DU SOLEIL	
Représentation de la course du soleil	10
Applications et logiciels	10
III- ENVIRONNEMENT	
Relevé des obstacles	13
Par relevés	13
Sans relevés	16
IV- DÉBORDEMENT D'UN TOIT	
Toit à bordure horizontale	18
Calculs	18
Simulation avec logiciel	19
Toit de pignon (en V inversé)	19
Calculs et tableur	19
Simulation avec logiciel	20
V – LOGICIELS, SITES	
Position du Soleil	21
Vidéos de démonstrations	21
Boussoles Inclinomètres	21
Inclinomètres	21

INTRODUCTION

Rappel des outils et/ou formules permettant de définir les critères d'ensoleillement d'un cadran solaire en fonction de son orientation, de la course annuelle du soleil et des obstacles environnants.

Pour…

qu'un cadran solaire puisse indiquer l'heure, il va de soit que celui-ci doit être exposé aux rayons du Soleil du matin jusqu'au soir et ce quelle que soit la saison (sauf les cadrans septentrionaux, équatoriaux à deux faces).

Pourquoi…

cela tombe sous le sens, mais les conditions pour respecter ce principe sont nombreuses. Le bon fonctionnement d'un cadran est tributaire de son orientation, de la course annuelle du Soleil suivant le lieu, de son environnement lointain (relief, arbres) ou immédiat comme le débord du toit.

Comment …

prévoir l'incidence de ces phénomènes ? des méthodes, formules, outils numériques permettent d'anticiper les ombres et ainsi guider le choix de l'emplacement du cadran.

I – ENSOLEILLEMENT

Nous reprenons ci-dessous les éléments d'études réalisées par D. Savoie[1].

Un cadran plan ne peut être éclairé que si deux conditions sont simultanément remplies : Soleil au-dessus de l'horizon et Soleil en avant de la table du cadran.

Voyons différentes méthodes pour déterminer les limites d'ensoleillement d'un cadran.

- Les formules

° Cadran horizontal

En l'absence d'obstacles, un cadran horizontal fonctionne du lever au coucher du Soleil. Compte-tenu des conventions adoptées, l'arc semi-diurnes H_0 s'obtient par :

$$\cos H_0 = - \tan \Phi \tan \delta$$

Avec :

H = angle horaire du Soleil compté depuis le méridien Sud, positivement vers l'Ouest de 0° à + 180° et négativement vers l'Est de 0° à -180°.

H = 15° par heure soit : H = 0 à midi vrai. : 13h = + 15°, 14h = 30°, 11h = - 15°, 10h = - 30° etc.

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

δ = déclinaison du Soleil suivant éphémérides (considérée invariable dans la journée).

Il n'est pas tenu compte de la réfraction.

L'angle H_0 étant exprimé en degrés, on aura la durée correspondante en heures en divisant H_0 par 15.

Lever = 12h - (H_0 / 15)

Coucher = 12h + (H_0 / 15)

Éclairement total en heures = (2 H_0 /15)

Ainsi les heures extrêmes d'un cadran horizontal sont celles du lever et du coucher du Soleil au solstice d'été (dans l'hémisphère Nord).

° Cadran vertical (peu déclinant)

En l'absence d'obstacles, un cadran vertical fonctionne après le lever du Soleil bien sûr, mais nécessite que celui-ci soit situé en avant de la table du cadran.

Les deux extrémités d'un mur sur lequel est tracé ce cadran ont pour azimut (D – 90°) et (D + 90°). Le Soleil ne pourra éclairer le cadran que s'il est levé, avec un azimut compris entre (D – 90°) et (D + 90°). L'azimut du Soleil au lever ou au coucher se calcule par :

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

1 *La Gnomonique Moderne*, publication SAF. *La gnomonique*, publication Les Belles Lettres.

Cette relation donne deux valeurs égales mais de signes contraires. Inversement elle peut s'écrire :

$$\sin \delta = - \cos \Phi \cos A.$$

Avec :

A = azimut d'un astre compté positivement depuis le méridien Sud vers l'Ouest de 0° à + 180°, négativement vers l'Est de 0° à – 180°.

° Autres

Dans les livres mentionnés ci-avant (note 1) sont développés également :

- le cas des cadrans verticaux très déclinants, plein Est (cadran oriental) ou plein Ouest (cadran occidental), le cadran septentrional, les cadrans inclinés et déclinants,
- les heures extrêmes annuelles : heures de passage le matin ou le soir du Soleil dans le plan du cadran,
- les diagrammes stéréographiques : visualisation des particularités de fonctionnement d'un cadran plan quelles que soient la date et son orientation/inclinaison.

- L'informatique

° Tableur

Limites d'ensoleillement d'un cadran horizontal ou vertical déclinant

Francis Reymann (CCS) propose un tableur permettant d'automatiser les calculs relatifs à l'ensoleillement d'un cadran solaire indépendamment des obstacles éventuels venant perturber l'éclairement de celui-ci.

Le tableur Excel "Ensoleillement" en annexe de l'article de présentation (*Cadran Info* n° 43), permet de définir les conditions pour un lieu donné (latitude, longitude), pour le 21ème jour des douze mois de l'année.

- Documentation du tableur (onglet "Données") :

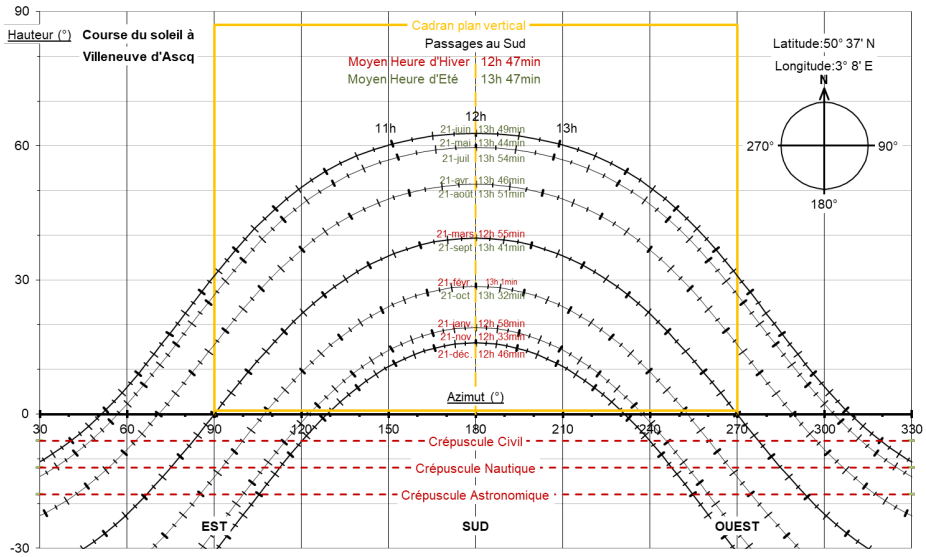
Les cases bleues doivent être renseignées						
Lieu	Villeneuve d'Ascq					
			°	Min	Sec	° déci
Latitude	N ou S	N	50	37	10	50,6194
longitude	E ou O	E	3	7	54	-3,1317
Déc. Mur	° décimaux positifs si Déc Ouest et négatifs si Déc Est					0

- Résultat graphique (onglet "Tracé") :

Sur la ligne verticale du midi solaire (azimut = 180°) sont indiquées les heures légales de passage du soleil au Sud pour les 12 dates. Ces heures sont données en :

a) HNEC (Heure Normale d'Europe centrale) ou heure d'hiver (UTC+1) et
b) HAEC (Heure Avancée d'Europe Centrale) ou heure d'Eté (UTC +2)

suivant les heures en vigueur. Elles permettent de calculer le décalage entre l'heure solaire et l'heure légale, décalage quasi constant au sein d'une journée.



