

PHOTOS
COULEURS

CADRAN-INFO

Sommaire du N°9

▪ CADRAN DE LA CHAPELLE NOTRE-DAME DE PENITY	Cornec JP et Labat P
▪ CERCLE de LAMBERT et MARQUEURS SAISONNIERS	Cornec JP et Rouxel B
▪ COMPARAISON des METHODES de mesure de la DECLINAISON GNOMONIQUE et outils associés	Dallet PJ
▪ TECHNIQUES réalisation des cadrans (chap. XIII de CS de Corrèze)	Dallet PJ
▪ Les CADRANS SOLAIRES protégés par la LOI	Deciron P
▪ VOYAGE ASTRONOMIQUE au PEROU au solstice d'hiver	Gotteland A
▪ KIT DE MESURE d'inclinaison et de déclinaison	Labrosse G
▪ Six CADRANS CANONIAUX sur l'église de SAZILLY	Pineau F
▪ CADRANS BIFILAIRES, étude géométrique (même fichier que ci-dessous)	Rouxel B
▪ GENERALITE sur les ANALEMMATIQUES (même fichier que ci-dessus)	Rouxel B
▪ CADRANS CANONIAUX à PETALES	Schneider D
▪ CADRAN CYLINDRIQUE HORIZONTAL CREUX	Savoie D
▪ PLAN INCLINE et DECLINANT	Savoie D
▪ OMBRE et PENOMBRE	Savoie D
▪ INFOS-ECHANGES-BRIC A BRAC GNOMONIQUE: Courrier des lecteurs - Des livres et des revues - Des sites internet...	

CADRAN-INFO

est un moyen de diffusion d'articles gnomoniques rédigés principalement par les membres de la "commission des cadrans solaires" et destinés essentiellement à ceux-ci.

Il vient en complément des publications de la SAF: "L'Astronomie" et "Observations & travaux" qui présentent épisodiquement des sujets concernant les cadrans solaires

CADRAN-INFO est une formule simple et flexible qui regroupe les articles reçus, sans mise en forme, sans contrainte d'impression.

Il paraît en Mai et en Octobre. Il est vendu lors des deux commissions ou adressé sur demande (participation aux frais) sous forme: papier (tirage N&B ou en couleurs) et CD.

Remarques:

- ◆ Les articles sont présentés par ordre alphabétique des auteurs (ou en fonction de la composition du bulletin). Le contenu est sous leur responsabilité.
- ◆ Les articles sont à envoyer à Ph. Sauvageot (directement à son domicile) sur disquette/CDrom PC (logiciel Word, Excel, Access) éventuellement sur papier. Certains sujets pourront être repris dans une parution ultérieure de "L'Astronomie" ou "Observations & Travaux".
- ◆ Les personnes qui souhaiteraient que leurs articles soient réservés exclusivement aux revues "L'Astronomie" ou "Observations & Travaux" devront le préciser dans leurs envois.
- ◆ Toute reproduction totale ou partielle des présents articles ne peut se faire qu'avec l'accord des auteurs.
- ◆ Les articles, documents, photos... ne sont pas retournés aux auteurs après publication.

Ph. Sauvageot

Vice-Président de la Commission des cadrans Solaires

Le cadran de la CHAPELLE NOTRE-DAME DE PENITY en Carnoët (JP. Cornec, P. Labat)

Abritée par de grands arbres, la Chapelle Notre-Dame de Penity est accueillante, l'endroit est charmant, reposant. Pourtant cette élégante chapelle se trouve au confluent de l'Hyère avec un gros ruisseau, à la croisée de deux routes et au point de rencontre de trois communes : Plusquellec, Duault et Carnoët; elle voisine avec une gare et un moulin qui porte le même nom. C'est un lieu de rencontre. Elle remonte au début du XVIème siècle.



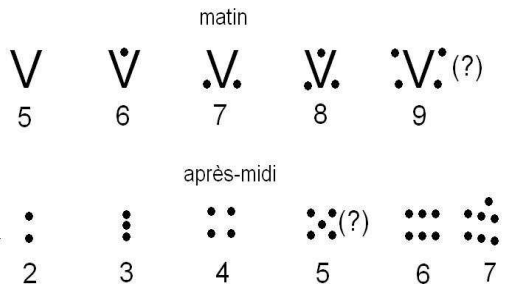
Et pour une fois il faut baisser les yeux pour découvrir le cadran, à un mètre du sol, à la porte d'entrée de la façade. C'est un ensemble plus qu'un cadran. La table surmonte en effet une avancée qui rappelle de façon frappante le cadran de granit de Kergrist-Moëlou. Encore une fois cette avancée pouvait être destinée à protéger un style proéminent dans un lieu de passage.

C'est sans doute une première pour un cadran breton : il est réalisé dans une pierre calcaire. Il a moins bien résisté au temps et aux intempéries : la gravure est très ravinée et érodée autour de midi, les lignes horaires ressortent d'autant plus mais les chiffres ont disparu. Le cadran lui-même est circulaire et, semble-t-il, soigneusement tracé à l'origine. L'éventail des lignes est équiangulaire à 15°. Le trou du style est très gros et très profond. Il est difficile de dire s'il était horizontal ou polaire, donc si ce cadran est un canonial tardif ou un cadran intermédiaire tel que celui de Runan ou de Josselin. Il y a une autre cavité au dessous de ce trou, sans doute dû à l'érosion.

La table du cadran mesure 22 cm de large sur 19 cm de haut. Le cadran proprement dit occupe toute la largeur, il a donc lui-même 22 cm de diamètre. L'avancée est très abîmée et cassée, elle mesure 15 cm de hauteur.

Les Chiffres

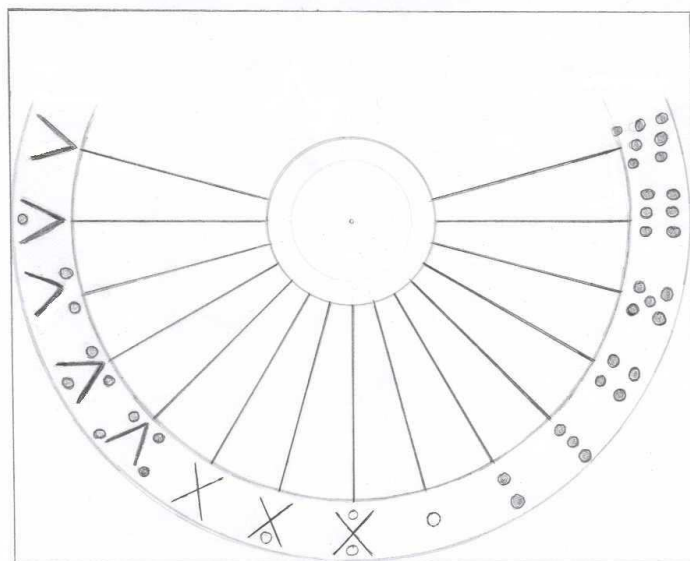
Mais ce qui fait par ailleurs toute l'originalité de ce cadran est la notation retenue pour la chiffraison . Le matin les chiffres de 5 à 9 sont représentés par une combinaison de V et de points. Le chiffre 9 est douteux dans la mesure où la surface du cadran est piquetée. L'après-midi la notation de simplifie mais révèle une représentation fort originale : 2 h est représenté par 2 points superposés, 3 h par 3 points, 4 h par 2 groupes de 2 points, 5 h par les 5 points de la face d'un dé, 6 h par 3 groupes de 2 points; pour 7 h on distingue 3 groupes de 3 points avec un point supplémentaire entre la deuxième et la troisième rangée. Le cadran joue aux dés !



Cette notation étrange, mais ingénieuse et tout à fait logique, est inconnue jusqu'ici sur un cadran solaire. Elle peut être rapprochée du procédé d'écriture des chiffres utilisé pour le marquage des bois de charpente, sauf que la disposition des points par rapport aux V est totalement différente.



Nous proposons (Fig 2) une tentative de reconstitution du dessin original du cadran. Il est permis d'imaginer que le chiffre X fut utilisé pour marquer les heures matinales proches de midi et qu'à nouveau des points ont remplacé les I.



Eclairement

Tout original qu'il soit, ce cadran est bien mal placé. D'abord assez bas, à l'entrée de la chapelle : cela pourrait certes être un avantage, l'heure indiquée serait ainsi bien visible aux fidèles. Mais c'est un lieu de passage, donc source de dégradation par maladresse, accrochage, et c'est sans doute pour cela qu'il est doté de cette avancée en pierre qui protégeait le style proéminent, d'un accident malencontreux.

Ensuite et surtout, il est entre la porte et le contrefort qui la jouxte à l'est; de ce fait, il n'est éclairé que l'après-midi comme le montre la photo d'ensemble en début d'article. Il n'est alors pas difficile de calculer, en fonction de la saison, l'heure à laquelle l'ombre du contrefort commence à dégager la surface du cadran et celle à laquelle le cadran est complètement éclairé, c'est-à-dire le moment où le soleil passe dans le plan du contrefort. De même nous indiquons l'heure du passage dans le plan du mur de la façade, nous en déduisons ainsi la durée totale d'éclairement possible du cadran en fonction de la saison. Ces heures sont naturellement exprimées en temps vrai. La façade décline de 10° vers l'ouest.

Mois	Début de l'éclairement de la table	Passage dans le plan du contrefort	Passage dans le plan du mur	Durée d'éclairement complet
Janvier	11 h 20	12 h 40	16 h 22*	5 h 02 / 3 h 42
Février	11 h 25	12 h 35	17 h 07*	5 h 42 / 4 h 32
Mars	11 h 26	12 h 30	18 h 00*	6 h 34 / 5 h 30
Avril	11 h 27	12 h 25	18 h 13	6 h 43 / 5 h 48
Mai	11 h 33	12 h 20	17 h 39	6 h 06 / 5 h 19
Juin	11 h 35	12 h 18	17 h 25	5 h 50 / 5 h 06
Juillet	11 h 33	12 h 20	17 h 39	6 h 06 / 5 h 18
Août	11 h 27	12 h 25	18 h 13	6 h 43 / 5 h 48
Septembre	11 h 26	12 h 30	18 h 00*	6 h 34 / 5 h 30
Octobre	11 h 25	12 h 35	17 h 07*	5 h 42 / 4 h 32
Novembre	11 h 20	12 h 40	16 h 22*	5 h 02 / 3 h 42
Décembre	11 h 18	12 h 42	16 h 03*	4 h 45 / 3 h 21

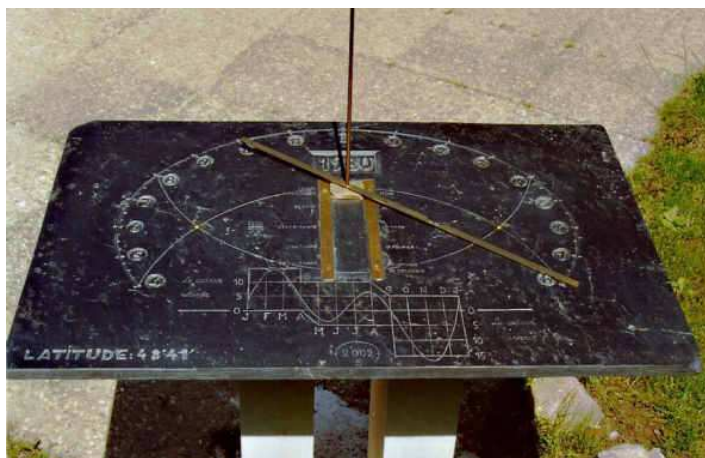
Les heures marquées en bleu (*) indiquent que le soleil se couche avant de passer dans le plan du mur. Dans la dernière colonne la première heure indique la durée entre le tout début de l'éclairement de la table et la disparition du soleil; la seconde heure l'intervalle de temps entre le passage du soleil dans le plan du contrefort et sa disparition.. Nous voyons que la durée maximale d'éclairement se situe fin avril et fin août.

