

Commission des Cadrans Solaires Société Astronomique de France

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

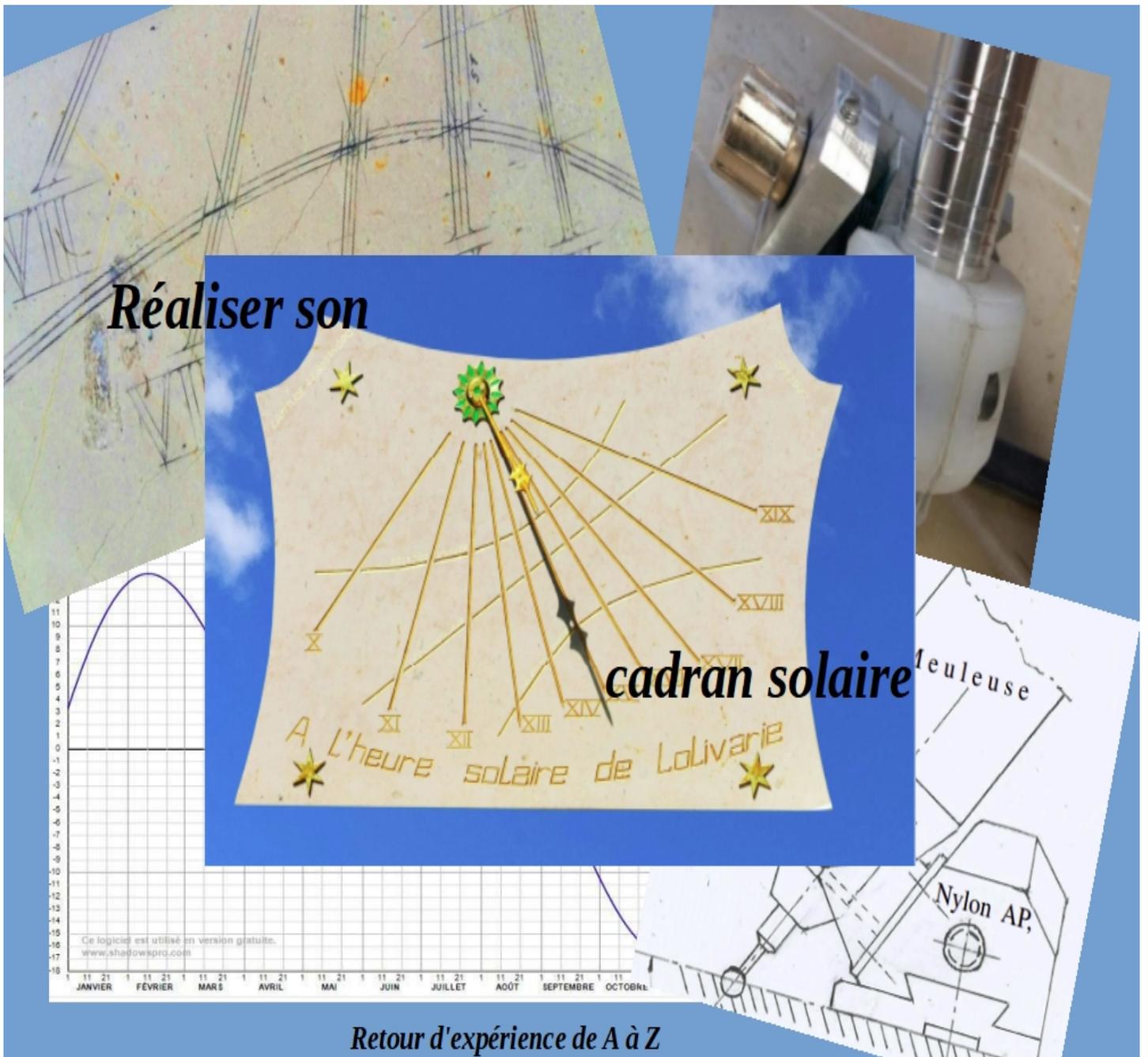
3 rue Beethoven 75016 Paris

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

Tél : 01 42 24 13 74

Guides gnomoniques *Cadran Info*

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



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 le quel 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.
- **Réaliser son cadran solaire**
Retour d'expérience de... pour réaliser son cadran de A à Z

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

Réaliser son cadran solaire

Compilation/formalisation

Philippe Sauvageot

philippe.sauvageot@saf-astronomie.fr

Responsable informations gnomoniques CCS

Sommaire

INTRODUCTION	
Pour, Pourquoi, Comment !	6
I – PROJET	
Le but, le lieu...	7
II - PRÉLIMINAIRES	
II - 1 Emplacement	8
II - 2 Comment le réaliser	8
II - 3 Orientation du cadran - Méthode - Outil de mesure de la déclinaison ◦ Composition ◦ Vérification de l’outil ◦ Mise en place ◦ Le relevé ◦ Verticalité du mur	10
III- CALCULS , TRACES, FIXATION	
III – 1 Utilisation du logiciel Shadows - Tracé des lignes horaires - Orientation des lignes horaires selon la table de coordonnées Shadows - Tracé des lignes des solstices et des equinoxes selon les positions relevées sur Shadows - La légende	14
III – 2 Le style	16
IV – GRAVURE	
IV - 1 Outillage de rainurage	19
IV - 2 Mode opératoire pour le rainurage - Tracé des gravures - Tracé de la décoration - Exemple de gravure, en cours	19
V – PRE-MONTAGE du STYLE	
V -1 Pré-montage du style	23
VI – POSE du CADRAN	
VI – 1 Installation du cadran sur le mur	24
VI – 2 Fixation du cadran sur le mur	24

VII – VERIFICATION/LECTURE du CADRAN	
VII – 1 Comparaison entre l’heure solaire vraie d’un lieu, et l’heure légale en cours	25
VII – 2 Equation du Temps	26
VII – 3 Ecart	26
VIII – COUTS PREVISIONELS	
Le cadran est terminé	28

INTRODUCTION

Présentation de la méthode, des procédures de réalisation d'un cadran solaire vertical déclinant ou non, par un cadranier amateur "éclairé" de la Commission des Cadrans Solaires. Ici Serge MALASSINET malassinet@aol.com.

Pour...

Mener à bien la réalisation d'un cadran depuis l'idée jusqu'à la pose

Pourquoi ?

La littérature gnomonique est pauvre en méthodologie de réalisation complète, de A à Z, d'un cadran solaire. Elle l'est d'autant plus lorsqu'il s'agit d'une expérience personnelle avec ses outils et ses astuces.

Comment ...

En déroulant le processus complet nécessaire à la réalisation d'un cadran solaire :

- 1 - Définir le projet.
- 2 - Effectuer les mesures préliminaires
- 3 - Calculer et tracer
- 4 - Graver la table du cadran
- 5 - Prémonter le style porte ombre
- 6 - Installer le cadran
- 7 - Effectuer les vérifications et lire l'heure solaire
- 8 - Apprécier

Ce guide est réalisé à partir du diaporama « Réalisation personnelle d'un cadran solaire vertical et déclinant : procédure » de Serge Malassinet présenté dans la rubrique "Info-diverses" de *Cadran Info* n° 47 mai 2023 et disponible dans l'annexe de ce dernier.

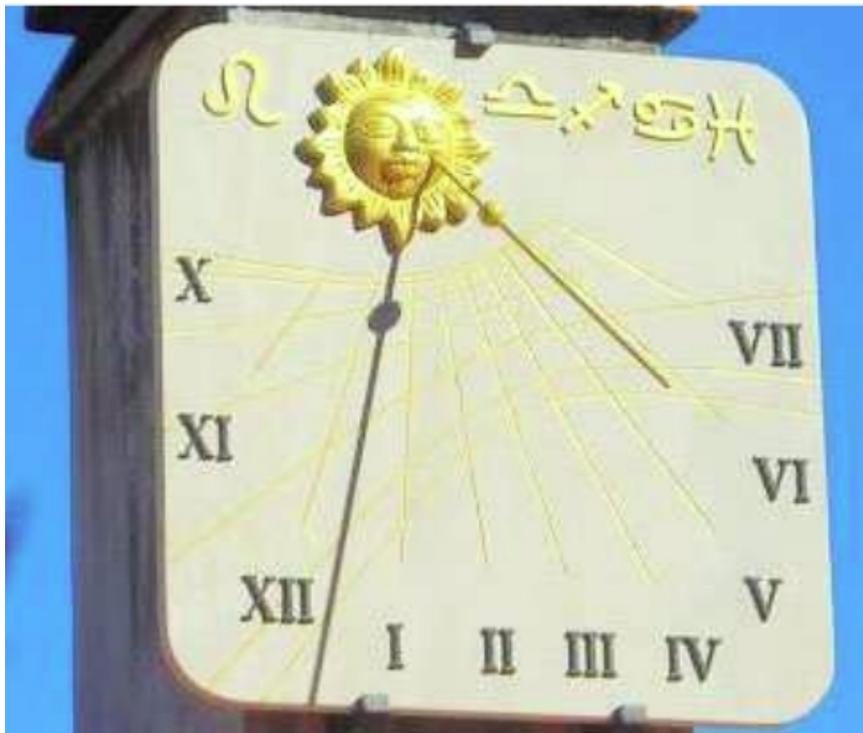
I – LE PROJET

Le but est de pouvoir construire soi-même son cadran solaire qui indiquera l'heure solaire vraie du lieu où il sera installé. Cela exclut les cadrans solaires industriels qui sont fabriqués en série, sans connaître le lieu de leur implantation. Ils sont donc obligatoirement tous faux, et aux yeux de tout le monde...

Pour ce projet de cadran, nous allons d'abord le situer, supposons en province, et il aura pour coordonnées géographiques : Latitude : $49,179992^\circ$ Nord, soit $49^\circ 10' 47,97''$ Nord. Longitude : $3,136856^\circ$ Est, soit $3^\circ 8' 12,68''$ Est.