A la lecture du graphique ci-dessus nous constatons :

° Pour un cadran horizontal : il y aura une ombre pour tout point au-dessus de la hauteur 0 (ligne noire).

° Pour un cadran plan vertical : il y aura une ombre pour tout point à l'intérieur du carré jaune.

° En ligne

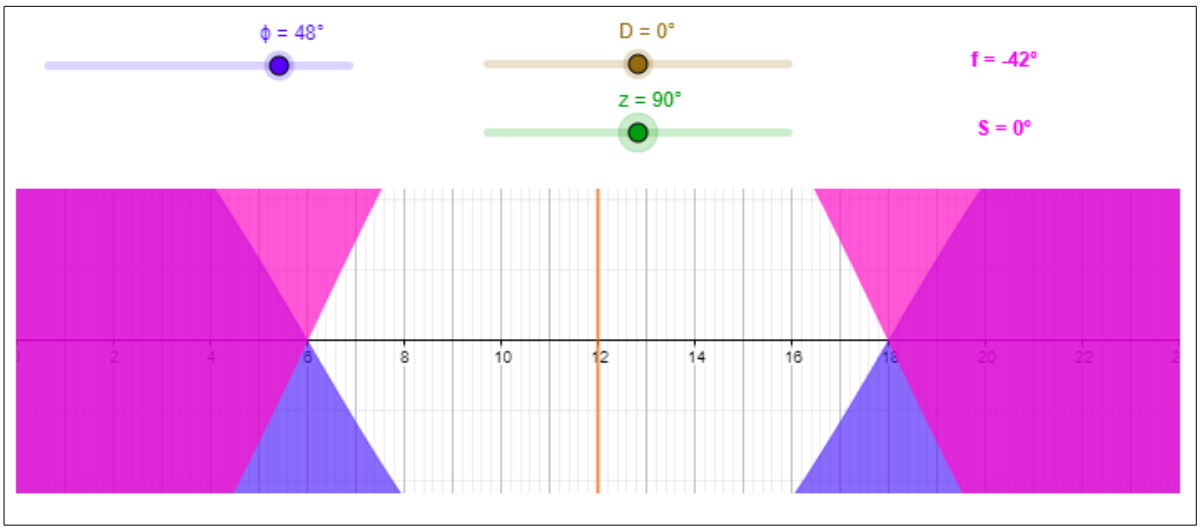
Limites d'ensoleillement d'un cadran sur plan quelconque

Sans aucun calcul, il est possible de connaître les heures limites d'éclairement d'un cadran sur plan déclinant d'un angle D et/ou incliné d'un angle z. (études de D. Alberto et Y. Massé, tous les deux de la CCS). Se rendre sur le forum d'Yvon Massé à l'adresse :

Diagramme stéréographique - Aux cadrans solaires (gnomonique.fr)

Ainsi :

° On peut utiliser un diagramme interactif présentant « la zone blanche » qui donne les heures où le cadran est éclairé en fonction de la déclinaison du Soleil.



° Utiliser un tableau calculateur :

Latitude	48 ° 0 ' Nord	Calculer	**H. min**	**Int. 1**	**Int. 2**	**H. max**
Déclinaison	0 ° Est					
Inclinaison	90 °		Si H. max < H. min, le cadran est éclairé à minuit.			

II- COURSE DU SOLEIL

En fonction de la période de l'année et du lieu, le Soleil se lève et se couche suivant un écart d'azimuts[2] plus ou moins important par rapport au plan méridien.

De même sa hauteur varie. Il est plus bas sur l'horizon en hiver que durant l'été.

L'angle A est l'azimut.

L'angle vertical h est la hauteur.

À midi, il est maximal en été et minimal en hiver.

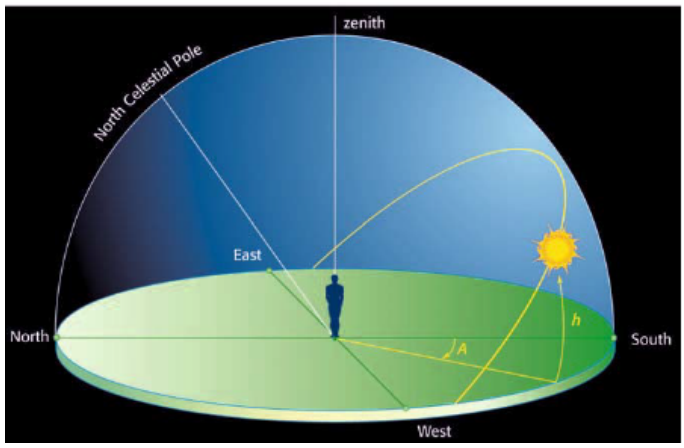


Schéma de D. Savoie

Le parcours annuel du Soleil dans le ciel est représenté graphiquement sous le nom de "course du soleil" ou "diagramme solaire cartésien". Il est calculé en fonction du lieu.

Des applications (rechercher sur le web : « Sun Position Map ») dont certaines sont liées à des installations de panneaux solaires, peuvent être utilisées pour tracer la course du Soleil. Nous avons noté les outils en ligne https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr et http://www.heliorama.com/demo[3].

- Représentation de la course du soleil

° Course du Soleil avec l'application "Sunearthtools" :

Allez sur le site. Si vous ne souhaitez pas bénéficier de toutes les fonctionnalités, vous n'êtes pas obligé de vous inscrire.

Pratiquez comme suit :

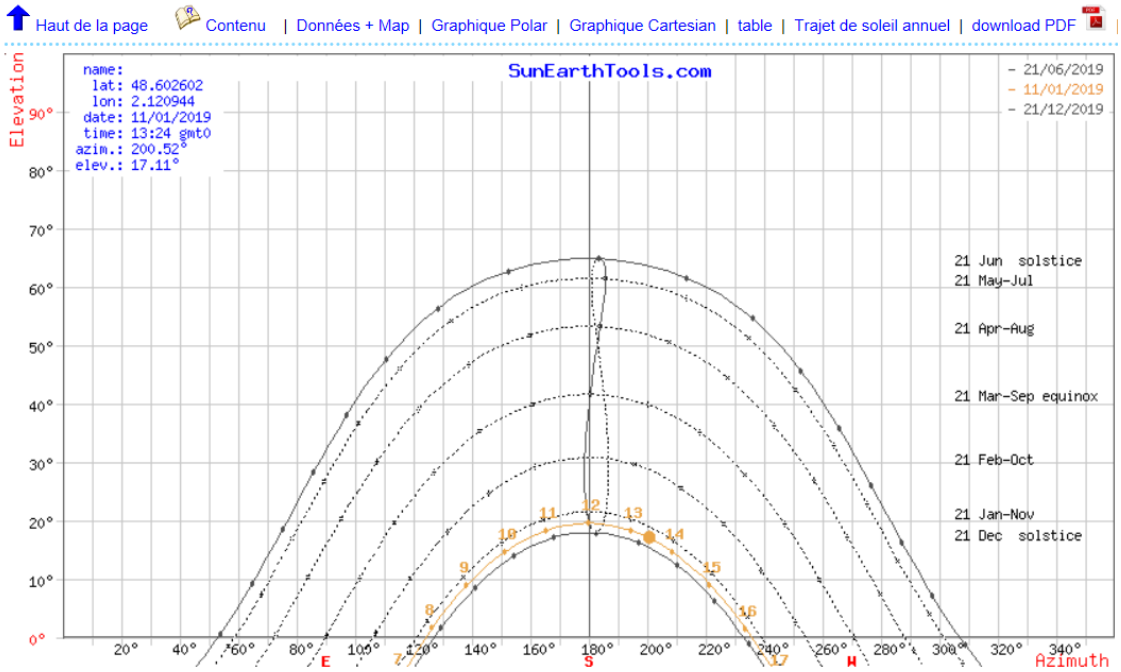
Après avoir dé-zoomé la carte de la page d'accueil, recherchez manuellement le lieu de votre implantation. Pour affiner la position, re-zoomer et pointer à nouveau.