Donc finalement les heures du matin n'étaient jamais indiquées avant midi car le style lui-même ne devait commencer à être éclairé que plusieurs minutes après la surfacede la table.

CERCLES DE LAMBERT ET MARQUEURS SAISONNIERS (J.P. CORNEC, B. ROUXEL)

Voici plusieurs années, un des auteurs (JPC) avait installé dans son jardin un cadran analemme classique, horizontal, à style vertical mobile. Si la famille des cadrans analemme est vaste, comme le montrent de nombreuses études ou publications dont nous citons les principales en référence, c'est ce type qui est le plus couramment réalisé. En pratique il est constitué d'une ellipse graduée en heures dont le grand axe est orienté suivant la direction est-ouest. Sur le petit axe, de part et d'autre du centre, une échelle graduée avec des dates de l'année indique l'endroit où le style vertical mobile doit être placé pour indiquer l'heure suivant l'époque; elle est limitée par les deux solstices. Nous l'appellerons par la suite "l'échelle des dates".

Le cadran de jardin avait été gravé il y a plus de 20 ans. sur une dalle de schiste de 80 x 50 cm. L'ellipse elle-même a un grand axe de 60 cm et un demi-petit axe de 22,5 cm. L'ellipse est limitée à 4 h du matin et 8 h du soir, bien qu'en théorie ces heures extrêmes ne soient pas atteintes; mais il s'en faut de si peuLa date de la gravure initiale, 1980, est gravée en relief dans un cartouche. La date de restauration, 2002, a été ajoutée sur le bord sud de la dalle.



Mais les analemme sont le plus souvent des cadrans monumentaux à style humain : c'est une personne qui joue ce rôle en marquant l'heure avec son ombre une fois qu'elle s'est placée sur le point adéquat de l'échelle des dates. Le cadran installé récemment à Biarritz à l'instigation de notre collègue R. Majendie en est un exemple.

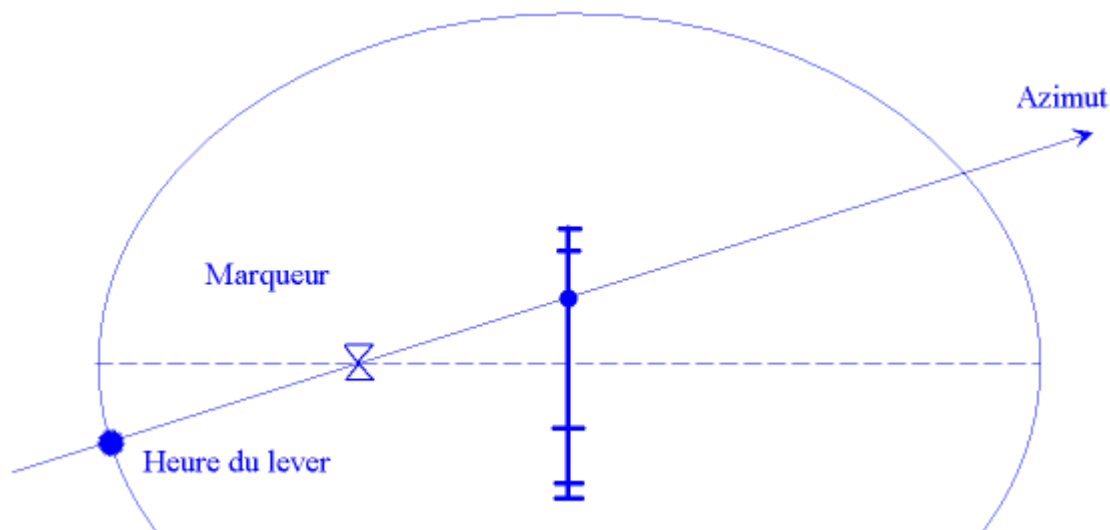
Il y a quelques temps notre cadran de schiste et son socle avaient du être retirés à cause de travaux réalisés sur la maison. Cette retraite prolongée, qui a été mise à profit pour le "réviser", refaire la gravure et fabriquer un nouveau style, a coïncidé avec des échanges de mails qui se sont déroulés alors sur la liste de discussions Internet "Sundial Mailing list". Ces échanges ont traité d'une part du "Marqueur Saisonnier" et, d'autre part, plus brièvement, des "Cercles de Lambert". La révision du cadran a donc été l'occasion de lui ajouter ces deux nouvelles fonctions. Il a ainsi retrouvé une nouvelle vie.

Mais qu'est ce que les "Marqueurs Saisonniers" et les "Cercles de Lambert" ?

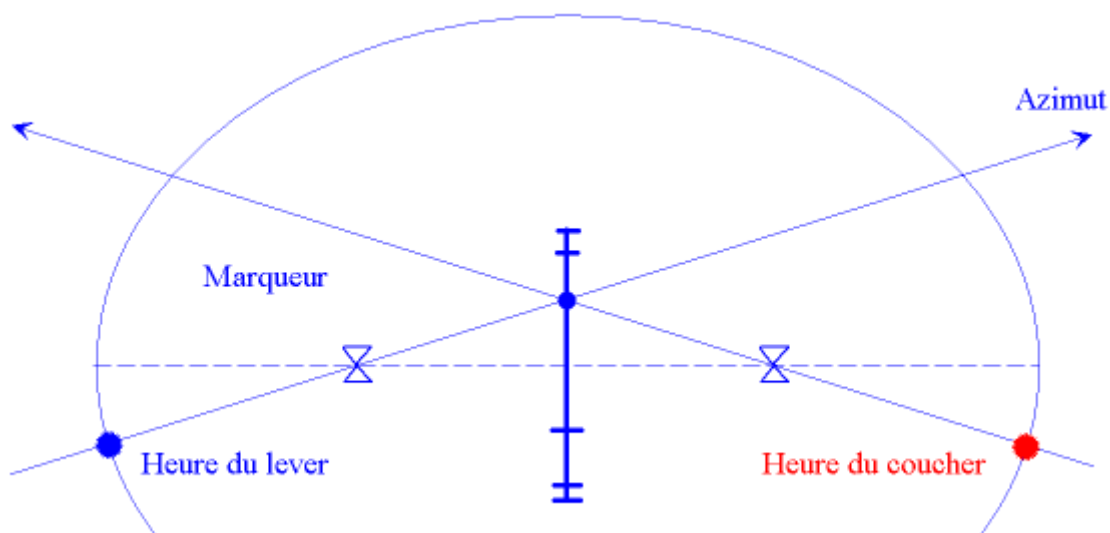
LE MARQUEUR SAISONNIER

Son existence fut suggérée par M. Deamicis-Roberts. Sa raison d'être est inhérente au cadran analemmatique horizontal, qui est d'abord un cadran d'azimut : l'heure est bien indiquée par l'intersection de l'ombre du style vertical avec l'ellipse.

Vu d'un point de l'échelle des dates le Soleil se lève, par exemple, pour cette date dans une certaine direction et à une certaine heure. Cette direction est matérialisée par l'ombre du style que nous supposons exister à l'instant fugitif du lever : son intersection avec l'ellipse nous donne l'heure du lever et nous indique l'azimut du phénomène dans l'autre sens.



Cette ombre coupe le grand axe de l'ellipse en un point qui représente le *marqueur saisonnier* pour le lever à la date en question. Pour le coucher on retrouve une direction symétrique de celle du lever par rapport au petit axe. Il y a donc, pour une date donnée, deux marqueurs, l'un à l'ouest pour le lever et l'autre à l'est pour le coucher.



Le calcul de la position du marqueur sur le grand axe n'est guère difficile. On constate qu'elle ne dépend pas du signe de la déclinaison. Ce qui est normal si on se souvient que l'échelle des dates est symétrique par rapport au grand axe de l'ellipse et qu'un point de cette échelle (sauf les solstices) est utilisé deux fois dans l'année. Donc un même point va servir soit pour 2 mois (les 2 solstices ou les 2

équinoxes) soit pour 4 mois. Sa position sur le grand axe change relativement peu au cours de l'année, de l'ordre de 6% de la longueur du demi grand axe. Le tableau suivant montre l'évolution de l'abscisse du marqueur en fonction du mois pour une latitude de $48^{\circ},75$:

Mois de l'année (~21 du mois)	Demi grand axe	
	2 mètres	0,30 mètre
Juin / Décembre	75,6 cm	11,3 cm
Juillet / Novembre / Janvier / Mai	79,0 cm	11,8 cm
Aout / Octobre / Février / Avril	84,6 cm	12,7 cm
Septembre / Mars	86,9 cm	13,0 cm

De même, le calcul de la distance du marqueur au point correspondant de l'échelle des dates ne présente pas de difficultés. On se rapportera au formulaire en fin d'article.

Ainsi sur un cadran monumental il serait possible de réunir les marqueurs en un seul "gros" point sans nuire à la précision de lecture. A la place d'un gros point, l'initiateur de la discussion sur la "Mailing List", R. Bailey, avait également proposé une sorte de disque rotatif gradué dont un repère venait se positionner sur la place du marqueur adéquat sur l'axe. L'idée est excellente mais s'applique essentiellement à des cadrans monumentaux.

Usage

L'usage du marqueur est simple : la direction matérialisée par le marqueur et "son" point de l'échelle des dates indique l'azimut des lever/coucher du soleil dans le sens marqueur - point et les heures de ces évènements dans l'autre sens.

Cette fonction peut être utilisée à tout moment : il suffit de relier un marqueur et "son" point de l'échelle des dates par une ficelle par exemple, de la prolonger dans un sens jusqu'à l'ellipse où elle indiquera l'heure du lever ou du coucher suivant le cas et dans l'autre sens où elle indiquera le point de l'horizon où se déroulera le phénomène correspondant

En ce qui concerne notre cadran de jardin nous avons conçu une lame amovible qui pivote autour du style qui est ici une tige cylindrique. Des repères y ont été gravés correspondant à la distance du marqueur au point de l'échelle des dates. A ce niveau la lame est évidée jusqu'à son milieu. Elle est ainsi réversible, une face est dédiée à l'automne et l'hiver et l'autre au printemps et à l'été. Il suffit de tourner la lame autour du style pour positionner le repère sur le point pour la date choisie. Une extrémité porte l'indication "Azimut" et l'autre "Heure".