Nous aurons aussi besoin de connaître son orientation par rapport à l'axe de rotation de la Terre. Nous verrons comment la déterminer. Avec ces éléments, nous saurons obtenir toutes les caractéristiques techniques de ce cadran, permettant sa construction.

En connaissances mathématiques, il faut savoir : additionner – soustraire – multiplier – diviser. C'est tout.



Cadran solaire existant qui pourrait nous servir d'exemple

II – PRÉLIMINAIRES

Ce sera donc un cadran solaire scientifique qui va obliger à beaucoup de réflexions. Il faudra du temps et de la persévérance. Sa réalisation et son installation vont demander des mois si ce n'est plus, souvent 2 ou 3 années.

II - 1 Emplacement

Choisir l'emplacement de son cadran solaire sur une façade bien exposée au soleil.

- Eviter que l'ouverture d'un volet le masque.
- Eviter que l'ombre d'un poteau, de fils électriques, d'un arbre, se projette sur lui.
- En été, l'ombre de l'avancée d'un toit peut nuire à sa lecture.
- Chercher à ce qu'il soit difficilement accessible, afin d'éviter les dégradations.



L'ombre du toit le masque partiellement ...



sur celui-ci, c'est le volet et le rebord de la corniche.

II - 2 Comment le réaliser

Tout d'abord déterminer sa forme, ses dimensions, son orientation. Etablir un avant projet sur papier à échelle réduite.

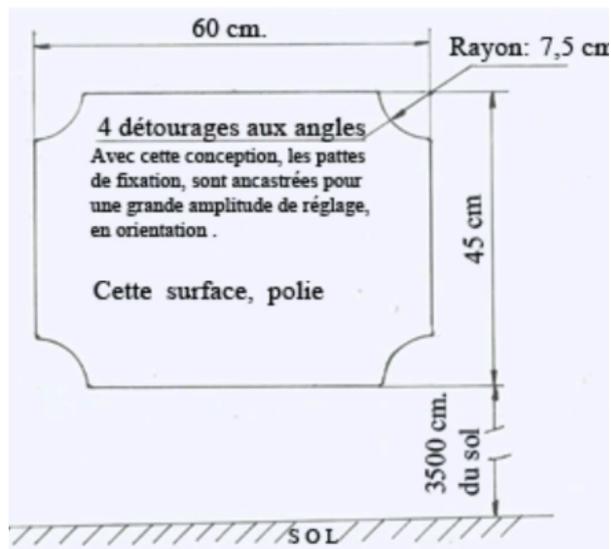
Il faut ensuite intégrer la nature de l'emplacement :

- Soit directement sur le mur, si celui-ci est constitué de pierres jointives présentant une surface plane et bien verticale. Il faudra effectuer les gravures directement sur le mur.
- Soit le mur est constitué de parpaings, de briques, de joints, de ciment, de crépis. Il faudra alors prévoir un support plan et bien vertical, constitué de chaux et de sable fin, sur lequel seront gravées les lignes horaires et toutes les autres inscriptions.
- Soit sur une structure rapportée et fixée sur le mur.
 - Choix du matériau selon les dimensions du cadran ; il peut-être constitué d'un ou plusieurs éléments jointifs, de coloris clair pour favoriser le contraste avec l'ombre du style.
 - Pierre à grains fins, non poreuse pour éviter l'absorption de l'eau qui la ferait éclater avec le gel. Le "Comblanchien" est souvent bien approprié.
 - Granit – grès – céramique, etc..
 - Lave émaillée, mais coût élevé.
 - Bois vernis. (beaucoup d'entretien).
 - Vitrail avec lecture inversée.

Pour ce guide la structure retenue est un cadran en pierre calcaire de Comblanchien. Dimensions : 60 cm. x 45 cm. Epaisseur : 2 cm. (pour un premier cadran, éviter qu'il soit trop grand). Angles détourés. Une surface polie, avec raccords chanfreinés de 2 mm à 45°, aux flancs et angles détourés, polis également.

Le Comblanchien existe aussi en ton clair, légèrement rosé qui souvent, est d'un bel effet. Il faut le choisir chez le marbrier qui pourra fournir un échantillon pour effectuer les essais : peinture, gravure, perçage, etc....

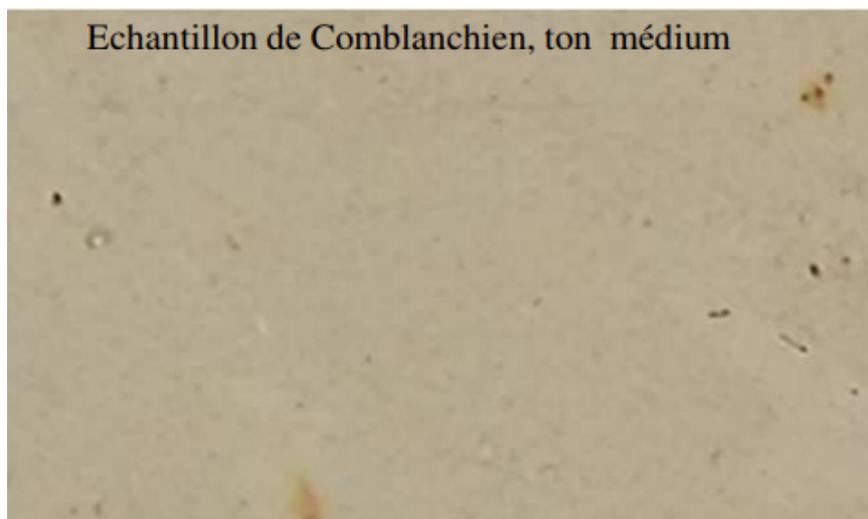
Poids brut estimé : 21 kg. en 2 cm. d'épaisseur. Il est disposé horizontalement à 3,5 mètres du sol.



Maintenant, il faut obtenir cette structure en la faisant réaliser par un marbrier local, équipé pour effectuer les détourages.

Consulter les marbriers de décoration qui réalisent, des cuisines, salles de bain, entrées, magasins, etc.. (pas de funéraires). Si le fournisseur retenu est éloigné, il faudra prévoir un emballage sérieux et passer à une épaisseur de 3 cm. de Comblanchien.

Compter sur un délai de fourniture de 2 à 3 mois. Ce n'est pas grave, il reste encore beaucoup de choses à examiner. La commande est passée.



Le fournisseur peut demander la fourniture d'un gabarit lui permettant d'effectuer les détourages. On peut le réaliser soi-même, en Plexiglass ou Altuglass, en épaisseur 2 mm.

Il doit situer sa date de livraison

A l'approche de la livraison, ne pas oublier de le relancer. C'est souvent indispensable, et même plusieurs fois.

II - 3 Orientation du cadran

- Méthode

On aborde maintenant les caractéristiques techniques. La plus importante, est de connaître l'orientation du mur par rapport à l'axe de rotation de la Terre. Cela s'appelle "déclinaison gnomonique". Sa précision déterminera celle du cadran solaire. Sur Internet, on retrouve différentes méthodes, plus ou moins précises.

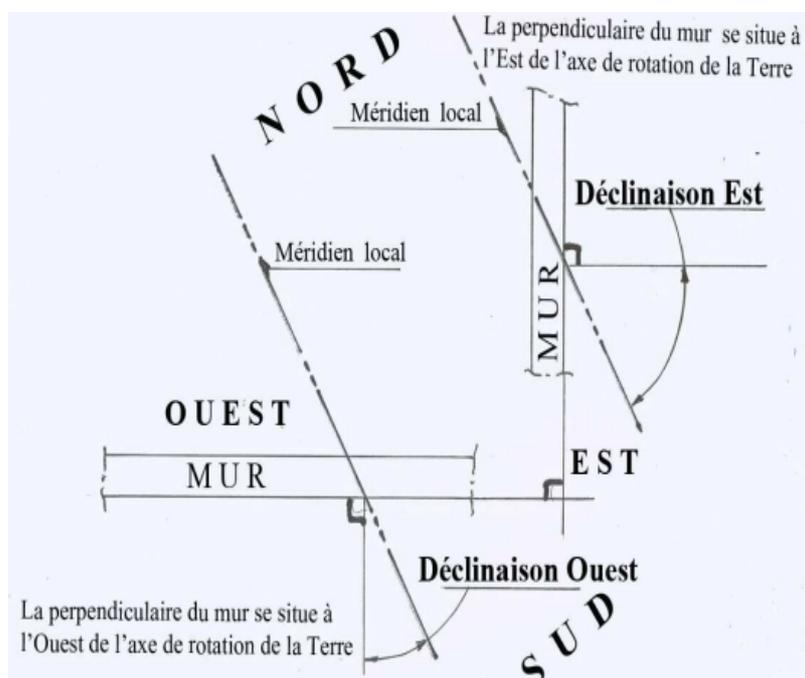
La méthode des bissectrices appelée aussi méthode de l'hyperbole, donne de bons résultats. C'est une méthode simple, fiable, précise et qui ne coûte rien. C'est aussi celle qu'utilisaient les égyptiens voici 4000 ans pour aligner leurs pyramides sur l'axe de rotation de la terre. Avec nos lasers modernes, nous avons relevé des écarts de 5 à 6 cm. pour une longueur de 300 mètres, soit $0,011^\circ$. Qui dit mieux !

La déclinaison gnomonique s'exprime en degrés d'arc, avec décimales au centième.

Pourquoi ne pas utiliser une boussole ? On relève dans ce cas l'orientation du Nord magnétique et non pas celle de l'axe de rotation de la Terre. Or la déclinaison magnétique varie au cours du temps et selon la localisation. Cela entraîne : insuffisance de précision et grosses incertitudes dues à l'influence des masses magnétiques, cachées à proximité.

Le GPS du téléphone mobile peut aussi provoquer des écarts.

Eviter les photos terrestres et aériennes, dont l'angle de prise de vue (que l'on ne connaît pas), peut avoir une incidence sur l'orientation de l'image.