Au-dessus de la carte pour vous aider : les fonctions "recherche par nom de ville" et "coordonnées latitude et longitudes". Vous pouvez modifier éventuellement la date si vous le souhaitez.

En cliquant sur "Exécuter", vous obtenez (entre autre) « la course du soleil » du lieu.

2 Attention : en astronomie, les azimuts comme les angles horaires, se comptent depuis le Sud. Les marins et les aviateurs comptent les azimuts depuis le Nord. Les schémas de ce document ayant des provenances diverses, il convient de vérifier l'origine considérée.

3 Cet outil intègre automatiquement le relief sur la représentation de la course du Soleil (mais pas les autres types d'obstacles : arbres, maisons...)



Course du Soleil obtenue sur le site SunEarthTools

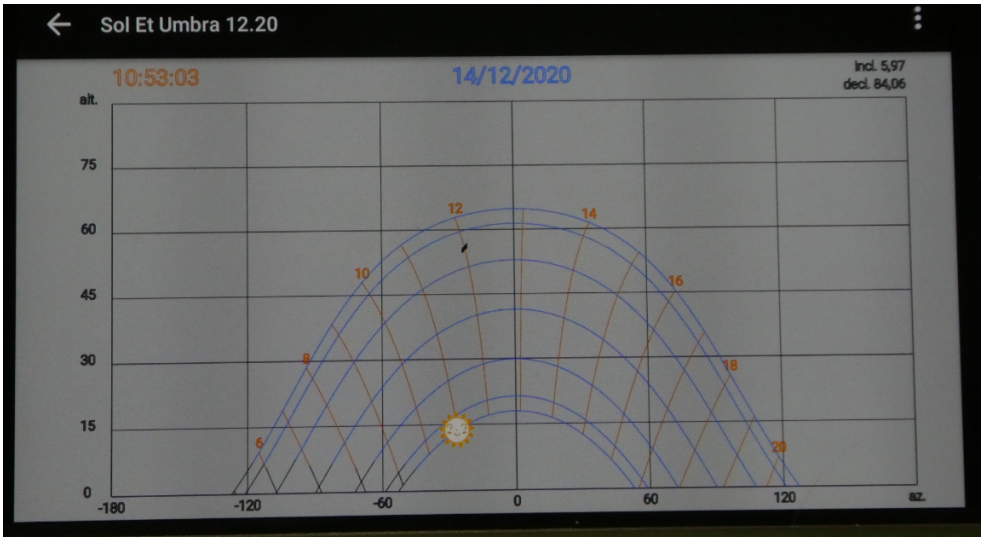
° Course du Soleil avec l'application "Sol Et Umbra" (gratuit) :

Cette application est en fait un programme d'éphémérides dédié aux concepteurs de cadrans solaires.

Elle est à télécharger à l'adresse :

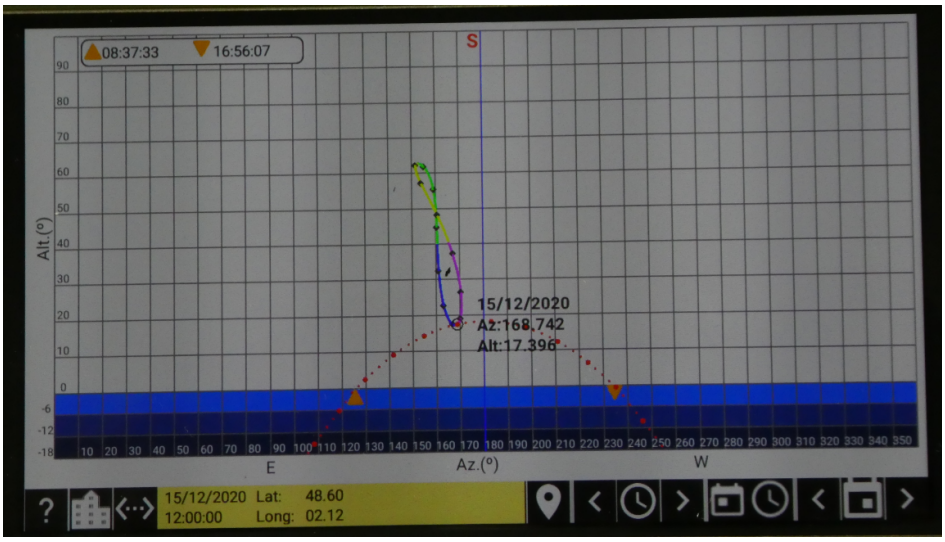
° https://play.google.com/store/apps/details?id=gian.gnomonica.SolEtUmbra&hl=fr

Sur votre smartphone, la course du Soleil s'affiche en fonction de votre lieu.



Course du Soleil avec l'application Sol Et Umbra (fonction "lumière")