Extrémité "Heure" de la lame



Repères de la lame qui se positionnent sur les marqueurs

Tel qu'il a été réalisé ce n'est pas un instrument de précision, quoiqu'il pourrait l'être, mais plutôt indicatif et, à l'occasion, éducatif.

LES CERCLES DE LAMBERT

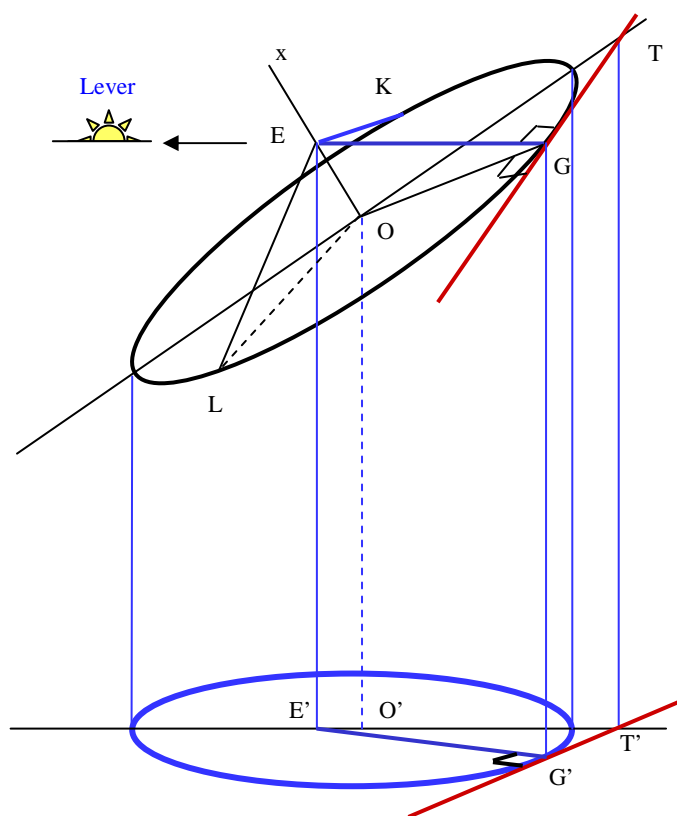
Les cercles de Lambert sont une propriété peu connue et intéressante des cadrans analemétiques. **Un tel cercle, pour une date donnée, passe par le point correspondant de l'échelle des dates, les points de l'ellipse représentant les heures de levers et des couchers pour cette date et les foyers de l'ellipse.** Connus et mentionnés par le mathématicien J.H. Lambert dès le 18^{ème} siècle, leur théorie a été réexposée il y a quelques années par R.-J. Rohr.

Une démonstration

Le point de départ sera la construction classique d'un cadran analemétique horizontal à style vertical mobile, par la projection verticale d'un cadran équatorial circulaire sur un plan. Nous supposons le lecteur familier avec ce procédé et les développements mathématiques qui en découlent. Il pourra sinon se rapporter aux publications des membres de la Commission citées en référence

On désignera par O le centre de l'équatorial et Ox son axe polaire. Pour un jour où la déclinaison du soleil est δ , soit E le point de cet axe dont l'ombre L parcourt la circonférence de l'équatorial au cours de la journée. Si on néglige la variation de la déclinaison solaire durant la journée, la distance EL du point E à la circonférence reste constante et égale à $1/\cos \delta$. Par le procédé de construction nous savons que la projection E' du point E donne la position du style de l'analemétique pour ce jour.

Aux instants des lever et coucher du soleil le segment EL devient horizontal. Soit G et K les positions respectives correspondantes de L à ces instants. Menons la tangente au cercle au point G, par exemple; elle coupe en T le prolongement de la ligne de midi de l'équatorial. Par projection le segment EG devient le segment E'G' de même longueur que EG, puisqu'à l'origine celui ci est horizontal. La droite GT se projette en G'T'.



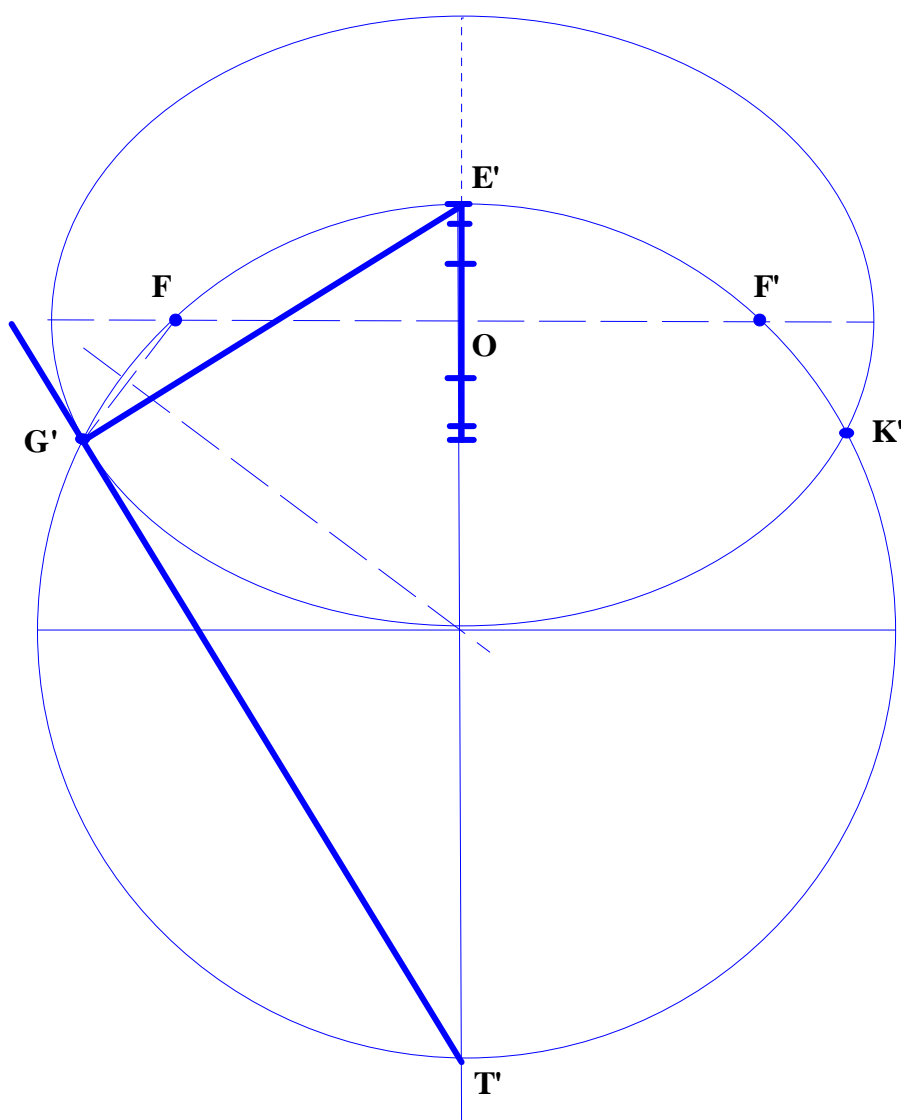
Initialement le cercle équatorial et GT n'avaient par définition qu'un point commun G. Par projection l'ellipse et G'T' n'auront également qu'un seul point commun : G'T' est tangent à l'ellipse en G'. Exprimé de façon plus imagée, les 4 points G, T, G' et T' définissent un plan vertical (P). Au cours de la projection de l'équatorial le cercle va "glisser" le long de la verticale GG', en gardant un point de tangence en G. L'ellipse de l'analemétique n'aura donc également qu'un point de contact avec le plan vertical en G'.

E'G' représente l'ombre du style vertical au moment du lever. Le point G' marque l'heure de ce lever.

En outre sur le cercle équatorial, tout au long de la journée, le plan défini par O, E et L qui tourne autour de Ox reste perpendiculaire à la tangente au cercle en L : c'est le plan horaire du soleil. Au moment du lever le segment EL devient le segment EG horizontal, perpendiculaire à GT en G et perpendiculaire au plan vertical (P) en G. Il en sera de même de sa projection E'G' : elle sera perpendiculaire à G'T' en G'.

Donc tout au long de l'année la direction de l'ombre du style au moment du lever est une normale à l'ellipse. Il en sera de même du coucher.

Soit maintenant F et F' les foyers de l'ellipse. Pour une journée donnée les points G et K sont symétriques par rapport au plan méridien. Il en sera de même pour leur projections G' et K' par rapport à la droite méridienne. Les deux foyers sont naturellement symétriques par rapport à cette droite. Si on considère la figure formée par les 4 points G', F, F' et K', il existe un point du méridien équidistant de G' et F : il est à l'intersection du méridien avec la médiatrice du segment G'F. Ce point sera aussi par symétrie équidistant de F' et K' : c'est le centre du cercle circonscrit au quadrilatère G'FF'K'. Il existe donc bien un cercle passant par ces 4 points.



Par ailleurs on sait, propriété intrinsèque de l'ellipse, que la tangente en G' est la bissectrice extérieure de l'angle FG'F' ou, exprimé autrement, que la normale en G' est la bissectrice intérieure de cet angle FG'F'.

Donc tout au long de l'année, le segment E'G' est bissectrice de l'angle FG'F'.

Enfin nous allons faire appel à un théorème dont l'existence a été opportunément rappelée par l'un des auteurs (BR). On en trouvera une démonstration en annexe. Son application est immédiate : sur notre cadran analemmatique le point G' joue le rôle de A, les foyers celui de B et C, E' celui de I. Le petit axe de l'ellipse est la médiatrice de FF'. **Le point E' intersection de la médiatrice avec la bissectrice de FG'F' appartient au cercle passant par G', F et F' (ainsi que K').**

Ainsi les 5 points G', F, E', F' et K' appartiennent à un même cercle, le Cercle de Lambert pour cette date.

Le calcul de la position du centre du cercle ainsi que de son rayon n'est pas compliqué, les résultats sont donnés dans le formulaire en fin d'article. Pour ne pas surcharger le cadran nous suggérerons de ne tracer que les seuls cercles des solstices, d'autant qu'à nos latitudes leurs centres sont les seuls à se trouver à l'intérieur de l'ellipse ou proche d'elle. C'est ce que nous avons fait sur le cadran de jardin en schiste.

Enfin signalons que, dans leur principe, les Cercles de Lambert peuvent être reliés aux compas solaires.

EPILOGUE

Cercles de Lambert et Marqueurs Saisonniers n'ont certes aucun rôle dans le fonctionnement horaire du cadran analemmatique. Les uns comme les autres meublent joliment la surface du cadran, et, à l'occasion, ajoutent à l'aspect éducatif de celui-ci.