L'axe de la terre est représenté par le méridien local

Il faut donc se munir ou réaliser un outillage simple d'un coût modeste, basé sur le principe de cette méthode.

- Outil de mesure de la déclinaison

° Composition

L'outil de mesure est composé de trois éléments :

- Un panneau bois revêtu sur chaque face d'une surface en stratifié, pour éviter les déformations au soleil. 30 à 40 cm de côtés. Épaisseur 2 à 3 cm. Vérifier la planéité.

Le bord, en appui sur le mur sera dressé bien rectiligne. Vers le bord opposé au mur, tracer finement des demi-cercles très concentriques tous les 1,5 à 2 cm. Du centre des demi-cercles, tracer finement une ligne bien perpendiculaire au bord côté mur et une autre parallèle. Vérifier la bonne perpendicularité.

Bien sur le centre des demi-cercles concentriques, percer un premier avant trou ϕ 2 à 3 mm, puis un deuxième ϕ moins 0,5 mm de celui de la tige qui sera employée. Perçage final au diamètre de la tige, bien perpendiculaire à la surface du panneau.

- Une tige ϕ 5 à 8 mm. Longueur environ 150 mm. Matière : Acier Stubb ou laiton étiré. À l'extrémité supérieure de la tige, réaliser une pointe qui se terminera par une petite boule ϕ 2 mm, bien concentrique à la tige qui, évidemment, ne sera pas tordue. Vérifier sa rectitude.

C'est cette petite boule qui projettera son ombre sur le panneau.

- Un support de tige. ϕ 80 mm environ. Épaisseur 15 à 20 mm en PVC ou en nylon.

Dresser une face en usinage et effectuer un dégagement central ϕ 50 mm, profondeur 0,5 mm.

Bien perpendiculaire à la face dressée, percer un avant trou ϕ moins 0,5 mm de celui de la tige employée. Perçage final au diamètre de la tige. Elle doit coulisser sans jeu et fermement.

Contrôler la bonne perpendicularité de la tige avec la surface du panneau.

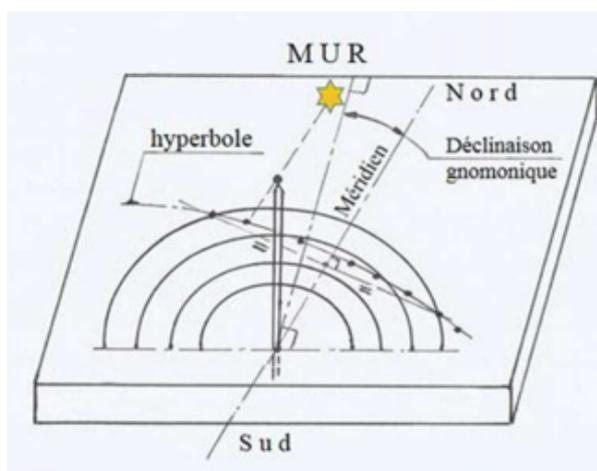
° Vérification de l'outil

La tige dépassant de 1 à 2 cm de la face du support, côté dégagement, l'introduire dans le trou du panneau. Le support en appui sur la surface du panneau, le faire tourner manuellement. L'ombre projetée de la petite boule, doit être stable. Sinon, il y a des défauts géométriques, souvent des écarts de perpendicularité, qu'il faut corriger.

° Mise place

Choisir une journée ensoleillée. S'il y a quelques nuages, ce n'est pas grave. Mais pas de pluie, sinon, on range tout. Installer si possible le panneau là où sera situé le cadran solaire. Il doit reposer sur un support rigide et stable, et y sera fixé. C'est primordial. Si quelque chose bouge au cours du relevé, on recommence.

Appliquer le côté dressé du panneau contre le mur concerné. Vérifier qu'il ne bascule pas. Le mur peut avoir une bosse. Il faut le mettre de niveau horizontalement. Les règles à niveau d'entrée de gamme, sont rarement réversibles.



Si possible, régler le niveau horizontal ; sinon, coller une cale d'épaisseur appropriée, du côté qu'il convient sur l'extrémité de la règle. Vérifier par retournement.

Le panneau doit être mis de niveau sur les deux axes : parallèle au mur et perpendiculaire au mur. Là où il convient, caler le panneau entre sa surface inférieure et le dessus du support rigide. Le maintenir fermement appliqué, souvent avec des serre-joints. Vérifier à nouveau l'horizontalité sur les deux axes. Corriger si besoin.

° Le relevé

C'est très simple, un enfant peut aisément le faire et avec passion. On commence, le matin vers 9 heures (heure légale). Pour se vérifier, effectuer 2 relevés, l'un vers Avril-Mai, l'autre vers Septembre-Octobre, Il faut un crayon-feutre noir à pointe fine, ϕ 0,2 mm. Régler la hauteur de la tige de telle sorte que l'ombre de la petite boule apparaisse à proximité du plus grand des demi-cercles. Ce réglage restera le même toute la durée du relevé. Si l'ombre se situe trop loin, ou n'apparaît pas, on attend qu'elle arrive pour commencer les pointages.

Il s'agit de marquer l'emplacement de l'ombre de la petite boule, par une croix fine en son centre, ou un petit point. Jusqu'à 12 heures légales, prévoir 2 pointages par heure ; puis de 12 heures à 16 heures, 3 pointages par heure ; ensuite revenir à 2 pointages par heure, jusqu'à la fin du relevé. Il se peut qu'un nuage masque momentanément le soleil ; ce n'est pas grave, on fait un pointage avant et un autre après.

Inutile de relever l'heure des pointages.

À l'issue du relevé, on relie tous les pointages par un trait fin qui représente une courbe : c'est une hyperbole. Elle doit être très régulière ; sinon, quelque chose a bougé et il faudra comprendre ce qui s'est passé avant de recommencer. Au moment des équinoxes, la courbe devient une droite.

On considère que l'hyperbole est régulière, et on retire le support et sa tige.

Sur le plus grand demi-cercle que cette hyperbole traverse, on pointe les deux intersections que l'on relie attentivement par un trait droit, fin.

On mesure avec précision, la longueur entre les deux intersections et on trace finement sur cette ligne droite, le milieu.

Masquer le trou avec un adhésif sur lequel on prolongera attentivement les lignes, perpendiculaire et parallèle au mur. Leur intersection correspond au centre des demi-cercles. De ce centre, on trace une ligne droite fine qui coupe la ligne droite de l'hyperbole, en son milieu déjà repéré, en la prolongeant vers le côté en appui sur le mur.

Cette ligne oblique représente le méridien local, donc l'axe de rotation de la Terre.

L'angle formé par le plan de cette ligne oblique et le plan de la ligne perpendiculaire au mur, détermine la déclinaison gnomonique du mur.

La déclinaison gnomonique a une précision: $\pm 0,2^\circ$.

Éviter d'utiliser un rapporteur d'angles, scolaire et peu précis.

Sur la ligne perpendiculaire au mur, tracer à environ 150 mm du centre des demi-cercles, une autre ligne fine qui lui sera perpendiculaire et qui la traversera. Elle sera donc parallèle au mur. Mesurer avec précision la distance de cette ligne, au centre des demi-cercles. Puis mesurer encore avec précision, la distance entre les deux intersections sur cette ligne parallèle au mur.

Notre triangle rectangle est constitué et nous connaissons la longueur de ses deux côtés perpendiculaires.



Selon la formule trigonométrique, la tangente de l'angle de déclinaison sera égale à la longueur du côté opposé (la ligne parallèle au mur), divisée par la longueur du côté adjacent (sur la ligne perpendiculaire au mur).

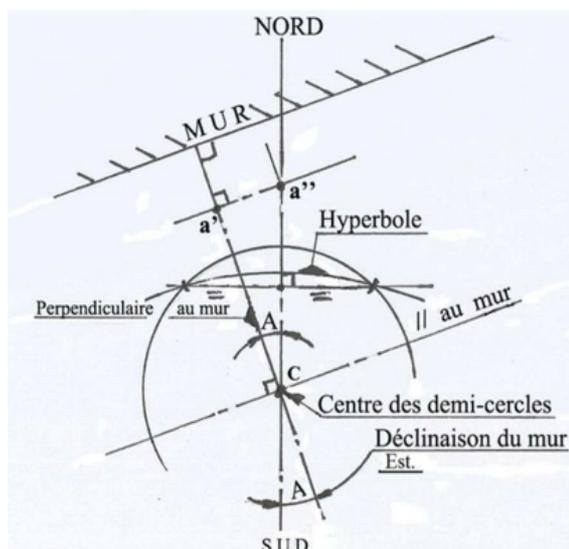
Avec une calculatrice en mode « scientifique », on obtient la valeur de cet angle que l'on arrondit au centième de degré.

C'est bien suffisant. On peut maintenant, démonter le panneau.

Dans notre cas, nous avons donc relevé et calculé une déclinaison gnomonique de 26,931° Ouest.

La tangente Tg de l'angle A est donnée par la formule :

$$\text{Tg } A = \frac{a' a''}{a' C}$$



° Verticalité du mur

Profitons de la règle à niveau pour vérifier dans une première approche la verticalité du mur.

Lorsque l'échafaudage sera installé, là où sera fixé le cadran, une vérification minutieuse de la verticalité du mur, sera effectuée.

Nous en sommes à un bon mois de la livraison de la structure. Dans notre cas, nous avons donc relevé et calculé une déclinaison gnomonique de 26,931° Ouest.

Comment tracer les lignes horaires et zodiacales. Le plus simple c'est par l'informatique.

Voici quelques liens:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.ymasse.descad>

<http://gnomonique.fr/calcad/>

<https://www.cadrans-solaires.info/acces-au-mooc/>

<http://www.shadowspro.com/fr/index.html>

http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/SOLAL_CAD/Outils_Gr.html

Nous allons utiliser Shadows téléchargeable gratuitement dans sa version de base, ce qui suffira amplement. Avec l'autorisation de son concepteur F. Blateyron, (CCS).