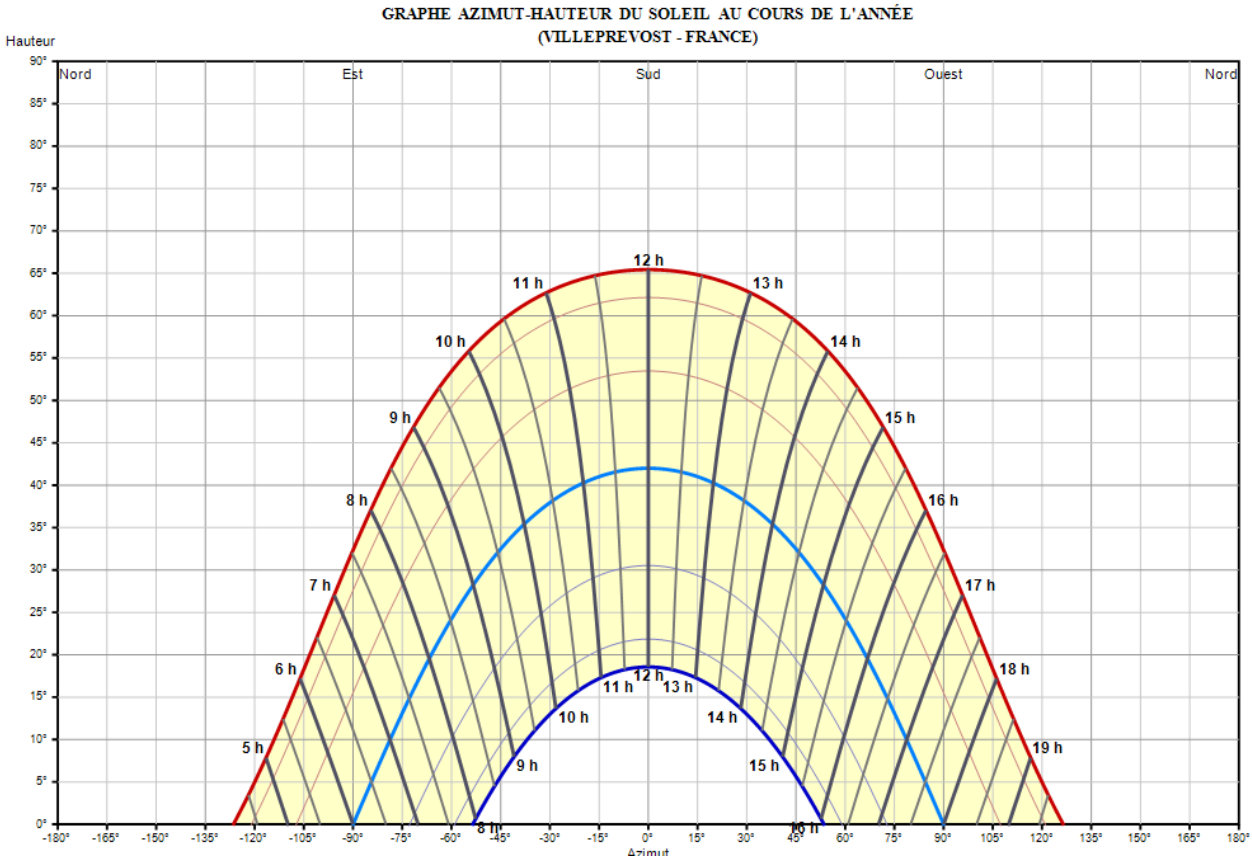
° **Course du Soleil avec l'application "Solar Info"** (gratuit) de C. Busto (CCS) :



Course du Soleil à une date donnée avec l'application Solar Info

A noter qu'il est possible d'adjoindre un masque d'horizon.

° **Course du Soleil avec le logiciel « Shadows**[4] » de F. Blateyron (CCS)



4 Le logiciel Shadows et son manuel sont à télécharger à l'adresse : Shadows Pro - Cadrans solaires et Astrolabes

III- ENVIRONNEMENT

Il nous faut définir la position des obstacles qui masquent la course du soleil préalablement défini ("masque d'horizon").

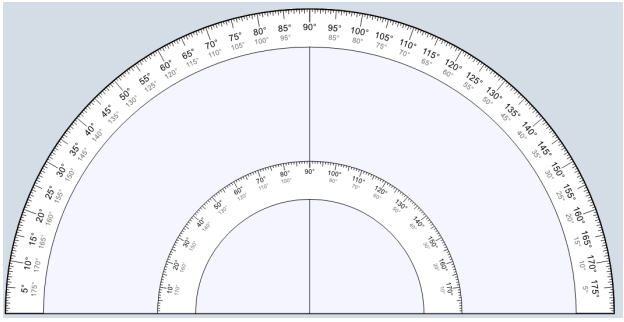
Des sites expliquent le principe (recherche sur le web : «Comment faire un relevé de masque solaire»)[5]. Le principe est simple. Il consiste à associer un angle de hauteur d'un obstacle à son positionnement en azimut.

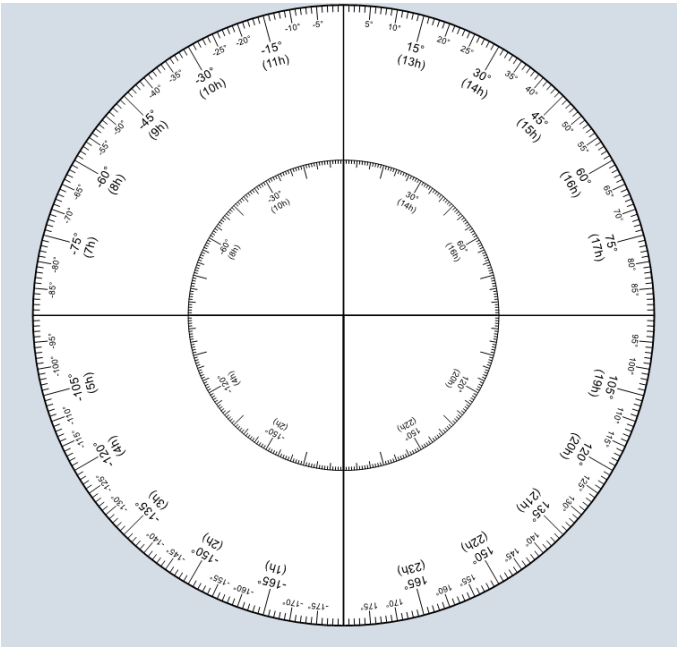
Relevé des obstacles

° Par relevés

Matériel

Un rapporteur d'angle vertical mesure les hauteurs. Il est associé à un cercle d'azimut fixe et horizontal dont le 0° (ou le 180°) est orienté sur le Sud géographique.





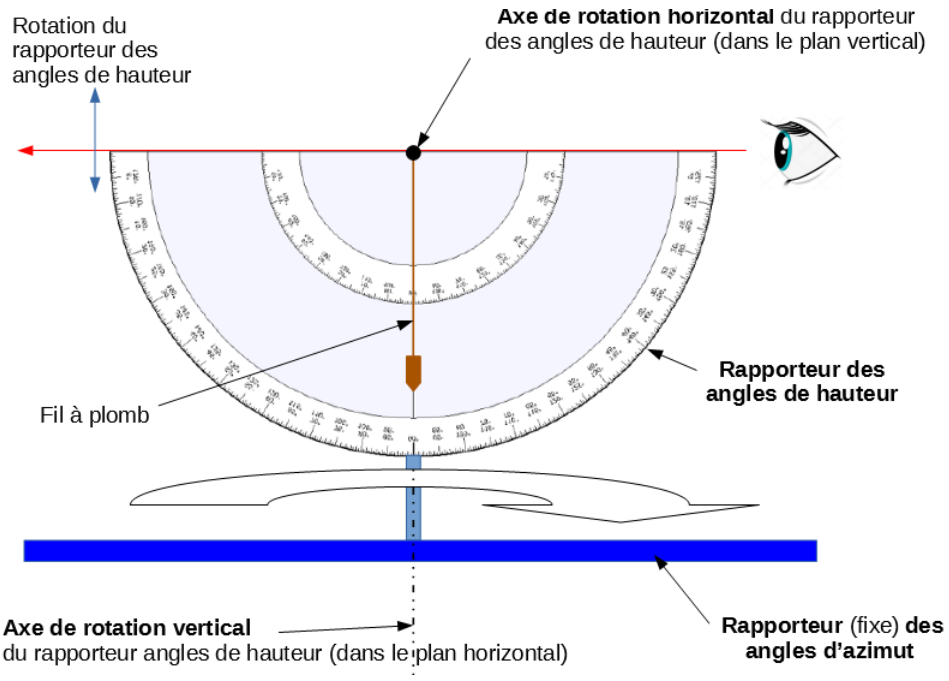
Le logiciel Shadows en version de base gratuite, permet d'imprimer les deux rapporteurs d'angle.