Références

- R. Sagot : Esquisse d'une théorie du cadran analemmatique. L'Astronomie, S.A.F., Octobre 1983.
 R. Majendie : Vous avez dit analemmatique ? Observations et Travaux , S.A.F., N°45, 1996
 D. Savoie : La Gnomonique.Ch. XII . Les Belles Lettres 2001
 Y. Massé : Cadran de type analemmatique à projection centrale / Deux cadrans analemmatiques à heure légale - Site Internet : <http://perso.wanadoo.fr/ymasse/gnomon/>
 F. Pineau : Navigation terrestre (compas solaires) : <http://www.atco-fr.com/cadrans/navigation/naviga.php3>
 R-J Rohr : Lambert's circles .British Sundial Society Bulletin N°89.1 p. 5, 1989 et 90.1, p.11, 1990
 Sundial Mailing List : pour s'inscrire sur le forum envoyer un e-mail avec "subscribe"à Majordomo@rrz.uni-koeln.de
 J.P. Cornec : Cadrans Solaires en Bretagne : <http://www.amzer-heol.org/> (Cadrans personnels)

Formulaire

Conventions:

- point (δ) : le point de l'échelle des dates correspondant à une déclinaison solaire δ
- point (L/C) : points de l'ellipse correspondant à l'heure des L/C pour une date donnée
- marqueur (δ) : marqueur saisonnier pour une déclinaison δ

Cercles de Lambert

Rayon	$\cos \Phi / \sin (2\delta)$
Ordonnée du centre	$-\cos \Phi / \operatorname{tg} (2\delta)$
Distance point (δ) - point (L/C)	$1 / \cos \delta$

Remarque : le signe "-" devant l'expression de l'ordonnée indique que le point est sur la moitié sud du petit axe.

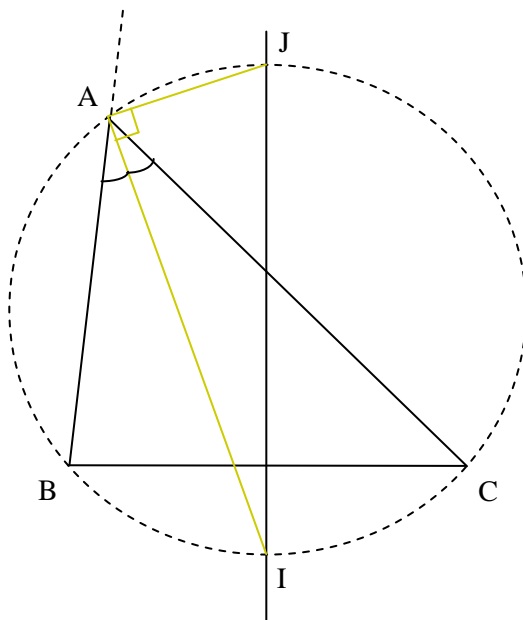
Marqueur saisonnier

Abscisse	$\cos \Phi (\cos^2 \Phi - \sin^2 \delta)^{1/2} / \cos \delta$
Distance point (δ)-marqueur (δ)	$\cos^2 \Phi / \cos \delta$

Un théorème

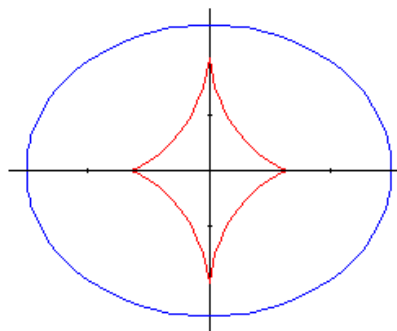
Soit un triangle ABC et le cercle qui lui est circonscrit. Le centre du cercle est à égale distance de B et C, il se trouve donc sur la médiatrice de BC. Le cercle circonscrit coupe cette médiatrice en 2 points I et J. IJ est un diamètre du cercle. Par construction les arcs BI et CI sont égaux, donc les angles inscrits BAI et CAI sont égaux : AI est la bissectrice de BAC. Comme I et J sont diamétralement opposés l'angle IAJ est droit et AJ est la bissectrice extérieure de BAC. On remarquera que lorsque le point A parcourt l'arc (supérieur) BC le point I reste fixe.

De même on montre que si la bissectrice de l'angle A coupe le cercle en un point I, ce point appartient à la médiatrice de BC



Retour sur le marqueur

Pour placer les points G' et K' nous devons mener une normale à l'ellipse depuis le point E'. Remarquons d'abord que cette normale va couper le grand axe au marqueur saisonnier de la date. Si nous traçons cette normale pour le lever et le coucher de chaque date de l'année, d'un solstice à l'autre (et vice-versa) nous aurons une famille de droites qui seront toutes tangentes, par définition, à la *développée* de l'ellipse représentant le cadran. Cette courbe, qui est l'enveloppe des normales, est constituée de 4 arcs qui se rejoignent deux à deux sur les axes de l'ellipse en 4 points de rebroussement. Voilà une nouvelle courbe à placer sur le dessin d'un cadran analemmatique !. Elle pourra être limitée aux portions concernées par les directions des lever/coucher à partir des points de rebroussement sur le grand axe. On peut vérifier que ces points de rebroussement sur le grand axe se situent à l'emplacement des marqueurs pour les équinoxes.



La figure ci-dessus donne la forme de la développée de l'ellipse d'un analemmatique pour la latitude $48^{\circ},75$. Les foyers sont marqués sur le grand axe, les extrémités de l'échelle des dates sur le petit axe. Rappelons que son équation est : $(ax)^{2/3} + (ay \sin \Phi)^{2/3} = (\cos \Phi)^{4/3}$ où "a" est la longueur du demi grand axe (axe des x).

La liaison entre la développée et les marqueurs fera l'objet d'une communication ultérieure.

COMPARAISON des METHODES de mesure de la DECLINAISON GNOMONIQUE (P.J. DALLET)

Mesurer la déclinaison gnomonique d'un plan a toujours été et reste une opération délicate, car elle confronte le gnomoniste à des réalités physiques dont chacune peut engendrer des erreurs.

Or, il n'existe pas de technique parfaite, sinon elle aurait supplanté toutes ses rivales. La sagesse consiste à procéder à plusieurs mesures et, si possible, avec au moins deux de ces méthodes dont il faut connaître les limites de précision. Les lignes suivantes ont pour but de les rappeler à nos lecteurs. Ils pourront ainsi éclairer leurs choix.

1- DEFINITION :

La déclinaison gnomonique d'un plan est l'azimut de la normale à ce plan.

Plein SUD : 0°, SUD-OUEST : 45°, OUEST 90° etc.

Il est d'usage de compter la déclinaison EST négativement.

Pour les cadrans non plans (cylindre, cônes, sphère) la déclinaison gnomonique se mesure :

- Sur le plan sécant si le cadran est scaphé (graphisme à l'intérieur de la cavité).
- Sur le plan tangent si les graphismes sont sur la surface extérieure du cadran.

Pour les cadrans de berger la déclinaison gnomonique est variable : elle est égale à l'azimut du Soleil. Sur ces types de cadran les styles sont dirigés vers cet astre. Ce point est important pour l'automatisation des calculs.

Son symbole est D ou Dg

Rappelons que l'inclinaison a pour symbole Z, et que sa valeur est celle de la distance zénithale de la normale au plan Horizontal : 0° vertical 90° etc...

2- METHODE ROBERT SAGOT

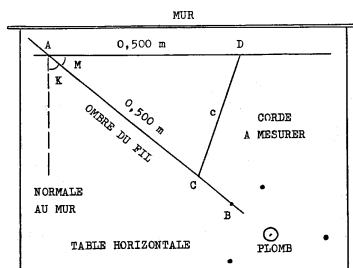


Fig. 3. – Méthode de la planchette.
L'ombre du fil et la corde à mesurer.

- Précision de l'ordre de 1/10 de degré
- Facile à mettre en oeuvre.
- Deux solutions. (Gauche/droite).
- Programmée dans Solarium.

C'est la méthode de l'ombre d'un fil à plomb sur plan horizontal, et du calcul de l'azimut du Soleil d'après l'heure UT exacte et les coordonnées géographiques.

L'angle ombre / mur se détermine en mesurant la corde ombre / mur sur un cercle. Le centre du cercle est placé contre le mur. L'ombre du fil à plomb passe par le centre du cercle.

3- METHODE DE L'AZIMUT PARTICULIER, PARALLELE A UN MUR.

- Très précise (de l'ordre de 5 minutes de degré)
- Rarement possible à mettre en oeuvre.
- Une seule solution.
- Programmes utiles dans Solarium.

Il est nécessaire qu'à une certaine heure de la journée, le Soleil soit contenu dans un plan azimuthal parallèle au plan du mur.

A une extrémité du mur, celle qui se trouvera vers le Soleil on monte un fil à plomb. A 10 cm du mur par exemple. A l'autre extrémité on monte, à la même distance, un œilleton de visée. Il est constitué par exemple d'un trou de 1 à 3 mm dans une feuille d'aluminium. Le trou est percé à l'aide d'une pointe. Un verre de soudeur à l'arc, force 13 est nécessaire pour protéger l'œil. On peut se procurer la feuille d'aluminium simplement en récupérant un emballage alimentaire.

En observant par le trou de visée le passage du Soleil derrière le fil à plomb on note l'heure UT exacte à laquelle le centre du Soleil passe le fil à plomb.

On calcule l'azimut du Soleil à cet instant et l'on en déduit la déclinaison gnomonique du plan.

Cette méthode est théoriquement utilisable avec des astres autres que le Soleil.

Variante :

Soleil dans un plan azimuthal perpendiculaire au plan du mur. La difficulté est de trouver sur le mur où tombe un plan perpendiculaire au mur passant par ce fil à plomb.

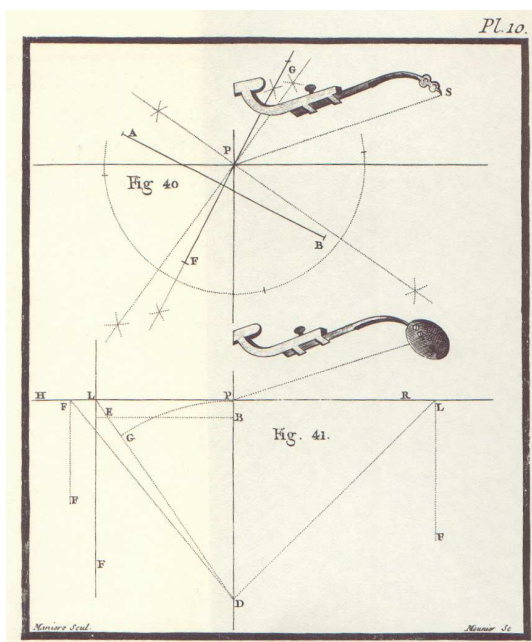
Nous plantons dans le mur un long style droit, bien perpendiculaire à une ligne horizontale du mur. Nous pouvons utiliser une grande équerre de maçon fixée par des chevillettes. Son second côté étant horizontal sur le mur. Nous suspendons deux fils à plomb au style droit, l'un aussi écarté que possible du mur, l'autre aussi proche que possible du mur. Le mur peut ne pas être parfaitement vertical.