III – CALCULS et TRACÉS

III-1 Utilisation du logiciel Shadows

Télécharger et installer Shadows dans sa version de base, gratuite.

Ouvrir Shadows par l'icône du bureau.

Démarrer Shadows en version gratuite. Sur la page d'accueil : clic gauche sur le cadran solaire vertical.

Sur la page qui s'ouvre : en bas, à droite, clic gauche sur « Ajouter un lieu ». Saisir le lieu. La "Division administrative" est le code postal du lieu.

Renseigner la latitude et la longitude, clic gauche sur O.K.

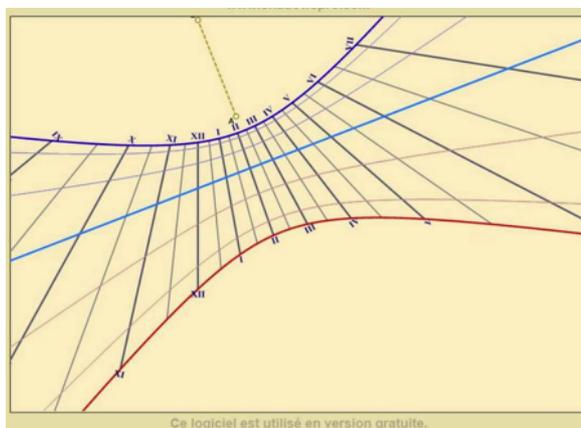
Dans "configuration", en haut à gauche : clic gauche sur « changer l'orientation ». Saisir la déclinaison relevée. Shadows l'arrondie au 0,1 °. Positive à l'Ouest – négative à l'Est. Attention de ne pas inverser.

Fermer cette fenêtre, le tracé s'est orienté selon la déclinaison mentionnée.

Toujours dans « configuration », clic gauche sur fiche technique. On obtient toutes les caractéristiques du cadran.

Puis clic gauche sur «table des coordonnées des lignes horaires », pointer Excel qui fournit les angles en degrés, (colonne de droite).

Avec NotePad, les angles sont en radians. il faut alors les convertir. Il est préférable d'enregistrer toutes ces actions, et même de les imprimer.



Fiche technique Shadows

Lieu d'installation du cadran	
Lieu	LA FERTE MILON, FRANCE
Latitude	49° 10' 48" Nord
Longitude	3° 08' 13" Est
Fuseau horaire	UT + 1 h
Ecart de longitude	47 min 27 s
Année	2020

Caractéristiques du cadran	
Type de cadran	Vertical déclinant
Largeur du cadran	250 mm
Hauteur du cadran	180 mm
Inclinaison du support	90° (Vertical)
Orientation du support	26° 56' Ouest
Hauteur du style (A-C)	30 mm
Longueur de la base du style (A-B)	41,83 mm
Angle de la sous-stylaire	201,4°
Angle au sommet du style polaire (C)	54,35°

Maintenant, il faut tracer une épure sur papier à l'échelle 1/1 ou 1/2, afin de positionner rationnellement tous les éléments. Il est beaucoup plus facile de gommer que d'effacer une gravure profonde.

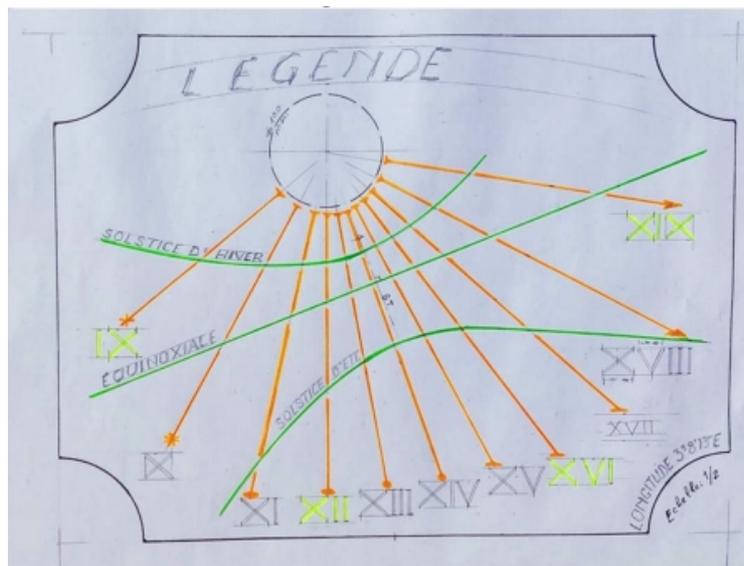
En partant du tracé Shadows, (échelle 100 %), on multiplie toutes les dimensions: lignes horaires et zodiacales, style, chiffres, légende, par 2. (sauf les angles, évidemment). Selon le cas, l'échelle dimensionnelle peut être différente. On reprend les valeurs angulaires fournies par la table des coordonnées, sous Excel, de Shadows. Un rapporteur d'angles scolaire, n'est pas assez précis.

On remarque tout de suite que la répartition des lignes horaires est asymétrique, il faut décaler la ligne de midi (XII), de telle sorte que la surface de la table, soit remplie de façon homogène.

S'assurer que toutes lignes horaires et l'axe du style, représenté par la ligne « sous-stylaire », convergent au même point.

Tracé des lignes horaires

Du point de convergence, tracer une ligne horizontale rigoureusement parallèle au flanc inférieur du cadran. Ce sera la ligne des ordonnées X. Puis de ce point de convergence, tracer une ligne verticale rigoureusement perpendiculaire à la ligne des ordonnées, Ce sera la ligne des abscisses Y, et aussi la ligne de midi (XII).



Epure

Orientation des lignes horaires selon la table de coordonnées Shadows

Latitude : 49°10' 48" Longitude : 3°08'13" Déclinaison : 26°56' Ouest

Dans un triangle rectangle, la tangente (Tg) de l'angle (α) opposé à l'angle droit, est égal à la valeur du côté opposé, divisée par celle du côté adjacent. Avec une calculatrice en « mode scientifique » on retrouve facilement la valeur de cet angle.

Les dimensions sont en mm et les angles en degrés.

	Angle α par rapport à la verticale y								Angle α par rapport à l'horizontale x			
	9 h	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	S.T	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h
Origine	270°	270°	270°	/	90°	90°	/	90°	90°	0	0	0
Excel	-220,5°	-241,47	-257,65°	/	-79,9°	-70,89°	/	-62,09	-52,67	41,65°	27,64°	8,99°
Angle α	49,95°	28,53°	12,3°	/	10,1°	19,11°	21,4°	27,91°	37,33°	41,65°	27,64°	8,99°
Tg. α	1,1896	0,5436	0,2189	/	0,1781	0,3465	0,3919	0,5297	0,7626	0,88,94	0,5237	0,1582
x en m/m	140	140	61,31	/	49,87	97,01	78,38	148,31	198,28	260	300	300
y en m/m	117,68	257,53	280	/	280	280	200	280	260	231,24	157,10	47,46

Tracé des lignes des solstices et des équinoxes selon les positions relevées sur Shadows

Pour chaque ligne, on relève sur le tracé Shadows, échelle 100 %, la distance entre le point de convergence des lignes horaires et l'intersection de cette ligne avec une ligne horaire.

Cette distance en mm, multipliée par 2 dans notre cas, sera à reproduire sur la table du cadran.

	9 h	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h
Solstice d'hiver	132	116	104	101	99	98	98	99	102	110	130
Equinoxes	/	197	154	136	130	128	128	134	144	170	252
Solstice d'été	/	/	289	118	193	185	188	205	243	368	/

Pour chaque ligne horaire, on raccorde les points qui, pour les solstices forment une courbe (c'est une hyperbole) . Et pour les équinoxes, c'est une ligne droite (l'équinoxiale) ;

L'équinoxiale est perpendiculaire à la ligne "sous-styloire" (S.T). A vérifier, sinon erreur.

- La légende

Au tracé, il est de coutume d'ajouter une pensée personnelle (devise) qui en quelques mots, exprime beaucoup de choses. Elle demande de profondes réflexions et du temps. Elle devra être définie pour sa mise en place, au moment de tracer les gravures.

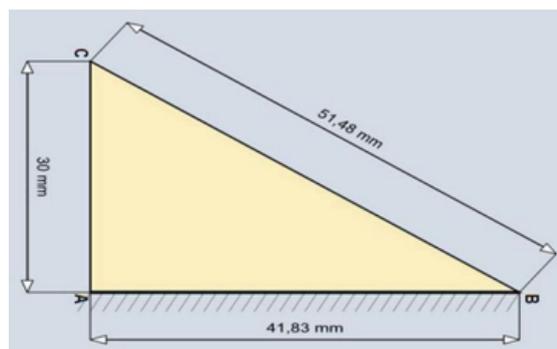
III - 2 Le style

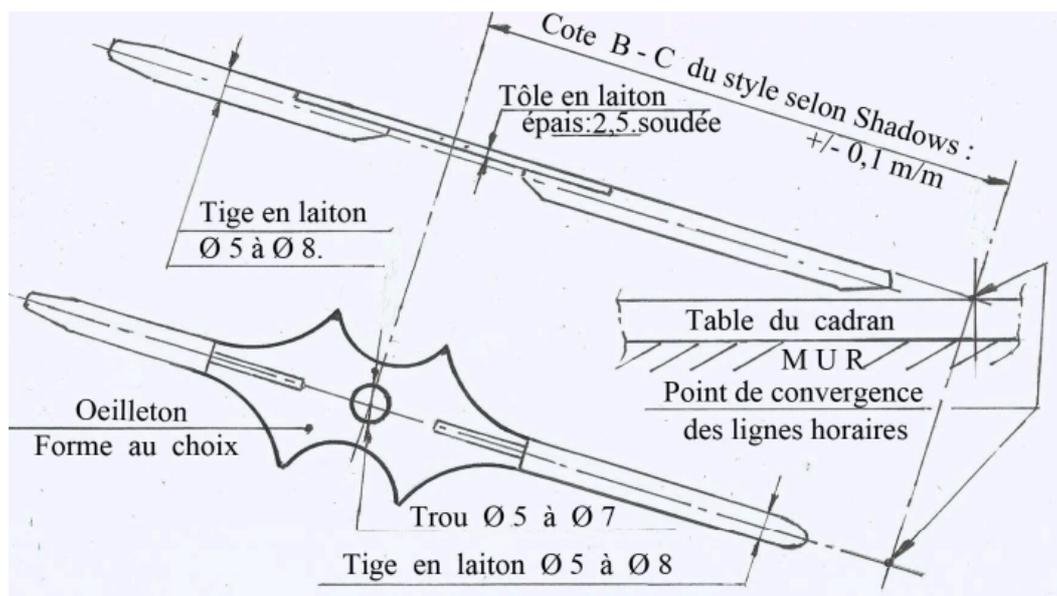
Toutes les cotes du croquis sont à multiplier par 2 (dans notre cas), pour le réaliser. Les angles restent les mêmes.