5 Comme : http://www.sigma-tec.fr/textes/texte_masque_ombres.html.

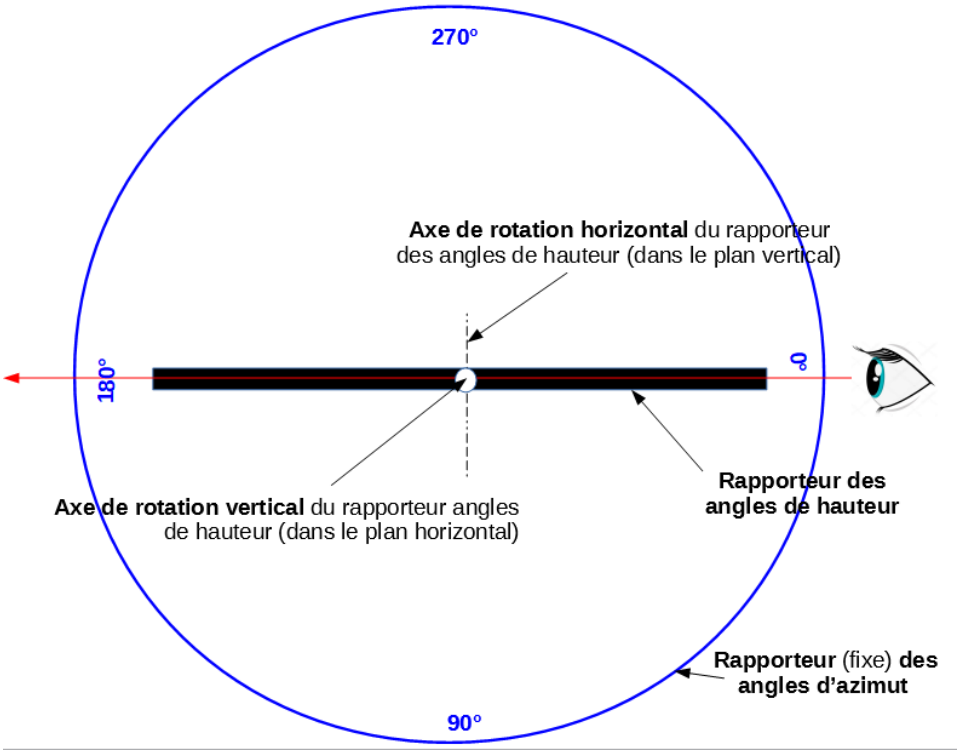
Avec le premier rapporteur, en installant un fil à plomb il est possible de mesurer les "hauteurs" des obstacles. Avec le second on détermine leur azimut par rapport au Sud.

Les valeurs associées seront à reporter sur un graphe représentant la course du Soleil au différentes saisons.

Nous disposons les rapporteurs comme ci-dessous.



Vue de face

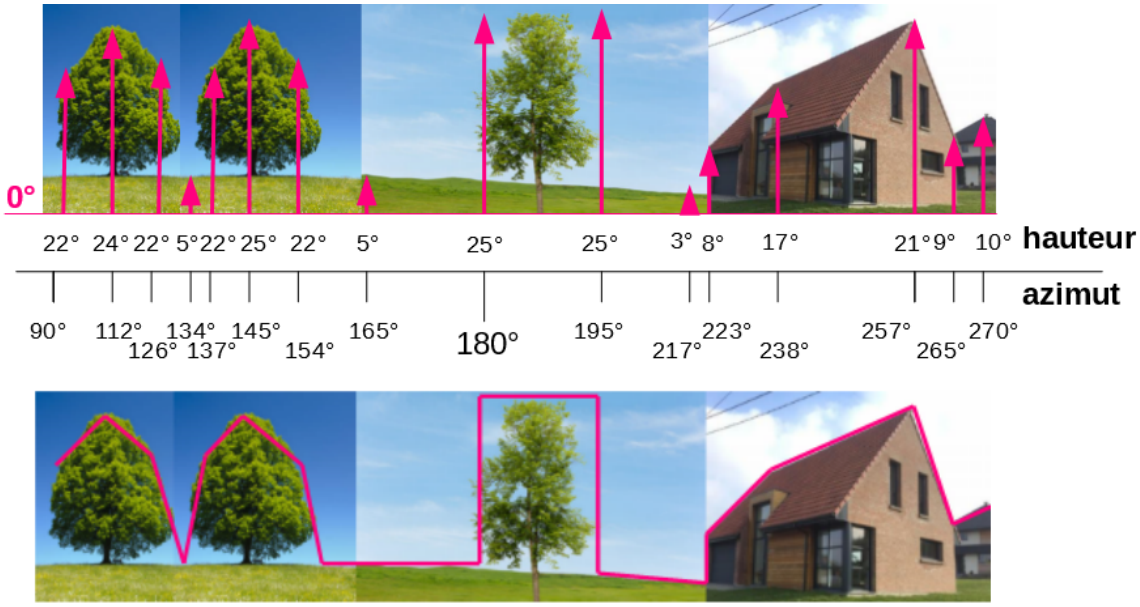


Vue de dessus

Méthode

Nous nous plaçons face au Sud à l'endroit où sera placé le cadran. Le repère 0° (ou 180°) du rapporteur d'azimut est dirigé vers le Sud géographique. Nous relevons les obstacles montagnes/collines, arbres, bâtiments qui nous environnement en balayant d'Est vers l'Ouest l'horizon concerné par notre cadran.

À chaque angle de hauteur mesuré depuis le 0° du niveau horizontal, nous notons son azimut et obtenons une ligne brisée en joignant point par point.



Relevé des obstacles

Nous reporterons les points de cette « ligne brisée enveloppe » sur un graphique de course du Soleil. Nous déterminons ainsi en fonction des dates et des heures l'éclairement de notre cadran. Lorsque le Soleil sera sous la ligne brisée, notre cadran ne sera pas éclairé.