Lorsque sur le mur les ombres des fils à plombs se superposent nous notons l'instant exact en Temps Universel

La déclinaison du mur est égale à l'azimut de soleil à cet instant.

4- METHODE DE BEDOS DE CELLE.

Particularité : méthode conçue à une époque où l'on ne disposait pas souvent d'une heure exacte. Décrite dans « La Gnomonique » Bedos de Celle. 1760.



- Précision de l'ordre de 1/2 degré. (Meilleure avec de très grandes planchettes).
- Ne nécessite pas l'heure exacte.
- Déconseillée de 1 heure avant midi jusqu'à une heure après midi.
- Facile à utiliser.
- Programmée dans Solarium.
- Problèmes : pénombre et réfraction.
- Deux solutions (matin / soir) La fausse étant variable.

Il faut disposer d'une planchette avec un style à œilleton. Cette planchette doit être réglée parallèle à une ligne horizontale contenue dans le plan du mur et être verticale.

Soit Gs le style droit, Y et X les coordonnées du point de lumière.

Nous calculons SK le segment œilleton / point de lumière.

$$Sk = \sqrt{Y^2 + X^2 + Gs^2}.$$

Puis h la hauteur observée du Soleil :

$$h = -\text{Arc-sin}(Y / Sk)$$

Nous retranchons de cette hauteur la réfraction Rfa pour un astre observé à cette hauteur :

$$h = h - Rfa.$$

Rfa se trouve dans les tables de navigation maritime ou se calcule.

Puis nous calculons l'angle horaire :

$$H = \text{arc-cos}(\sin(h) - \sin(\varphi) * \sin(\delta)) / (\cos(\varphi) * \cos(\delta))$$

Deux solutions possibles : négatif le matin, positif après midi.

Connaissant maintenant H, δ et φ nous calculons A l'azimut du Soleil.

L'azimut se calcule par la formule :

$$\text{Tan}(A) = \cos(\delta) * \sin(H) / \sin(\varphi) * \cos(\delta) * \cos(H) - \cos(\varphi) * \sin(\delta)$$

Cette formule est sous sa forme à utiliser avec la fonction arc-tangente à deux arguments (présente dans Excel) Elle permet d'obtenir l'angle dans le bon quadrant. L'azimut a le même signe que l'angle horaire et se compte dans l'intervalle -180° à $+180^\circ$.

Calculons b l'angle plan azimuthal / plan du cadran :

$$b = \text{arc-tan}(X / Gs)$$

Nous obtenons Dg la déclinaison gnomonique :

$$Dg = A - b$$



Fig 1 Planchette pour méthode Bedos de Celle.

Nous remarquons les trois vis de réglage et le fil à plomb.

5- METHODE DE L'AZIMUT ET L'INCLINAISON SIMULTANEEES.

- ° Précision de l'ordre 1/2 degré (Meilleure avec de très grandes planchettes).
- ° Automatisation des calculs difficile.
- ° Problèmes de pénombre et de réfraction.
- ° Deux solutions à départager par comparaison de plusieurs calculs.
- ° Programmée dans Solarium.

Plusieurs algorithmiques M. Massé (1998) M. Savoie (cadran info n° 7)

Le problème est le suivant :

Nous mesurons les coordonnées X et Y du point de lumière d'un œilleton sur un plan incliné et déclinant.

X et Y nous procurent deux angles YGK et GKS .

Nous disposons alors de deux équations, avec deux inconnues Z et D.

- $\text{Tan}(YGK) = [\cos(h) * \sin(A - D)] / [\sin(Z) * \sin(h) - \cos(Z) * \cos(h) * \cos(A - D)]$
- $\text{Sin}(GKS) = \cos(Z) * \sin(h) + \sin(Z) * \cos(h) * \cos(A - D)$

YGK est l'angle dit "Azimut sur cadran"

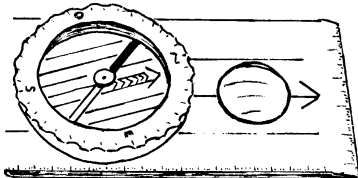
YGK est positif dans le sens anti-horloge, son origine est le segment de droite GY. Partie basse de la PGPD.

Gks est dit "Hauteur sur cadran"

Gks se compte de -90° à $+90^\circ$. S'il est négatif le cadran est non-enseillé.

La difficulté est calculer Z et D connaissant toutes les autres variables

6 - METHODE DE LA BOUSSOLE



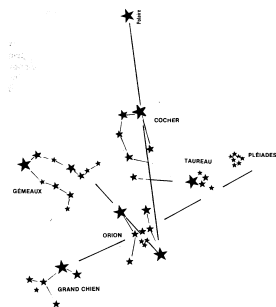
° Précision de l'ordre de 10 degrés. (On peut bien sûr corriger de la déclinaison magnétique du lieu et de l'année).

° Une seule solution.

Il suffit de placer l'aiguille Nord sur le point NORD, de placer la boussole contre le mur, et de lire le nombre tangent au mur.

Il est important de limiter son utilisation à la seule évaluation de la déclinaison gnomonique et éventuellement détecter les erreurs produites par les autres méthodes

7- METHODE DE L'ETOILE POLAIRE.



Elle est utilisable pour orienter, avant de le fixer, un cadran horizontal ou très faiblement incliné. Le style polaire doit être en place et former avec un plan horizontal un angle égal à la latitude du lieu où il est installé.

En plaçant un petit miroir sur cadran on tourne ce dernier de manière à viser la polaire avec le style. Pour que l'Etoile Polaire soit exactement au Nord il faut se souvenir que Kochab (β Petite Ourse) doit être sur une verticale passant par la Polaire, au-dessus, ou en-dessous.

En effet la Polaire est à environ $0^{\circ}44'$ du pôle céleste Nord. Nous pourrions nous aider de la carte du ciel de SOLARIUM, et des coordonnées des astres.

8- CONCLUSION

Le choix de la méthode à utiliser dépend du contexte dans lequel nous devons mesurer la déclinaison gnomonique. Le plus souvent nous serons conduit à dégrossir le problème en utilisant une boussole puis à utiliser la méthode de Robert SAGOT.

Si nous ne disposons pas de l'heure exacte nous utiliserons la méthode de Bedos de Celle. Pour mesurer la déclinaison gnomonique d'un morceau de toit devant une fenêtre ouvrant sur ce dernier nous utiliserons de préférence la méthode d'Yvon Massé. Très rarement nous aurons la chance de pouvoir utiliser la méthode de l'azimut particulier, parallèle au mur.

Remarquons enfin que si le cadran est tenu au mur par des happes ou des pitons on peut faire un réglage très fin même avec une déclinaison un peu hasardeuse.

© Pierre Joseph DALLET novembre 2003 Relu par Paul GAGNAIRE.

UN OUTIL de mesure de la DECLINAISON GNOMONIQUE (P.J. DALLET)

La planchette

Ce modèle de planchette permet des mesures à $1/10$ de degré près. Il est simple à construire et à utiliser. Il est peu onéreux.



Figure 1 La planchette : photo..

La planchette est construite à l'aide de bois contreplaqué, épais d'environ 18 mm. Son rayon sera de préférence de 573 mm ($180 \text{ cm} / \pi$). Ainsi l'angle (extrémité du diamètre) / (ombre du fil) pourra être mesuré à l'aide d'un mètre à ruban métallique. Les dernières versions de SOLARIUM permettent la comparaison, et de détecter une erreur de mesure.

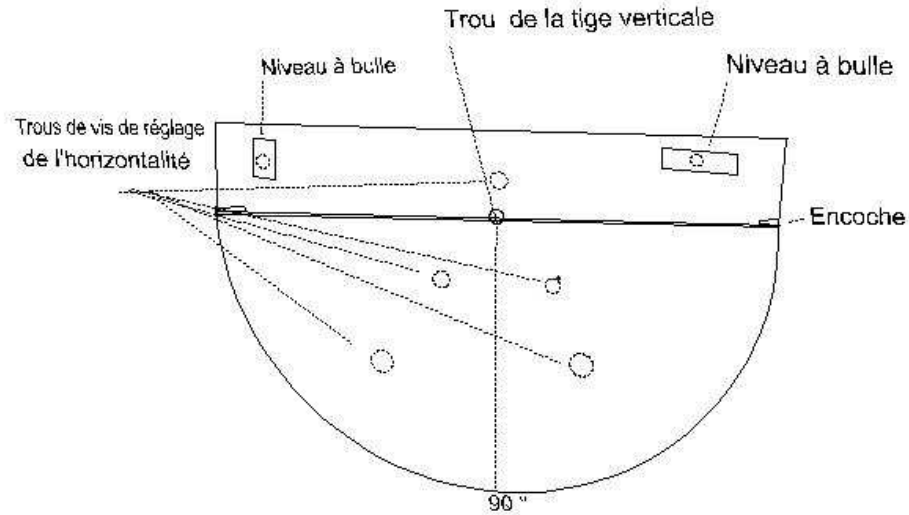


Figure 2 La planchette : schéma.

Si la planchette est bien réussie l'arc entre une encoche et le point « 90° » mesure 90 centimètres. (d'où 1 mm = 1/10° de degré)



Figure 3 La planchette : mesure de l'angle « ombre/mur » au dixième de degrés près.

Elle comporte deux nivelles de niveau à bulle et trois vis de réglage en horizontalité. Les vis de réglage sont des vis de rappel utilisées pour monter les boiseries de lit. Ce sont des vis longues d'environ 80mm, diamètre 8 mm en acier. Leurs écrous en laiton sont vissés dans la planchette, par dessous dans des trous de 13 mm de diamètre.. Cinq écrous sont nécessaires.. Nous pouvons nous faire aider d'un menuisier pour monter la planchette.

Pour son utilisation nous utiliserons une sous-planchette, un peu plus petite, posée sur

n'importe quoi. L'installation doit être stable (Le poids l'immobilise) La planchette doit être bien parallèle au mur (remarquer les cales)

La corde se mesure depuis l'extrémité du diamètre jusqu'au point de l'intersection de l'ombre du fil à plomb et de la circonférence de la planchette.

La corde peut aussi bien être mesurée à partir de l'extrémité gauche du diamètre que de l'extrémité droite. Les longueurs des cordes sont différentes, le résultat des calculs est le même, s'il n'existe pas d'erreur de mesure.