La pointe de l'angle B, correspond au point de convergence des lignes horaires. La pointe de l'angle C, correspond au point du repère qui peut être une boule, un anneau, ou un trou (œilleton).

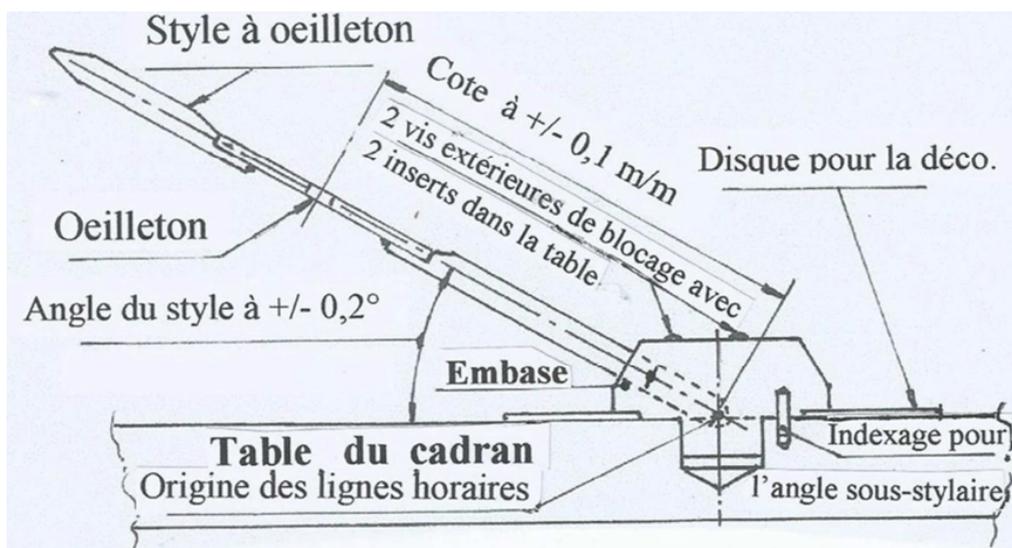
Sur la ligne sous-styloire (S.T), la projection perpendiculaire du repère C sera représentée sur la table du cadran, par un tout petit trou situé à 83,66 mm du point de convergence des lignes horaires, dans notre cas

On a choisi un style cylindrique à œilleton.





Croquis style à oeillette. Cotes en mm. Deux encoches dans l'oeillette pour loger fermement le tenon de chaque tige.
Ecart d'entr'axes entre le trou et les tiges : 0,1 mm maxi.



Centrage du support :

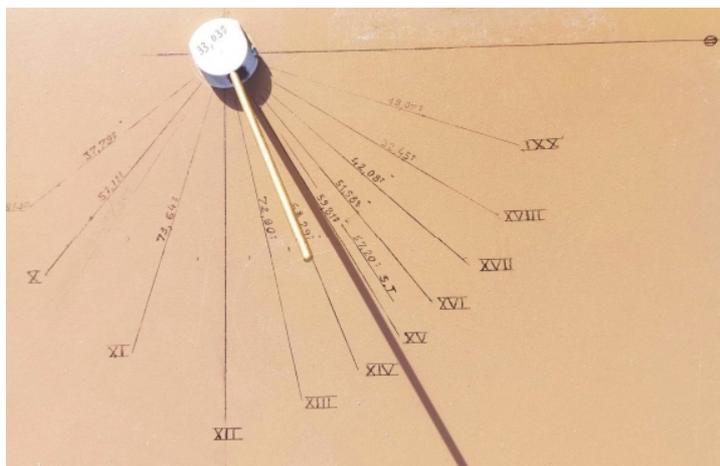
Ø nominal 12 mm.

Ø à réaliser en fonction de la cote relevée pour le trou dans la table.

Prévoir un taraudage Ø M.6 borgne, dans l'axe du centrage de l'embase.

Pour un premier cadran, il est préférable de prévoir une maquette à échelle réduite, que l'on pourra réaliser au dos du panneau de relevé gnomonique. Le style sera une tige métallique, cylindrique, introduite au point de convergence des lignes horaires et cambrée selon l'angle du point B.

L'extrémité encastrée comportera un filetage permettant son blocage par un écrou et rondelle. Réglage angulaire perpendiculaire la ligne sous-styloire, (S.T) puis serrage de l'écrou. Vérification des deux angles. Correction si nécessaire. Tracer les lignes des solstices et des équinoxes, selon l'échelle retenue. Puis sur la tige placer un joint torique au point C (toujours selon cette échelle), afin de vérifier la position de son ombre lors des solstices et des équinoxes.



L'image est un peu différente, pour la fixation du style et les lignes zodiacales.

Réception en vue, pour la structure en pierre de Comblanchien, qui doit être livrée par le marbrier. Prévoir l'achat d'un hydrofuge de bonne qualité. ¼ de litre, suffit. Penser à récupérer le gabarit.

Réception de la structure. Tout vérifier : dimensions – impacts éventuels – aspect, etc.. Bien nettoyer toutes les surfaces. Commencer par la surface non polie, placée horizontalement. L'hydrofuge se répand avec un grand pinceau, et de façon très uniforme.

- Première couche d'hydrofuge sur cette surface + les flancs. 2 jours de séchage.
- Deuxième couche d'hydrofuge sur cette même surface + les flancs. 3 jours de séchage.

S'assurer d'un séchage parfait et complet. Retournement de la structure qui reposera sur des règles plates et très propres. - première couche d'hydrofuge sur la surface polie + les flancs. 2 jours de séchage. - deuxième couche d'hydrofuge sur la surface polie + les flancs. 3 jours de séchage. S'assurer d'un séchage parfait et complet, même en-dessous des flancs. Effectuer pour vérification, le deuxième relevé gnomonique, avec toutes les précautions.

Ecart acceptable avec le premier relevé : 0,2 °.

Ecart jusqu'à 0,4°, on fait la moyenne avec le premier relevé, et on corrige la déclinaison avec Shadows, Tous les angles vont légèrement changer, et il faudra recalculer leur position.

On arrive aux décisions les plus sensibles et les plus difficiles. Il reste à examiner comment réaliser la gravure, le style et son support, les pattes de fixation, et par qui ? Déterminer la légende définitive et la décoration éventuelle. Rechercher une solution pour l'échafaudage nécessaire à l'installation du cadran.

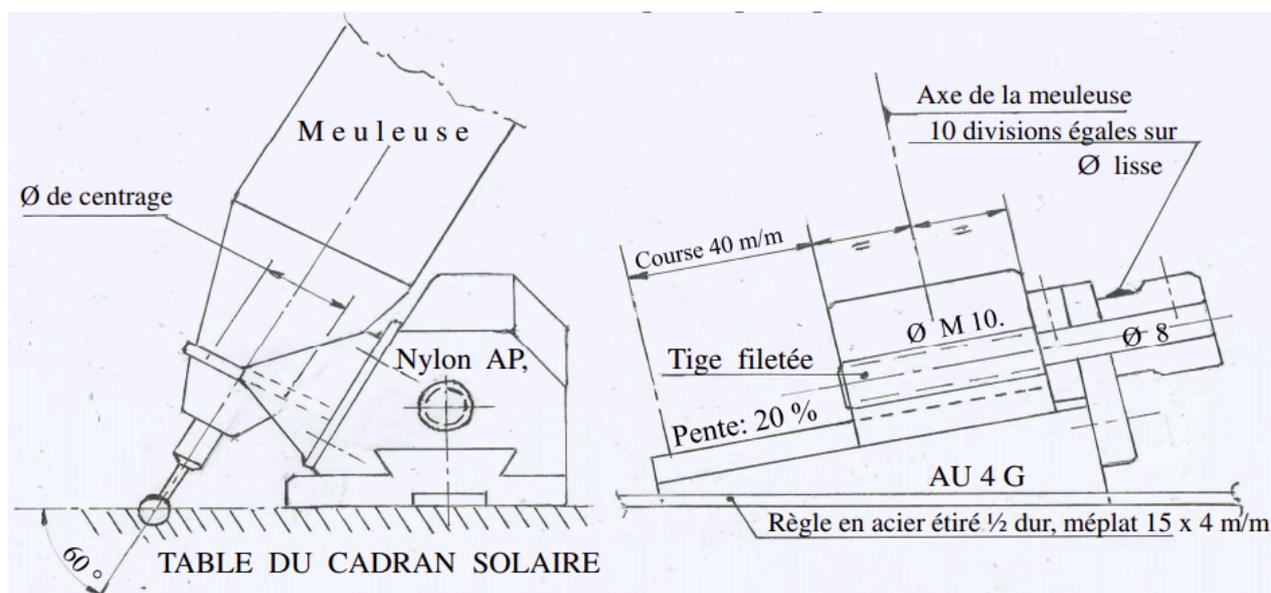
IV – GRAVURE

Il faut trouver un graveur sur pierre à proximité (pas de funéraire). S'il est trop éloigné, il faudra lui faire parvenir le cadran, protégé dans un emballage approprié et forcément coûteux + des déplacements personnels indispensables pour assurer le suivi. Dans la situation actuelle, on choisit de réaliser soi-même cette gravure. Essais et mise au point sur l'échantillon de Comblanchien.