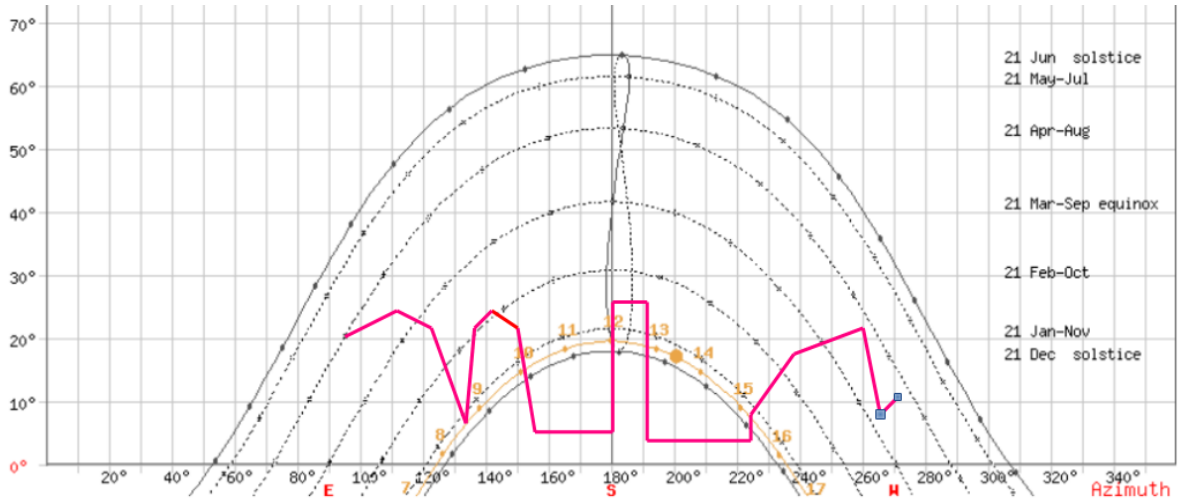


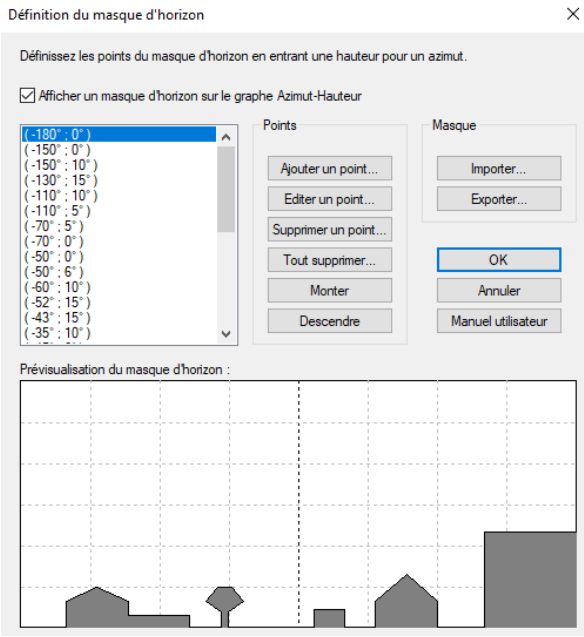
schéma de principe : report du graphique des obstacles sur celui de la « course du soleil »

Remarque : la réfraction du Soleil n'est pas prise en compte[6].

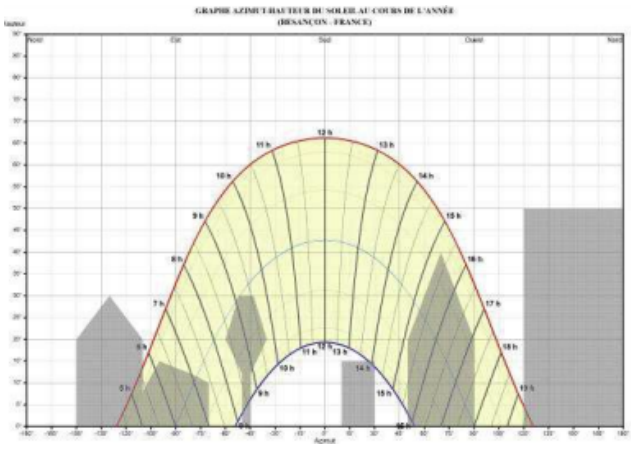
6 Si l'angle mesuré est supérieur à 45°, la réfraction est inférieure à la minute d'angle. Elle diminue très vite lorsque la hauteur du Soleil augmente et la correction devient faible. Pour une hauteur comprise entre 10° et 20°, la réfraction passe de 5,33' à 2,65' : elle n'est pas négligeable, mais elle passe inaperçue si la hauteur est mesurée au degré près...

° Logiciel Shadows

Après le relevé des coordonnées des obstacles, un outil intégré au logiciel (ci-dessous) permet de reporter ceux-ci sur la course du Soleil.



Réalisation d'un masque



Un masque sur la « course du Soleil »

- Sans relevé

Afin d'éviter les relevés pour réaliser un masque, ll existe des applications permettant de faire figurer en sur-impression paysage (masque) et course du Soleil en un seul clic.

Course du Soleil sur photo avec l'application "SunPosition" (payant) :

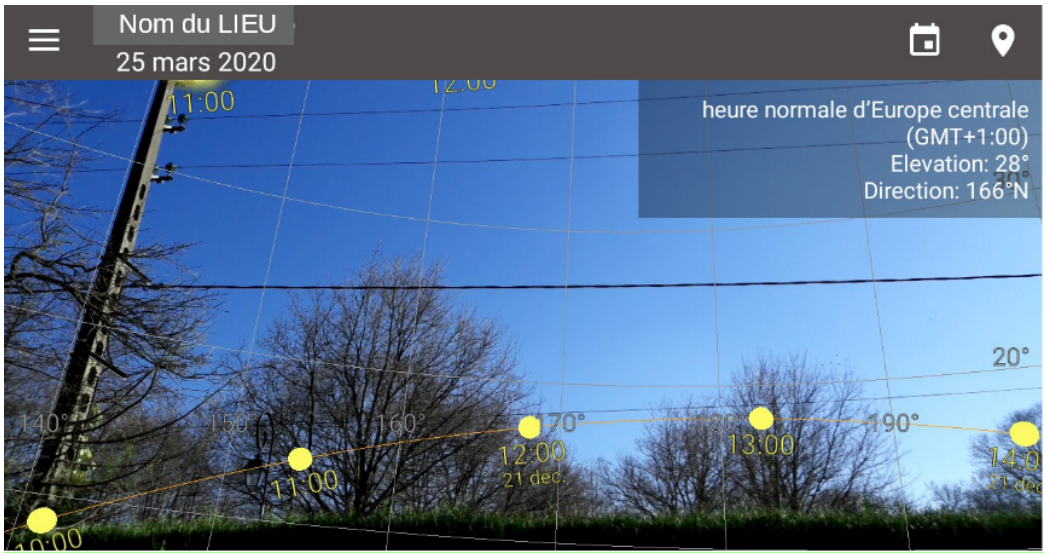


Photo et course du Soleil avec SunPosition sur smartphone

Prise depuis l'emplacement du cadran, la photo permet de visualiser quant un bâtiment, un arbre… portera ombre sur le cadran et empêchera la lecture de l'heure.

Course du Soleil sur paysage avec l'application "Sol Et Umbra" (gratuit) :

° https://play.google.com/store/apps/details?id=gian.gnomonica.SolEtUmbra&hl=fr

Enregistrement du paysage avec la course du Soleil avec l'application Sol et Umbra (fonction "trace")

Les obstacles plus ou mois lointains étant ainsi identifiés, reste à traiter ceux occasionnés principalement par le débord du toit ou d'une gouttière.

Même avec les applications alliant course du Soleil et paysage, il n'est pas toujours aisé de prendre en compte l'incidence de la bordure du toit surplombant le cadran et cela même en se "plaquant" au mur qui supportera le cadran.

Il convient donc d'aborder maintenant le problème.

IV- DÉBORDEMENT D'UN TOIT

Le dernier obstacle à l'éclairement d'un cadran vertical est l'ombre portée par le débordement du toit le surplombant, d'un auvent ou d'une gouttière.

Ombre portée par un toit à bordure horizontale rectiligne

Ombre portée par un toit de pignon (en V inversé)

- Toit à bordure horizontale

° Détermination de la ligne d'ombre par calculs

Nous reprenons ci-dessous, les études de D. Savoie publiées dans ses livres *Gnomonique Moderne* et *La gnomonique*.

L'ombre portée sur le mur par un toit horizontal sera toujours une droite horizontale.

Son niveau sera celui de l'ombre portée par un style droit dont la longueur "a" est celle qui sépare la bordure du mur.

La partie supérieure du cadran est la distance N en-dessous de l'horizontale passant par le pied P du style droit fictif (fig. 9).