Si le Soleil passe très haut nous serons obligés de fixer le fil à plomb à l'extrémité d'une tige verticale (diamètre 10 mm, longueur 1000 mm) plantée au centre de la planchette. Inévitablement la tige verticale fléchit un peu sous la traction du plomb. Pour palier à ce problème il faut fixer le fil à l'aide d'une rondelle, large, non bloquée, percée près de sa circonférence (voir photo ci-contre).

On s'assure que l'ombre du fil couvre bien la tige verticale de son sommet jusqu'à son pied.

Si le Soleil ne passe pas haut dans le ciel le fil à plomb est maintenu par une potence. Il faut s'assurer que son ombre passe bien par le centre de la planchette.



Figure 4 La planchette: vue générale lors d'un relevé de mur

Il est extrêmement important de ne commettre aucune erreur dans les saisies des données permettant au logiciel SOLARIUM d'effectuer les calculs :

- Les coordonnées géographiques doivent être exactes.
- L'heure, exprimée en temps universel doit être exacte à une dizaine de secondes près. Nous utiliserons l'heure de l'horloge parlante (3699) à laquelle nous retrancherons 2 heures en été ou 1 en hiver.
- La longueur de la corde de l'arc se mesure à l'aide d'un mètre métallique à ruban.
- L'arc de circonférence se mesure avec le même mètre dont on fixe le crampon du bout dans l'une des encoches des extrémités du diamètre. Cette mesure n'est pas indispensable, mais bien utile pour détecter les éventuelles erreurs de mesure.
- Cocher la case précisant à partir de quelle extrémité du diamètre la corde (et l'arc) ont été mesurés.
- Cliquer sur le bouton vert [Calcul de la déclinaison]
- La valeur de la déclinaison s'affiche sur deux lignes : en degrés décimaux et en degrés sexagésimaux.
- En cliquant sur le bouton vert [T] on obtient une page de texte récapitulative des saisies et résultats obtenus. Cette page peut être copiée (bouton vert foncé [copier]) et collée dans une page de Word, pour être exploitée plus tard. (*à partir de la version de juin 2003 de SOLARIUM*)

Exemple de résultats de calculs de déclinaison obtenu en cliquant sur le bouton [T] du logiciel Solarium:

Calculs effectués le 11/06/03 à 15:04:27 par SOLARIUM Le 10 6 2003 à 11 h29 mn17s à Ussel, rayon = 573 mm, corde G 529 mm

Angle ombre / mur donné par la corde : 54.98 ° , Azimut: -12° 19.4' , Déclinaison gnomonique : -47.342 (EST) degrés décimaux. Pour avoir un résultat fiable il faut faire une bonne dizaine de mesures, éliminer les résultats visiblement erronés et faire une moyenne.

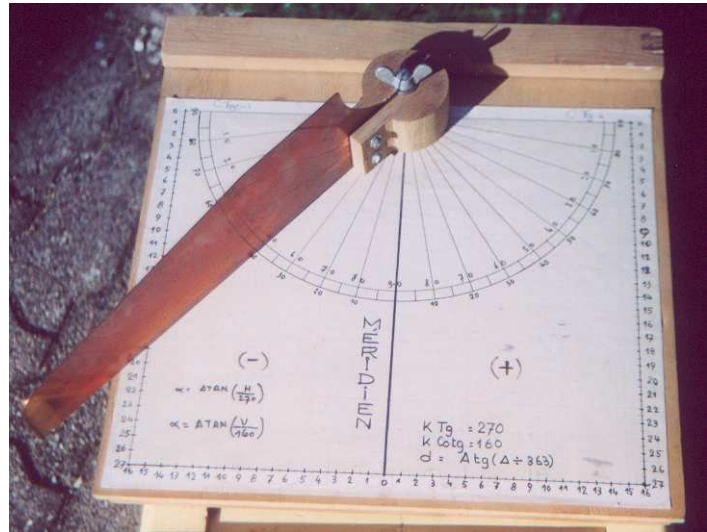
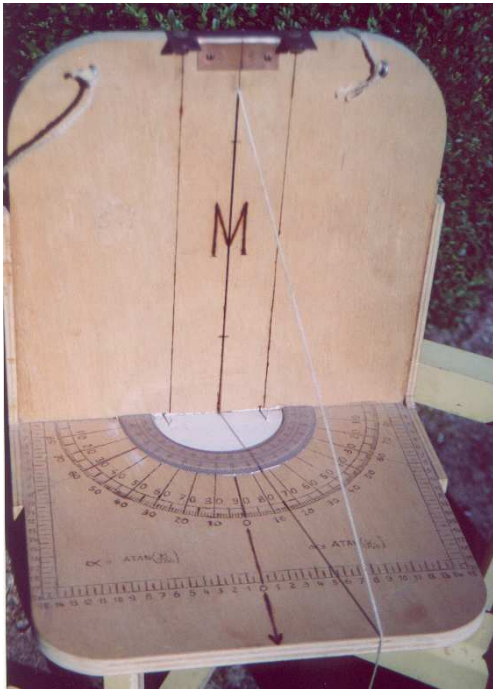
La planchette et l'utilisation d'un GPS procurant l'azimut du Soleil.

Il existe des GPS qui procure l'azimut du Soleil pour le lieu et l'instant d'une mesure des coordonnées géographiques. L'azimut doit éventuellement être transformé pour être compté à partir du SUD, et toujours positivement vers l'OUEST (sens horloge)

Dans ce cas on mesure à la planchette l'angle Rayon-médian / ombre du fil. Cet angle est positif en sens anti-horloge. Le sommet de l'angle est le centre du trou de la tige verticale. L'arc se mesure au mètre à partir de l'extrémité du rayon médian Nommons le B. A étant l'azimut du Soleil, la déclinaison gnomonique DG s'obtient par la formule :

$$DG = A + B$$

Exemples d'appareils de mesure de déclinaison



▲ Mesure par lame orientable

◀ Mesure par l'ombre d'un fil à plomb (Photos Ph. Sauvageot)

Ces deux instruments réalisés par M.Alfred Roth (67 Urbeis), permettent de faire des relevés d' angles et/ou de tangentes.



Vu par Jean Michel Ansel, à un colloque de gnomonistes allemands en 2003. Cet appareil "Le DEVIATOR" servant à la détermination de la déclinaison d'un mur était proposé au prix de 250€.(Photo de JM. Ansel)

TECHNIQUES DE REALISATION DES CADRANS (P.J. Dallet)

Chapitre XIII de "Cadran Solaire de Corrèze"¹ complété de photos de MM Pakhomoff et Dallet

Avant de réaliser un cadran, le gnomoniste se doit à un certain nombre de travaux préalables.

1- Travaux préalables:

- Réaliser une maquette de vérification

Le gnomoniste se rend sur les lieux du projet. Eventuellement détermine les coordonnées primaires du futur cadran : Latitude géographique, longitude géographique, déclinaison gnomonique, inclinaison gnomonique.

Il réalise une maquette, une simple planchette, avec un style et un papier portant les graphisme du cadran. Plusieurs projets peuvent être comparés.

Un ou plusieurs essai sur place permette de vérifier que le cadran est exact.

- Réaliser le porte ombre



Positionnement d'un style à multi pointes :
cadran J. Pokhomoff

Il est dans la pratique extrêmement difficile de placer un style après avoir réaliser les graphismes. Pour les cadrans muraux il est impensable d'envisager la fixation du style après avoir réaliser l'enduit support de cadran.

- Réaliser le poncif.

Le dessin original s'obtient à notre époque par ordinateur. Il est bien évidemment possible pour obtenir des cadrans à la mode 18^e siècle de les dessiner par épure.

Il s'agit de réaliser un papier sur lequel sont tracés, grandeur réelle, les graphismes du cadran. Ce papier est reproduit à la « tireuse de plans » comme pour les plans de maison.

1^{er} cas : Un exemplaire de ce papier sera collé, à la colle en bâton, sur la pierre ou le métal du futur cadran

2^e cas : Un exemplaire de ce papier sera préparé pour être utilisé par un peintre. On perfore le papier à l'aide d'une roulette. Il s'agit d'une roulette de fresquiste. Faute d'en trouver une dans le commerce on utilise une roulette de couturière achetée dans une mercerie. Pour éviter que le papier (on dit poncif) se déchire on ôte à la roulette une dent sur deux. Ensuite

¹ Le chapitre XII " Formules essentielles de Solarium" ne sera pas sera pas publié dans Cadran Info. En effet, depuis la rédaction de "Cadran Solaire de Corrèze" il existe un formulaire sous forme de module pour Excel. Il est présenté sous Word et sous VBA. Le formulaire de Cadran de Corrèze est donc devenu obsolète par rapport à ces documents.

A savoir que les deux formules essentielles de ces documents sont celles qui permettent de calculer les angles GKS (hauteur sur cadran) et YGK (azimut sur cadran). Les démonstrations de ces formules ont été publiées en 1994 dans VADE-MECUM du gnomoniste. Ces deux formules n'avaient auparavant jamais été utilisées en gnomonique contemporaine.

Pour tout renseignement complémentaire ou bien pour se procurer les formules, s'adresser directement auprès de M. PJ Dallet

on ponce les trous pour qu'aucune barbe ne subsiste. Enfin on paraffine le poncif : On frotte le papier pressé contre une plaque thermostatique réglé à environ 100° C. à l'aide d'un pain de paraffine. Puis on éponge les excédant de paraffine avec un chiffon ou du papier à essuyer.

Il faut toujours bien vérifier qu'aucun trou n'est bouché : on place le papier sur le verre d'une fenêtre par exemple et on observe très facilement si les trous sont obturés ou non..

2- Matériaux de réalisation du cadran.

Le coût et la qualité du matériaux détermineront notre choix. Quelle que soit la méthode utilisée nous devons opter pour des matériaux inaltérables. Nous devons envisager que le cadran restera en bon état durant plusieurs siècles. Les matériaux seront donc :

- pierre gravée,
- aluminium, bronze, acier inoxydable gravé,
- lave émaillée,
- peinture à fresque (mortier de chaux frais),
- morceaux de céramique collés sur l'avant dernière couche de l'enduit d'un mur, métaux inoxydables..
- rainure dans un enduit de bonne qualité garnie de mortier coloré.

Le coût de la réalisation nous guidera dans le choix.

Le style doit pouvoir être facilement restauré. Pour cela le style polaire est simplement emboîté dans un trou. La longueur du style droit (distance du style point de sa projection) est gravée à coté de son pied.

Les plastiques, le bois, les plaque en ciment sont à rejetés.