L'idéal serait d'obtenir un profil de lettres et de lignes, en forme de V é ; mais cela est l'œuvre d'un graveur professionnel. Un graveur occasionnel ne peut avoir la dextérité. On peut y pallier en réalisant une gravure avec un profil en rayon. L'effet de relief est très proche de celui du profil en V é, et cela permet d'effectuer une gravure mécanique bien rectiligne et régulière en profondeur, donc en largeur. On utilise alors, une fraise sphérique en carbure de tungstène, rotative et inclinée, avec un guidage à l'aide d'une règle rectiligne.

Il faut réaliser ou faire réaliser un petit outillage.

IV – 1 Outillage de rainurage (croquis de principe)

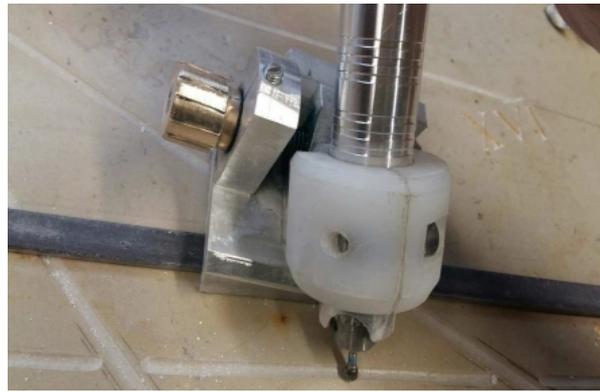


Caractéristiques : 1 tour de vis déplace en oblique le chariot de 1,5 mm, situé sur une pente de 20 %, Son déplacement vertical sera donc de 1,5 mm, x 20 % = 0,3 mm. soit 1 division = 0,03 mm. Course verticale = 8 mm. Le pas du filetage, étant « à droite », il faudra donc tourner le bouton à l'envers pour obtenir une prise de passe de rainurage. Valeur à déterminer.

IV - 2 Mode opératoire pour le rainurage

Se mettre au point sur l'échantillon de Comblanchien. L'axe de la fraise sphérique doit être bien centré sur le trait à rainurer, à +/- 0,2 mm. Selon sa position dans le porte-pince de la meuleuse, installée sur l'outillage, la distance de l'axe de la fraise au bord de la règle, va varier.

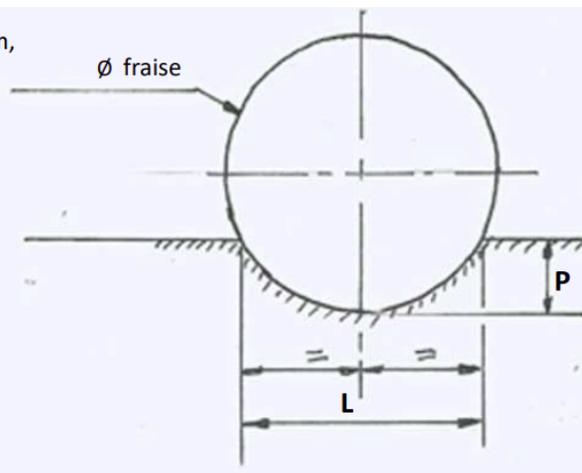
Il faut donc connaître cette distance de façon précise. Pour cela, fixer la règle sur l'échantillon, et installer l'outillage complet, en s'assurant qu'il coulisse bien à la main. Puis le faire basculer pour introduire dans le porte-pince, la fraise sphérique retenue. Le rabattre en place, le rayon de la fraise va se placer sur le même plan horizontal. Serrer la pince en s'assurant que la fraise tourne sans frotter. Avec un crayon feutre, tracer une bande large colorée, parallèle à la règle, et correspondant à l'axe de la fraise. Rotation de la fraise: 10.000 à 12.000 tours par minute. Par le bouton, descendre progressivement le chariot, donc la fraise qui va marquer son empreinte par le déplacement manuel de l'outillage sur la règle. Arrêt rotation. Dépoussiérer, et relever avec précision, la distance du milieu de cette empreinte au bord de la règle. Bien noter cette valeur qui sera à reporter pour chaque ligne, chaque branche de chiffre, chaque jambe de lettre de légende, etc.



Il faudra renouveler cette opération à chaque changement de fraise. Cette gravure provoque beaucoup de poussières fines. Il faut donc s'installer dehors ou dans un local ouvert et bien aéré. Tout le corps devra être recouvert: masque Covid humecté, lunette enveloppante, Charlotte médicale recouvrant entièrement la chevelure, gants, etc.

RAINURAGE : Cotes en m/m,

∅ Fraise sphérique	∅ 2,3	∅ 3	∅ 4	∅ 5	∅ 6
Axe fraise au rebord de la règle	47,0	47,0	46,2	47,0	47,3
Largeur L de la rainure	1,5	2	3	4	5
Profondeur P de la rainure	0,6	0,8	0,75	1	1,4



Sur l'outillage de guidage : Pente 20%. Vis pas 1,5. 1 tour de vis = 0,3 de prise de passe.

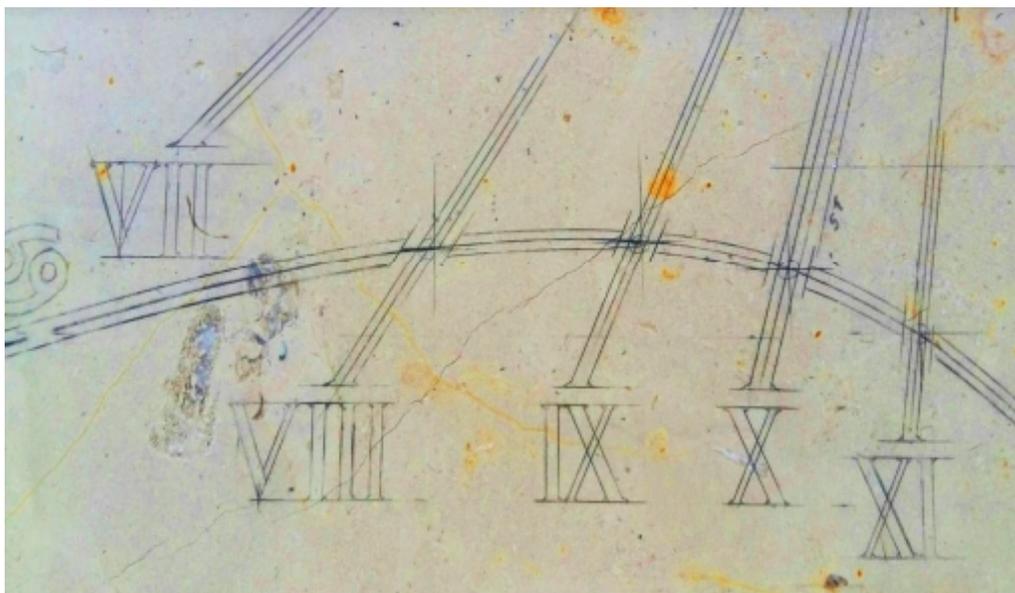
- Tracé des gravures

S'assurer que la surface de la table est bien propre. Utiliser une mine de crayon \varnothing 0,5 mm, en 2B qui s'efface facilement. On reprend les dispositions de l'épure (échelle 1/2) que l'on multiplie par 2.

Commencer par les lignes et chiffres horaires.

Avec le tableau sous Excel de Shadows, on retrouve toutes les coordonnées des lignes pour l'échelle utilisée. Puis tracer les lignes zodiacales, en évitant le croisement avec les lignes horaires. Faire une interruption, soit sur les lignes horaires, soit sur les lignes zodiacales.

Tracé de la légende : On a enfin imaginé une légende qui pourrait convenir. Mise en place au préalable sur l'épure, et reprendre à l'échelle, la disposition.



Les signes zodiacaux: En astrologie ou en astronomie ? Les signes sont les mêmes, mais les dates diffèrent. Comme c'est bien délicat et il vaut mieux les éviter. Inscrive le nom des lignes zodiacales, au-dessus de chaque ligne.

Au point de convergence des lignes horaires, percer un trou Ø 12 mm. profond 13 mm. prolongé par un trou Ø 6 mm débouchant. Attention à ne pas éclater la pierre. Se mettre au point sur l'échantillon. Relever la cote du Ø 12.

- Tracé de la décoration

Après bien des difficultés, on a enfin trouvé un thème, et les motifs seront légers pour ne pas charger l'ensemble. Ils peuvent être réalisés en peinture profonde, mais cela nécessite encore de la gravure. Il faut la mettre en place sur l'épure, pour la tracer ensuite sur la table du cadran.

Il est préférable de mentionner la latitude, la longitude, la déclinaison gnomonique. Dans les angles, il y a de la place. Et puis, il faut indiquer l'année de terminaison, et le signer par son nom et prénom, ou par ses initiales.

C'est une œuvre !