Désignons par k le rapport N/a

$$k = N/a$$

Ombre du toit à une date donnée :

Les heures (en temps solaire) pendant lesquelles le cadran n'est pas atteint par l'ombre du toit se calculent par :

$$\tan \psi = (k \sin \Phi \cos D - \cos \Phi) / k \sin D$$

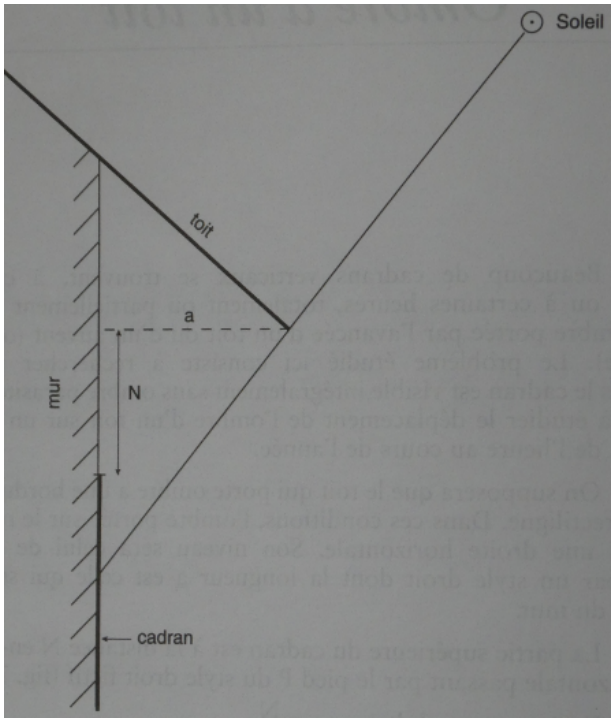


Fig. 9

$$\sin (H + \psi) = [\cos \psi \tan \delta (k \cos D \cos \Phi + \sin \Phi)] / k \sin D$$

On a $H = (H + \psi) - \psi$; avec deux solutions pour $(H + \psi)$, symétriques par rapport à ± 90°.

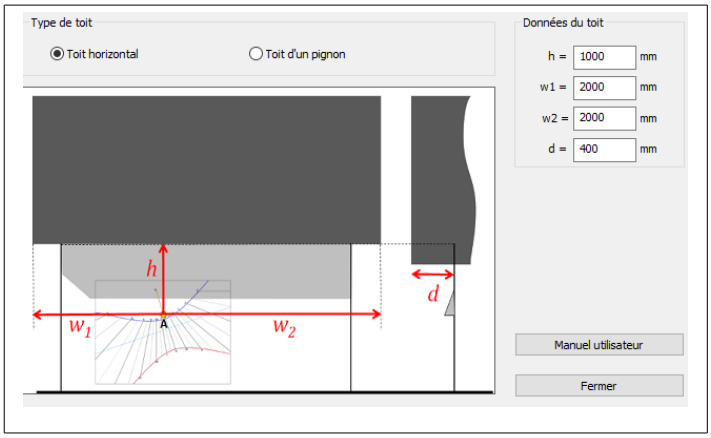
Les heures obtenues signifient seulement qu'une partie de l'ombre du toit atteint le cadran. Ces formules permettent également de calculer à quelle distance il faut placer le cadran pour qu'en toute saison l'ombre du toit n'interfère pas.

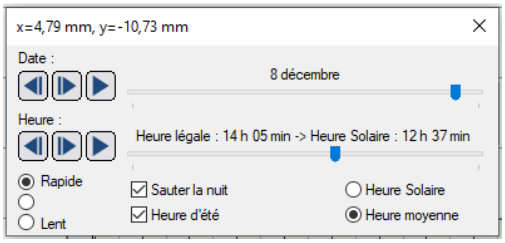
Dans les livres de D. Savoie, mentionnés ci-avant sont développés également les calculs concernant :

- Les dates limites : le cadran peut-il être dégagé totalement de l'ombre au cours de la journée et à quelles dates ?
- L'évolution de l'ombre du toit au cours d'une journée.

° Simulation de la ligne d'ombre

Le logiciel Shadows de F. Blateyron (CCS), version « Expert » (payante), permet de visualiser l'ombre d'un toit plan (et d'un toit en V voir plus loin) en fonction du débordement de celui-ci, de l'heure et de la saison.



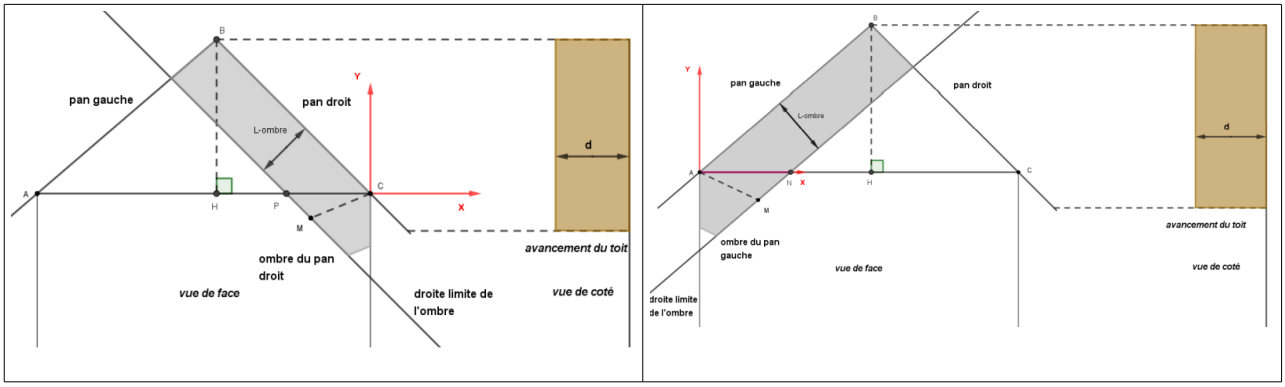


- Toit de pignon (en V inversé)