Quelques remarques:

- La pierre gravée :



Pierre de Bourgogne de Serge Verdin,
tailleur de pierres à Villalier
(photo de J. Pakhomoff)

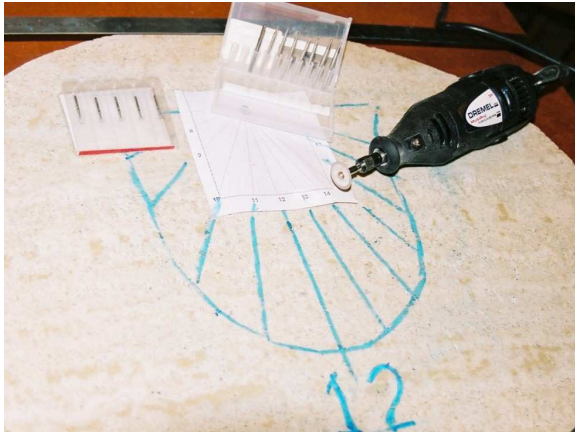
Nous achèterons les plaques de pierre chez un marbrier décorateur d'intérieur de maison. Elles se découpent à l'aide d'un disque de 22 cm de diamètre, au diamant. La gravure des lignes s'ébauche facilement avec un disque diamant de 11.5 cm de diamètre.

La finition se fait au ciseau de graveur. On peut aussi utiliser des « fraises » diamant montées sur une mini -perceuse (type Drémel). Les canaux se peignent à l'aide d'un liant acrylique (ex. Rustol) mélangé à des pigments vendus pour colorer les mortiers. Nous serons contraints d'étudier les pigments de manière à être capables de les choisir d'une façon raisonnée.

Les bavures débordant des canaux s'enlèvent à l'aide d'un os de seiche, vendu par les oiseleurs. Les pierres peuvent être poncées à l'aide de disques montés sur une petite disqueuse (11.5 cm) ou mieux sur une ponceuse à pierre qui est le même outil tournant beaucoup moins vite.

Le polissage demande un outillage plus complet : Ce sont des gammes de meules ou des disques, grains de 100 à 600, par échelonnements de 100 en 100. Le polissage final se fait à l'aide d'oxyde d'étain..

Un artisan tailleur de pierre (monument funéraire) pourra réaliser le cadran d'une autre manière : il grave par sablage. La pierre est alors recouverte d'un « stencil » sorte de revêtement épais, facile à découper, résistant au sablage. Le poncif du cadran est collé sur le stencil et les lignes sont découpées. Le sable, du corindon très fin est soufflé sur le stencil, dans une chambre spéciale. La pierre est creusée et peut être peinte. Ce procédé permet aussi de graver des plaques en verres.



Gravage et polissage sur pierre: photo PJ. Dallet

Pour accrocher une pierre à un mur il faut lui fabriquer un support : trois morceaux de fer plat, un horizontal, deux verticaux soutenant un fer en U. Ce support se fixe au mur par vis et chevilles. Le haut des fer plat doit comporter des attaches dont on serre les vis pour immobiliser la pierre. La pierre est à poser dans le U, les attaches du haut à serrer. Evidemment il faut placer le cadran assez haut pour ne pas se le faire voler.

Après avoir placé le style dans la pierre on fixe soigneusement le poncif. Attention les lignes verticales et horizontales servant à positionner le style doivent figurer à la fois sur la pierre et sur le poncif. Elles doivent coïncider. Sur une pierre le report se fait de deux manières :

- En utilisant un poncif perforé : à l'aide de peinture acrylique en suspension aqueuse. On place correctement le poncif et avec un pinceau de peintre en bâtiment on tamponne les trous des ligne très soigneusement. Montre en main l'auteur a réalisé de report en une minute. Cette méthode de report est donc extrêmement rapide.
- En collant le papier sur la pierre à la colle en bâton. Ensuite, lorsque la colle est sèche nous gravons la pierre à la disqueuse Disque de 110 mm, diamant.

Les grands cadrans sur des surfaces non définies géométriquement tel qu'un rocher s'obtiennent en plaçant le style droit, puis en attachant au rocher le cadre d'un plan. Le calcul des lignes se fait pour le plan et le style droit ainsi défini. Les lignes du cadran plan se construisent à l'aide de fils métallique fins. Ensuite nous attacherons un fil au sommet du style droit et nous obtiendrons les « projections » sur le rocher.

On peut utiliser la lumière d'un rayon LASER, le sommet du style droit, et le traditionnel poncif.

- Le métal gravé.

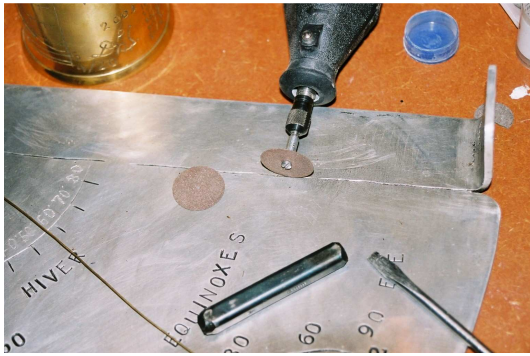


Photo PJ. Dallet

Nous ne parlerons ici que des cadrans nécessitant peu de moyens. Il faut penser qu'en métal on peut utiliser la technique des pièces de monnaie, le moulage en fonderie, les réalisations par des machine outil, etc..

A notre échelle, celle du gnomoniste disposant d'outil peu coûteux nous procéderons de la façon suivante :

Nous obtenons le dessin des graphismes, à l'ordinateur par exemple. Le logiciel SOLARIUM procure des dessins pouvant être utilisés sur de cadran coniques, cylindrique ou sphérique.

Le papier est collés à la colle en bâton sur les surfaces à gravée.

A travers le papier le métal est gravé au disque à tronçonner monté sur une mini perceuse. Les caractères seront graver à la fraise ou à la marque à frapper.

Après avoir décoller le papier, en le mouillant tout simplement, un second passage au mini-disque à tronçonner sera effectuer pour affiner les gravures.

Nous devons ensuite patiner les gravures. Nous mélangeons moitié- moitié un liant (Rustol) et des pigments en poudre, terre d'ombre (De Ombres localité en Italie) Oxyde de chrome (vert colorant à mortier) ou autre. Avec un petit chiffon nous bourrons les sillons de la crème ainsi obtenue. Le métal non gravé est alors souillé de traces de cette peinture. Après quelques heures de séchage, à l'aide de papier à essuyer et de poudre du pigment utilisé on frotte les traces de peintures que l'on ne veut pas conserver.

Il est à remarquer que le vert oxyde de chrome est connu pour être un très bon produit à astiquer le cuivres et bronzes.

- La fresque.

C'est une méthode qui doit être longuement apprise. Elle consiste à peindre sur un mortier de chaux frais à l'aide d'un mélange crémeux de pigments et d'eau de chaux (ou de lait de chaux)

La couche de mortier de chaux sur laquelle on peint est mise en place chaque jour, de manière à obtenir qu'elle suinte de l'eau de chaux. La chaux en se carbonatant fixe les pigments. Le liant, carbonate de calcium, est pratiquement transparent. Une fresque à l'abri de la pluie et du gel peut tenir plusieurs siècles.

La chaux doit être de la chaux grasse éteinte (chaux agricole éteinte ou chaux en pâte à fresque). Elle doit être dosée de manière à n'occuper que les espaces entre les grains de sable. Cet espace peut se mesurer en comblant d'eau 1 litre de sable sec. Pour 1 volume de sable il existe environ ½ volume de libre entre ses grains.

La fresque se fait sur trois couches de mortier, avec du sable de plus en plus fins. Deux sont réalisé la veille du jour du travail du peintre et la troisième le jour même Le sable de la couche peinte doit être passé au tamis « farine ».. L'épaisseur de la couche à peindre est de 1 à deux ou trois millimètres.

Le mécanisme de la fresque est l'emprisonnement des pigments dans une fine gangue de calcaire (CO₃Ca). La chaux éteinte (Ca(OH)₂) est soluble dans l'eau (H₂O) tant que sa concentration est faible, environ 3 %. Le mortier de chaux secrète de l'eau de chaux (eau saturée de chaux éteinte), la chaux se combine avec le gaz carbonique (CO₂) de l'air pour former du calcaire qui fixe les pigments (On écrit :Ca(OH)₂ + CO₂.→ CO₃Ca + H₂O) Une partie de ce calcaire serait de la calcite, transparente. Il faut donc faire très attention que le

mortier sèche durant plusieurs jours de l'eau de chaux. On peut fabriquer de l'eau de chaux en laissant décanter du lait de chaux et en le filtrant. A l'aide d'un pulvérisateur de jardin on peut humidifier la fresque en l'arrosant d'eau de chaux. S'il fait chaud et que l'eau du mortier se soit évaporée le mécanisme de fixation des pigments ne peut pas avoir lieu. Les fresquistes protègent leurs peintures en plaçant devant elle des serpillières humides durant quelques jours. Le mortier ne doit contenir ni ciment ni plâtre car le mécanisme de durcissement n'est pas le même.

- La céramique incrustée dans l'enduit d'un mur.

Les morceaux de céramique incrustés dans l'enduit d'un mur vertical est la méthode la plus à la portée du réalisateur occasionnel. Il faut fixer le style droit, à son pied on pose un mètre métallique horizontalement pour servir d'axe des x, l'axe des y sera matérialisé par un second mètre métallique monté en fil à plomb. Les coordonnées des points des lignes étant cartésiennes il est facile de dessiner le cadran sur l'avant dernière couche de l'enduit. les éventuels tracés erronés seront cachés par l'enduit final. Ensuite nous découperons dans du carrelage des bandelettes large d'environ 2cm, à l'aide d'une scie au diamant à eau. Comme le font les carreleurs nous collerons ces pièces pour former les lignes. Nous finirons les joints, et nous recouvrirons ces ligne de papier « crépons » pour les protéger. Le maçon termine l'enduit final, à la « moulinette » par exemple. Le cadran est fini.

- Rainures dans l'enduit du mur.

L'emplacement des lignes est obtenu par un poncif ou point par point en coordonnées rectangulaires. Dans ce dernier cas on utilise un mètre métallique démonté, fixé horizontalement au mur pour matérialiser l'axe des x. L'axe des y est alors obtenu par un mètre métallique monté en fil à plomb, accroché au mètre axe des x.

L'enduit devra être lisse et pouvoir être poncé

Les lignes sont tracées à la craie puis creusées à la disqueuse. On utilise pour cela une disqueuse très peu puissante 400watt par exemple, avec un disque diamant de 110 mm.

Les chiffres et autres caractères pourront être réalisés au ciseau de graveur ou peints. Le mortier de garnissage sera coloré à l'aide de pigment haute performance, de manière à ne pas se décolorer au soleil ou en réaction avec le mortier. Le plus simple sont vendus sous le nom de colorant à mortier. En bleu nous utiliserons un bleu de cobalt.

3- Lisibilité du cadran.

On peut estimer que les renseignements procurés par les graphismes ainsi que les caractères doivent être lisibles sans difficulté à une distance égale à environ dix fois la grande diagonale du cadran. Seuls de nombreux essais comparatifs peuvent conduire à un choix judicieux et limitatif des graphismes.

Lorsque les lignes du cadran sont trop nombreuses il ne faut pas hésiter à en peindre une catégorie d'une couleur proche du fond. Bien souvent seule une dizaine de lignes et les textes sont à laisser avec une couleur contrastante.