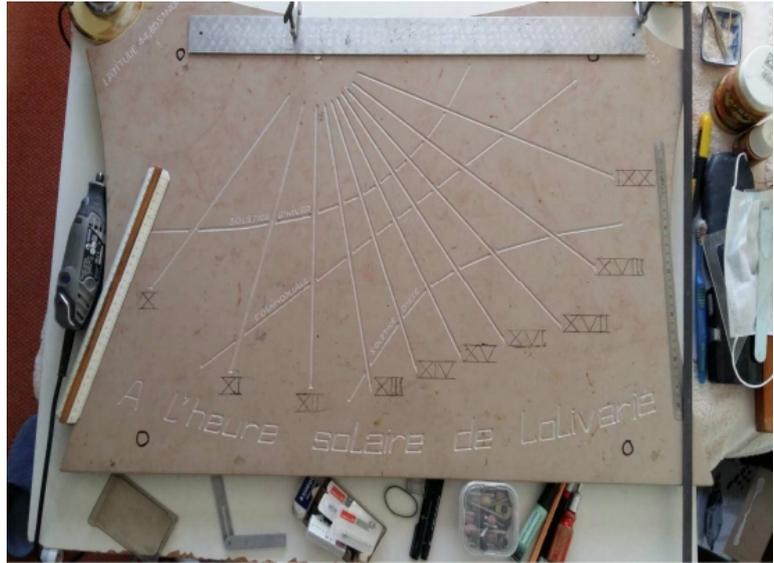
Pour réaliser soi-même les gravures, il faut disposer de petits moyens d'usinage, en tournage, perçage, fraisage et soudure. Sinon, les faire fabriquer par un atelier de mécanique générale, situé à proximité. Cela oblige à dessiner des croquis pour chaque pièce, et consulter les entreprises locales pour obtenir des devis.

Il y aura des déplacements pour assurer le suivi. Passer la commande avant de commencer les gravures.



Exemple de décoration en peinture profonde

On commence la gravure selon le mode opératoire déjà présenté. Lorsque tout est terminé avec l'outillage, il faudra effectuer manuellement les raccords avec une petite fraise sphérique. Gommer toutes les traces de crayon et nettoyer avec un aspirateur puissant toutes les gravures. Il se peut qu'il subsiste quelques petites maladresses de gravure. Les combler avec de la résine époxy incolore, à deux composants. Raccorder si nécessaire, après séchage. Peinture de la gravure: souvent avec une peinture acrylique, satinée ou brillante, de coloris



Exemple de gravure, en cours

selon son choix.

Une couche suffit. Prévoir une couche de vernis marin, incolore.

Lorsque tout est bien sec, supprimer à l'aide d'une lame de rasoir, les excédents de peinture qui débordent des rainures.

On vient de recevoir le style, son support, les inserts, le disque de déco, les pattes de fixation avec leur cale. Vérifier la conformité de tout cela. Il faut terminer le disque de déco, selon le motif imaginé. sa peinture acrylique, son vernis marin.

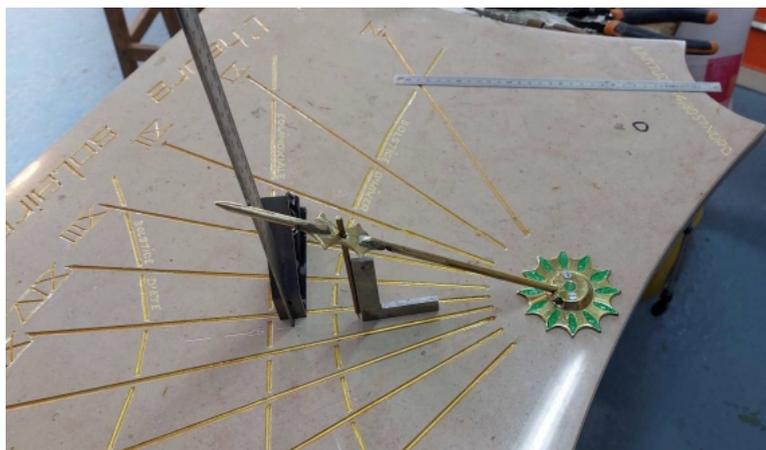
V – PRE-MONTAGE du STYLE

V – 1 Pré-montage du style

S'assurer que les pièces s'assemblent correctement. Installer le support de style avec le style. Le bloquer en orientation à l'aide d'une vis Ø M.6, introduite dans le taraudage. Vérification de l'angle sous-styloire avec une équerre de part et d'autre de la ligne, puis celui de l'angle B (entre le style et la surface de la table).

Dans le trou de l'œilleton, passer une tige bien rectiligne Ø 4 à 5 mm, selon le trou. Longueur 100 mm. environ, avec une extrémité effilée dont la pointe viendra s'encaster dans le petit trou situé sur la ligne sous-styloire. Avec deux équerres vérifier les perpendicularités. Correction éventuelle en desserrant le support de style.

Bien le resserrer.



Démonter uniquement le style pour contre-percer dans la table, les 2 trous de vis et celui de l'indexage Ø 3 ou 4 mm, Démontez le support de style, et contre-percer à Ø 8 mm, les 2 trous de vis, pour coller les inserts. Attention de ne pas éclater la pierre. Retournement de la table, pour effectuer à la sortie sur les 2 trous de vis, un chanfrein de 1 mm à 45°.

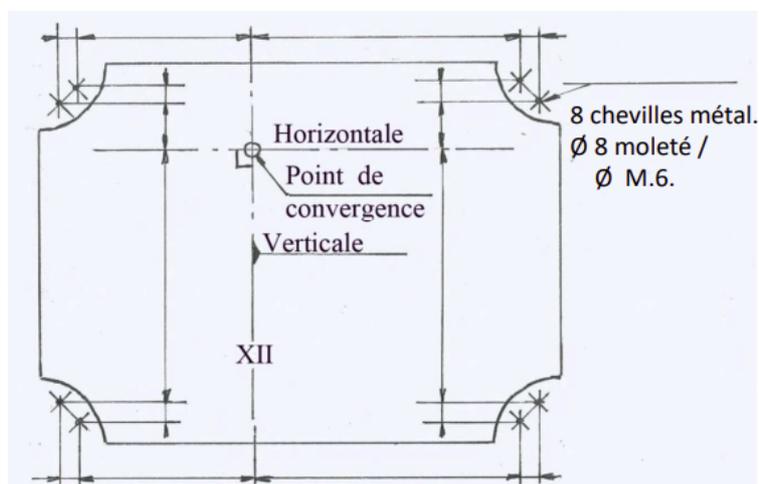
Coller les inserts avec de la colle époxy à deux composants. Pas de dépassements.

Le cadran est terminé; il faut maintenant le fixer sur le mur. Installer l'échafaudage retenu sur lequel deux personnes pourront y accéder ensemble. Le fixer de façon très stable. Toutes les manipulations du cadran devront s'effectuer verticalement pour le rehausser sur la plate-forme de l'échafaudage, puis sur le mur. Utiliser le gabarit du marbrier pour délimiter son emplacement. Coller des bandes larges d'adhésif de peintre sur lesquelles sera tracé son contour, une ligne horizontale et une ligne verticale, passant par le point de convergence des lignes horaires. S'assurer de leur perpendicularité.

Ces deux lignes serviront d'origine pour la position des trous, pour les pattes de fixation.

Etablir un croquis coté à l'aide de l'épure, puis tracer les entr'axes des trous qui recevront chacun une cheville métallique Ø 8 moleté, Ø inter. M.6. et collée à la résine époxy à deux composants. Deux à trois jours de séchage. 8 vis Ø M.6 x 45, tête fraisée.

Cotation des perçages pour chevilles ►



VI -POSE DU CADRAN

VI – 1 Installation du cadran sur le mur

Commencer par vérifier la planéité du mur, la où sera fixé le cadran, en utilisant une règle bien rectiligne. Contrôler horizontalement, verticalement et en diagonale, et par retournement de la règle. Si à certains endroits, elle bascule, c'est qu'il y a une bosse. Il faut alors la situer, évaluer son épaisseur, et réaliser des intercalaires qui seront fixés au niveau des pattes de fixation, entre le mur et le cadran. On en profite pour vérifier la verticalité du mur à cet endroit, soit avec un fil à plomb, soit avec une règle à niveau que l'on aura pris soin de contrôler et de corriger si nécessaire. Si sur le mur, on note un écart de verticalité, il faudra le compenser en épaisseur sur deux intercalaires. Le cadran est conçu pour une verticalité parfaite. Calculer l'épaisseur des intercalaires, et les positionner. Attention de ne pas inverse

Monter en premier, les deux pattes inférieures de fixation, avec leurs intercalaires éventuels, collés au préalable. Serrer les vis, et les desserrer d'un tour. En maintenant le cadran verticalement, l'introduire dans les pattes de fixation et le centrer visuellement. Pendant qu'une personne l'applique contre le mur, l'autre personne installe les deux autres pattes supérieures de fixation, avec leurs intercalaires éventuels, collés au préalable. Serrage progressif des vis, en contrôlant et en corrigeant si nécessaire l'horizontalité et la verticalité. Serrage définitif. Remontage du style complet et vérification de ses orientations, et de la position de l'oeilleton.

VI – 2 Fixation du cadran sur le mur

Pour un premier cadran solaire, mieux vaut prévoir une bonne amplitude de réglage, sur l'horizontalité et la verticalité.

Pas de bosse sur le mur. Sinon, prévoir des rondelles intercalaires au niveau des fixations. Installer dans chaque détournage des angles, une jolie patte de fixation. Elles pourraient être constituées d'une petite plaque en laiton, maintenue par 2 vis dans une cale en PVC,

L'ensemble fixé sur la table du cadran. S'assurer qu'au serrage des vis, la table est bien fixée.



Il reste à vérifier que ce cadran donne bien l'heure solaire vraie du lieu.

VII – VÉRIFICATION/LECTURE DU CADRAN

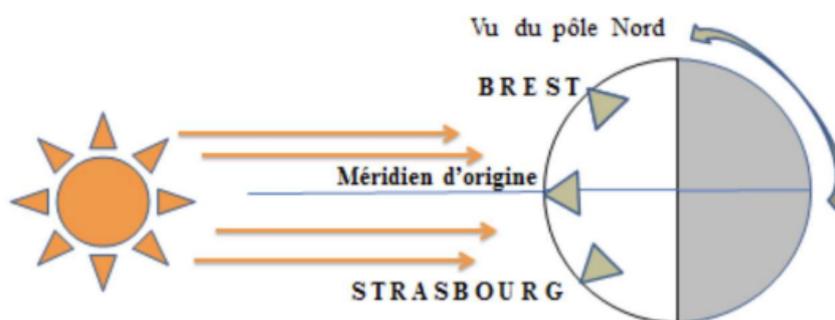
- VII -1 Comparaison entre l'heure solaire vraie d'un lieu, et l'heure légale en cours.