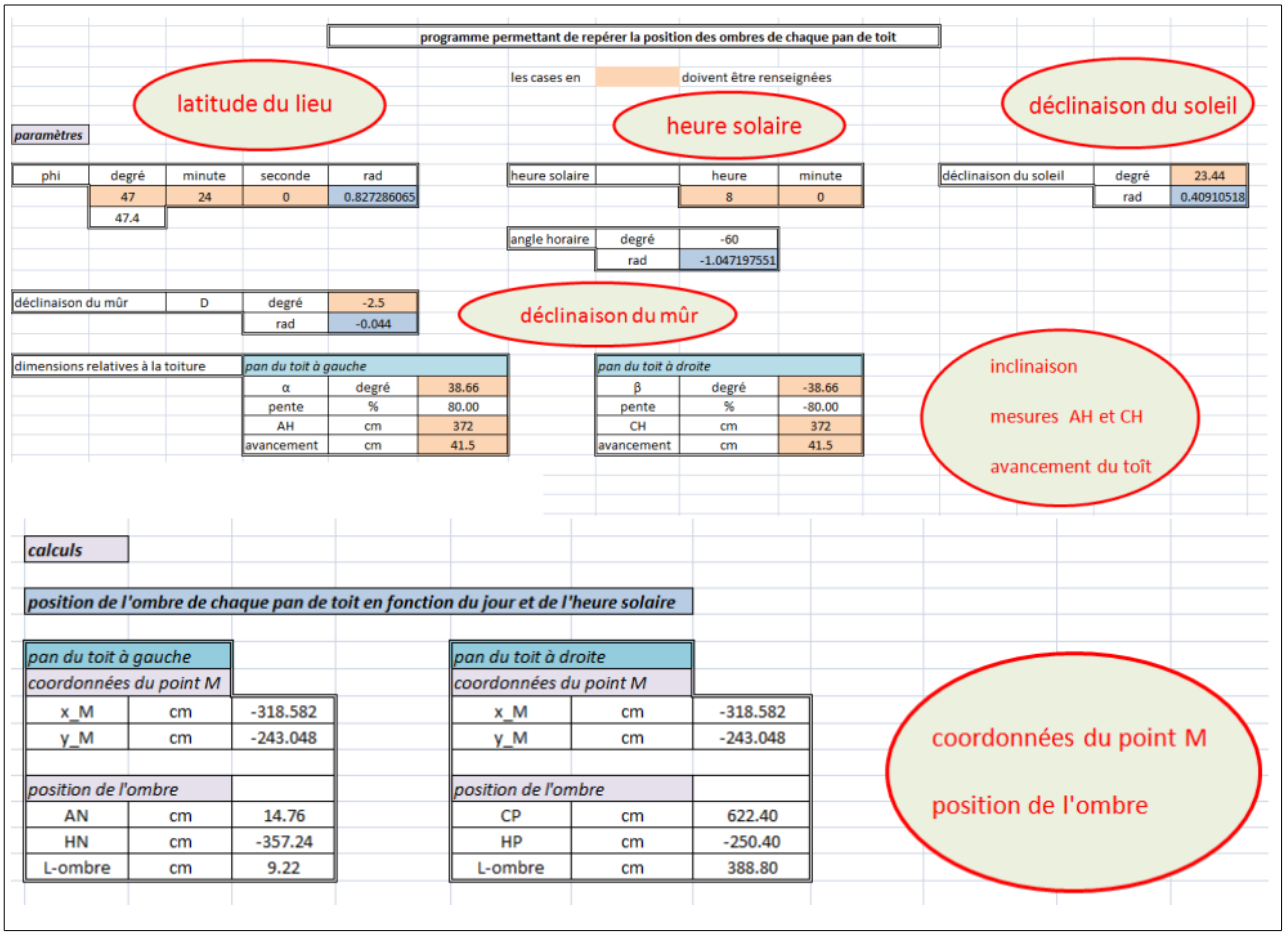
À notre connaissance, cette configuration n'a jamais été abordée. Elle vient de l'être par S. Berriot (CCS) et F. Blateyron (CCS).

° Détermination par calculs et tableur

Dans la revue *Cadran Info* n° 39, S. Berriot présente les formules nécessaires à la détermination de la ligne d'ombre formée par la bordure d'un toit en V.



A cette étude est annexée un tableur permettant le calcul automatique de la position de cette ligne d'ombre en fonction des différents paramètres.



programme permettant de repérer la position des ombres de chaque pan de toit

les cases en doivent être renseignées

latitude du lieu

heure solaire

déclinaison du soleil

paramètres

phi	degré	minute	seconde	rad
	47	24	0	0.827286065
	47.4			

heure solaire		heure	minute
		8	0

angle horaire	degré	-60
	rad	-1.047197551

déclinaison du soleil	degré	23.44
	rad	0.40910518

déclinaison du mûr	D	degré	-2.5
		rad	-0.044

déclinaison du mûr

dimensions relatives à la toiture	*pan du toit à gauche*		
	α	degré	38.66
	pente	%	80.00
	AH	cm	372
	avancement	cm	41.5

pan du toit à droite		
β	degré	-38.66
pente	%	-80.00
CH	cm	372
avancement	cm	41.5

inclinaison

mesures AH et CH

avancement du toît

calculs

position de l'ombre de chaque pan de toit en fonction du jour et de l'heure solaire

pan du toit à gauche		
coordonnées du point M		
x_M	cm	-318.582
y_M	cm	-243.048
position de l'ombre		
AN	cm	14.76
HN	cm	-357.24
L-ombre	cm	9.22

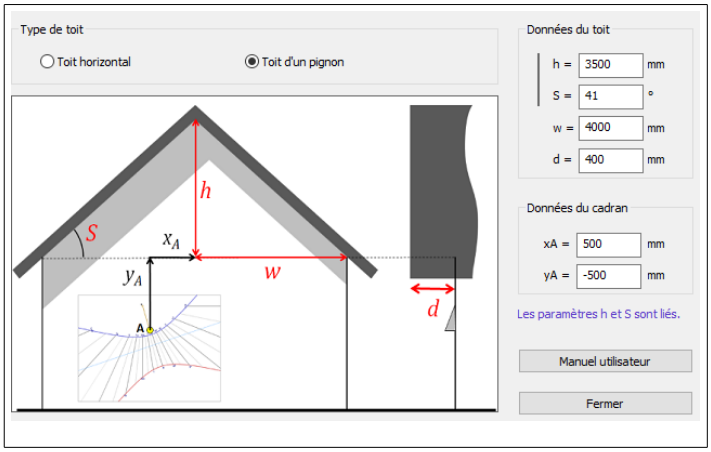
pan du toit à droite		
coordonnées du point M		
x_M	cm	-318.582
y_M	cm	-243.048
position de l'ombre		
CP	cm	622.40
HP	cm	-250.40
L-ombre	cm	388.80

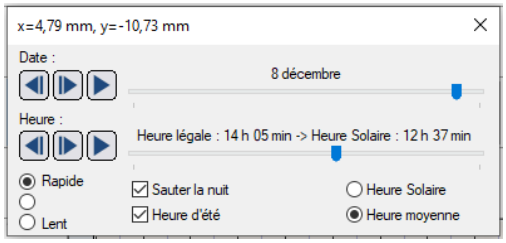
coordonnées du point M

position de l'ombre

° Simulation de la ligne d'ombre

Le logiciel Shadows, de la même façon que pour un toit droit, permet de visualiser l'ombre d'un toit de pignon en forme de V inversé.





V – LOGICIELS, SITES

Ci-dessous quelques sites trouver sur le web (sans garantie) :

Positions du Soleil

° https://itunes.apple.com/us/app/sun-seeker-sun-tracker-compass/id330247123?mt=8) (payant).

° https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ajnaware.sunseeker&hl=fr (payant).

° https://trajectoiredusoleil.net/ : « prévoir la course du soleil à travers son téléphone ».

° https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ratana.sunsurveyorlite&hl=fr : (payant sauf fonction boussole azimut du Soleil) : Position du soleil sur photo, carte et street view.

°http://www.applicationandroid.fr/soleil-sylde-net-pour-determiner-la-course-du-soleil-avec-android.html (payant) : applications permettant de superposer la course du soleil (quelque soit le jour de l'année) à l'image captée par l'appareil photo.

°http://www.hellopro.fr/analyseur-de-masques-solmetric-suneye-210-2004671-383150-produit.html : appareil de relevé de masque (Suneye 210 de Solmetric).

Vidéos de démonstrations :

° https://www.youtube.com/watch?v=PM_oaZnH6_o vidéo démonstration de « sun position ».

° https://play.google.com/store/apps/details?id=com.andymstone.sunpositiondemo&hl=fr vidéo démonstration de « Position Soleil sunrise ».

Boussoles

° Boussole – Applications sur Google Play

Inclinomètres

° Inclinomètre simple 📏 – Applications sur Google Play

° Clinomètre – Applications sur Google Play

° Télécharger Clinometer 2.4 pour Android gratuit | Uptodown.com

° niveau à bulle & clinomètre dans l'App Store (apple.com)