Comme dans tous les pays sur notre planète, nous avons en France un temps moyen . Il est la même heure légale à Strasbourg qu'à Brest, et pourtant le soleil se lève à Strasbourg 49 minutes avant Brest. Notre temps moyen est indexé sur le méridien d'origine, qui est une ligne imaginaire partant du pôle Nord pour rejoindre le pôle Sud. Elle passe à côté de Londres, à l'observatoire de Greenwich où elle est matérialisée. En France, on la retrouve en bord de mer de Villers sur Mer. 14640, et en bien d'autres lieux.

La position d'un lieu sera exprimé en degré d'arc par rapport à ce méridien de référence.

Ce sera sa longitude Est ou Ouest.

Dans notre cas, nous avons $3^{\circ} 08' 12,68''$ de longitude Est.



Pour comparer l'heure solaire à l'heure légale, il y a donc trois paramètres à considérer :

- Le décalage horaire en France, selon la saison: 1 heure l'hiver - 2 heures l'été.

- L'écart de temps en longitude. Comme nous avons 4 minutes de temps en moyenne pour 1° de longitude, notre cadran solaire se situant à $3,136856^{\circ}$ Est, $\times 4$ minutes de temps = 12,5 minutes d'écart de temps en longitude Est.

- L'équation du temps: La trajectoire de notre planète autour du soleil, n'est pas circulaire, mais elliptique (ovale). Et pour tout simplifier, le soleil ne se situe pas au milieu. Lorsque nous nous en approchons, sa gravité nous attire davantage et nous allons plus vite; nous passons donc moins de temps. Et inversement, lorsque nous nous en éloignons. Un autre critère est également à considérer. Nous avons ainsi une variation de 31 minutes de temps au cours de l'année. Un graphe donne les valeurs positives ou négatives, en fonction de la date.

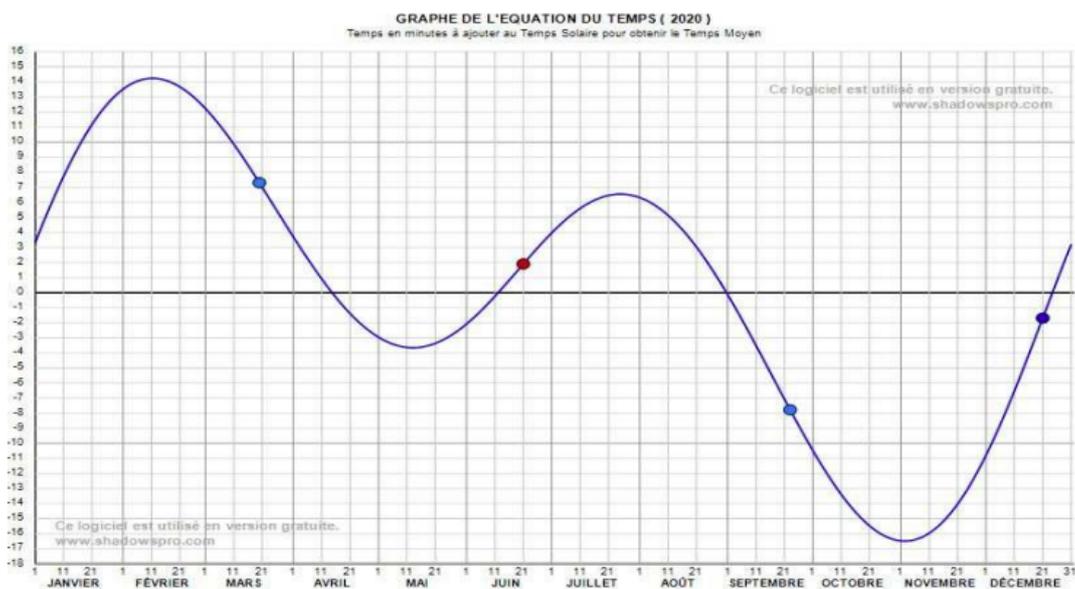
Et puis, il peut y avoir un écart entre l'heure de notre montre et l'heure légale officielle

Exemple de calcul, pour le 19 Mai, avec notre cadran situé à $3^{\circ} 8' 12,68''$ de longitude Est :

Relevé de l'heure solaire sur le cadran = 11 h 35'		I n v e r s e m e n t	
Décalage horaire de saison = + 2 h.		Heure légale en France = 16 h 53'	
Ecart de longitude pour $3^{\circ} 8'$ Est = - 0 h 12,5'		Décalage horaire de saison = - 2 h	
Equation du temps le 19 Mai = - 0 h 03,5'		Ecart de longi. pour $3^{\circ} 8'$ Est = + 0 h 12,5'	
Heure légale en France = 13 h 19'		Equation du temps le 19 Mai = + 0 h 03,5'	
		Relevé heure solaire au cadran = 15 h 09'	

Remarque : L'ajout d'une seconde intercalaire de temps pour corriger le Temps Universel Coordonné, en fonction de la rotation de la Terre, doit disparaître (réf. Résolutions de la conférence générale des poids et mesures - CGPM (27^e réunion) tenue à Versailles (78) du 15 au 18 novembre 2022). Pour les cadrans solaires, cela aura une répercussion à terme puisqu'il faudra tenir compte, d'une quatrième correction pour passer du temps solaire vrai, au temps légal.

VII -2 Equation du Temps



Les points indiquent les dates des équinoxes et celles des solstices

VII – 3 Ecarts

Sur le document ci-dessous on mesure les écarts entre ce que devrait indiquer le cadran en théorie (heure selon l'application TpSol¹) et celle indiquée par l'ombre.

CADRAN SOLAIRE VERTICAL . Modèle.
Latitude:49,18° Nord. Longitude:3,14° Est. Déclinaison gnomonique:26,93° Ouest.
Relevé de l'ombre du style, et comparaison.

D a t e	Relevé de l'ombre au C.S	Heure solaire selon TpSol	Ecart du C.S avec TpSol	Heure légale	Observations

Exemple de tableau pour noter les mesures

Dans notre cas, les premiers relevés sont tout à fait conformes. Il reste à démonter l'échafaudage pour le rendre.

Cette réalisation sera une victoire personnelle et ce cadran, une oeuvre d'art qui méritera une inauguration.

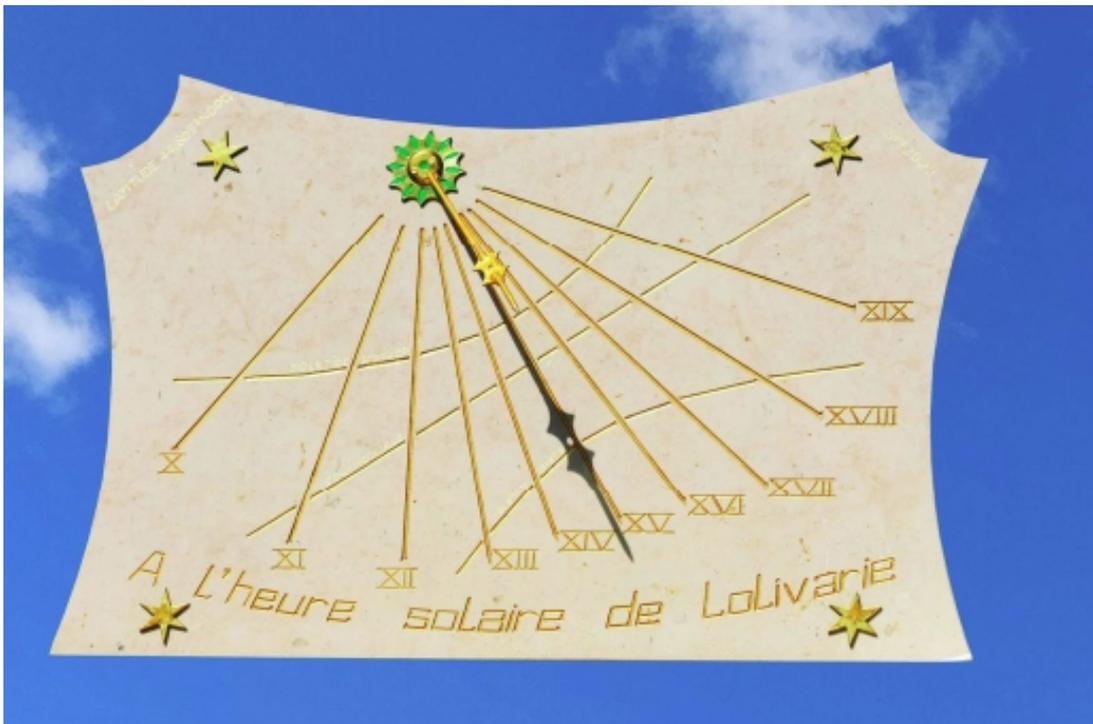
¹ TpSol est une application gratuite réalisé par Y. Massé (CCS). Elle est téléchargeable sur Smartphone Android. Version IV mini. Accessible par Gool-Play. Elle donne l'heure solaire vraie du lieu où l'on se trouve.

VIII – COUTS PREVISIONNELS

Dans cette situation ils sont difficiles à chiffrer car il y a beaucoup de fournitures extérieures trop incertaines pour évaluer leurs dépenses.

A titre d'exemple le cadran ci-dessous que j'ai réalisé pour ma résidence de Lolivarie en Dordogne² a représenté un temps passé de 164 heures et un total des dépenses de 532 euros.

Contentons nous d'apprécier notre cadran.



*Merci de ne pas modifier cette présentation
sans l'accord de l'auteur.*

malassinet@aol.com

Commission des Cadrans Solaires.

Société Astronomique de France - Paris

² Description dans *Cadran Info* 47 de mai 2023, rubrique « Informations diverses ».