4- Les pigments.

Pour être un **pigment** une matière colorante doit par définition, être insoluble dans le milieu dans lequel elle est incorporée. Dans le cas contraire il s'agit d'un colorant.



Photo PJ. Dallet

Le pigment relevant de la chimie minérale ou « **minéraux** » (comme le sulfo-séléniure de cadmium) sont dit **TERRES** ceux relevant de la chimie organique (comme la paraffine) sont dits **ORGANIQUES**.

Dans le deux cas ils peuvent être **naturels** (issus du sol, d'animaux ou de végétaux) **ou de synthèse** (fabriqués par la chimie).

Exemple

- Le « rouge de cochenille » est un pigment naturel organique. (non utilisable en fresque)
- Le vermillon (sulfure de mercure) est un pigment naturel ou de synthèse minéral. (non utilisable en fresque)
- Le jaune de Naples (antimoniote de plomb) est un pigment naturel ou de synthèse minéral. (non utilisable en fresque)
- Le Rouge DPP est un pigment de synthèse organique (utilisable en fresque)

A notre époque les pigments existant à l'état naturel sont malgré tout fabriqués industriellement pour des raisons de constance de la qualité du produit fini. Le coût du produit synthétisé peut ainsi être bien inférieur à l'équivalent naturel.

- Précaution d'utilisation.

Il n'existe plus actuellement de pigments toxiques en vente en France. Même les peintres professionnels parfaitement conscients des précautions à prendre, ne serait-ce que pour les étudier, ne peuvent pas s'en procurer.



Nuancier PJ. Dallet

- Bleu outremer; Vert oxyde de chrome; Terre verte.

- Ocre jaune; Ocre brun; Ocre rouge.

Les pigments simplement nocifs en cas d'usage longuement répété sont progressivement retirés de la vente en France, mais pas chez certains de nos voisins, chez qui nous pouvons nous en procurer.

Les formules chimiques des pigments sont de plus en plus soustraites à la connaissance du public. Ceci rend difficile aux médecins de savoir comment soigner les personnes qui seraient malades à la suite de leurs utilisations.

Ceci implique donc quelques règles de manipulation :

Ne jamais s'enduire la peau de pigment, pour se déguiser par exemple. Manipuler les pigments à l'aide de spatule spécialement affecté à cet usage. Ne pas mettre des pigments en contact avec la peau, ne pas les ingérer.

Préparer juste les doses à utiliser de manière à ne pas n'avoir à jeter que de toutes petites quantités. On prépare par exemple ces peintures dans des petits pots en verre que l'on porte à la déchetterie périodiquement.

- Comment choisir un pigment.

- Terre d'ombre naturelle; Terre d'ombre calcinée; Noir de fer.

- Bleu cobalt royal; Bleu cobalt ciel; Bleu cobalt vert

- Jaune de cadmium; Rouge de cadmium; Bordeaux de cadmium (c'est un marron).

- Violet de dioxazine; Bleu de phtalocyanine; Vert de phtalocyanine.

- Vert oxyde de chrome hydraté; Vert d'azométhine; Jaune vanadate de bismuth.

- Rouge D.P.P; Rouge dibromoanthranthone; Magenta de quinacridone.

Par le prix : Il varie dans la proportion de 1 à 100. (au kg 5 à 500 Euros en l'an 2000)

Par la couleur que l'on a choisie.

Après ces deux critères nous seront contraint de choisir des pigments :

- Qui ne se décolorent pas au Soleil,
- Qui ne changent pas de couleur en milieu alcalin, afin qu'ils soient stables pour la fresque.

Deux tests ont été effectués pour établir la liste donnée ici :

Des caractères ont été peints sur une plaque de mortier de chaux. La plaque a été exposée au Soleil durant 6 mois. Une moitié des caractères était masquée. En comparant les deux parties il est facile de savoir si le pigment se décolore.

Résistance au milieu alcalin : Un échantillon a été mélangé à de la soude (NaOH) et si le pigment a changé de couleur il n'est pas cité ici.(Il y a une exception : le rouge de molybdène.)

Les pigments doivent être achetés purs, en poudre. Leur nature chimique doit être déclarée et garantie par le fournisseur.

Les marchands de pigments pour artistes peintres ont parfois le fâcheux usage de porter sur l'étiquette le nom du produit à l'origine de la couleur. Ce n'est pas celui du produit chimique contenu dans le flacon. Exemple « Vermillon » sur un flacon contenant non pas du sulfure de mercure mais du rouge de cochenille. Cet usage n'est pas celui des fournisseurs de pigments pour l'industrie.

Chacun peut tester la résistance du pigment au milieu alcalin, voici comment : Placer du pigment, gros comme quelques grains de riz, au fond d'un verre. Ajouter environ une cuillerée à café d'eau additionnée de tensioactif, type "à vaisselle", puis autant de lessive de soude caustique de droguiste (NaOH), en solution non diluée, bien mélanger. Si le pigment est décomposé, immédiatement ou en quelques heures, il est, a priori, inutilisable pour la fresque. Pour avoir la preuve que le pigment est décomposé par la chaux, refaire le même test en remplaçant la soude par du lait de chaux, l'éventuelle décomposition peut demander un mois.

- Pigments peu onéreux à l'achat

Les bleus outremer.

Leurs formules chimiques sont très complexes, ce sont des sulfo-silicates d'aluminium et de sodium avec quelques variations d'un outremer à l'autre.

Il sont décolorés par les acides, par les sulfates des ciments, mais résistent bien à la chaux et à la lumière du Soleil. A l'état naturel, c'est la poudre d'une roche semi-précieuse, nommée lapis-lazuli, exploitée depuis les temps les plus reculés, dans un site de l'Afghanistan. Il n'en existe plus préparées en pigments. Il existe maintenant de l'outremer artificiel, de même nature chimique, qui est d'un bleu plus pur que le naturel, et peu coûteux.

Les gnomonistes peuvent s'en procurer chez les fournisseurs de pigment pour l'industrie. Ses cristaux sont transparents, il faut le mélanger à du blanc de titane

L'Oxyde de chrome vert (Cr_2O_3).

C'est une poudre verte, toujours insoluble, dure et réfractaire. Il peut être acheté dans les grandes surfaces (Colorant à mortier).

La terre verte, ou terre de Vérone.

Aluminosilicate hydraté de fer et de magnésium. Son vert olive, assez sombre, donne une patine aux cadrans. assez faible.

Ocre jaune (Fe O OH , n H_2O , terre de Sienne, ocre du Berry, du Vaucluse, de Bourgogne, de ru)

C'est la plus simple ; cette terre est remarquablement peu dense. Nous pouvons nous la procurer comme l'ocre rouge.

Terre de Sienne.

C'est une ocre d'un beau beige. Elle peut être naturelle ou, un peu plus sombre, brûlée.

Ocre rouge

Elle est obtenue en chauffant vers 250° de l'ocre jaune. Elle est utilisée pour les bâtiments et elle peut être achetée dans les grandes surfaces

Terre d'ombre. (de Ombres, localité en Italie)

C'est une ocre contenant de l'oxyde de manganèse. Elle est presque noire. Elle peut être naturelle ou, un peu plus sombre, brûlée.

C'est cette poudre qui semble le mieux convenir pour tamponner le poncif et reporter le dessin sur la chaux.

Les Ocres.

Du grec ôkhra, terre jaune. Ce sont des roches et non des espèces minéralogiques. Elles sont constituées d'oxyde ferrique (Fe_2O_3), plus ou moins hydraté, fixé sur un complexe de silice et d'alumine hydratée.

Leurs teintes varient du rouge sombre au jaune sale en passant par toute une gamme de bruns variant avec les impuretés qu'ils contiennent.

A l'état naturel on trouve facilement de l'ocre rouge (hématite, minéral de fer, USA région des Grands Lacs) et de la limonite (minéral de fer de la Lorraine). Les hommes préhistoriques ont utilisé ces pigments, par exemple dans les grottes de Lascaux.

Les ocres donnent un aspect patiné, ce qui convient bien aux cadrans.

Elles sont vendues comme « colorant à mortiers » dans les grandes surfaces.

Oxyde de fer rouge (Fe_2O_3 à 97 % et silicate d'alumine).

C'est un très bon rouge, utilisé aussi par les céramistes. Pour les cadraniers, il peut être acheté dans les grandes surfaces.

Le rouge de molybdène (dit aussi « vermillon de chrome »).

Contient du molybdate de plomb.

Il se décolore en milieu alcalin, mais en peinture acrylique il est de bonne qualité pour peindre les canaux des pierres gravées.

Le blanc de titane. (TiO_2).

Il est utilisé en mélange. Il sert à réfléchir la lumière lorsque les pigments sont des cristaux transparents. Il sert aussi à atténuer l'intensité de la couleur du pigment. Il peut être acheté dans les grandes surfaces .

Le blanc de saint Jean (CaCO_3 °).

Autres noms : carbonate de calcium, blanc d'Espagne, blanc de Meudon, poudre de marbre...

Le noir d'ivoire ($\text{CaPO}_4 + \text{C}$, Noir d'os, noir animal).

C'est de la poudre d'os calciné : phosphate tricalcique et carbone. C'est le plus intense des noirs. Il sert beaucoup à peindre les lettres et les chiffres des cadrans.

Le noir oxyde de fer (Fe_3O_4 , noir de fer, noir de Mars, noir à colorer les mortiers). C'est un très bon noir. Il peut être acheté dans les grandes surfaces .

- Pigments minéraux, « moyennement coûteux à l'achat ».

Les rouges de cadmium (CdS + CdSe).

Sulfure de cadmium mélangé à du séléniure de cadmium. Ses couleurs varient du rouge vif, au pourpre toujours, très vif. Certaines variétés contiennent des traces de sulfure de mercure (HgS) (à rejeter). Nous rappelons que le sélénium est un métalloïde très voisin du soufre.

Les jaunes de cadmium (CdS : Sulfure de cadmium).

Ses couleurs varient, du jaune citron à l'orange. Les variétés claires peuvent contenir des traces de sulfures de zinc, les orangées des traces de sulfures de mercure, ou de chromate de plomb. Les couleurs sont très vives. Il sont à utiliser avec prudence, le sulfure de plomb (galène, noire) se formant facilement en exposition ensoleillée..

Le bordeaux de cadmium.

C'est un bordeaux « terreux », couleur donnant un aspect patiné.

CdS + CdSe : Sulfure de cadmium mélangé à du séléniure de cadmium. Il contient une forte proportion de séléniure de cadmium.

Les sels de cadmium.

Cadmium vient du grec cadmeia, minerai de zinc extrait près de Thèbes, cité de Kadmos.

C'est un métal découvert en 1847 par Stromeyer, pharmacien de Hanovre. Il ressemble, par son aspect et ses propriétés physiques et chimiques, au zinc et à l'étain. C'est un sous-produit de la métallurgie du zinc. On le trouve à l'état naturel sous forme de sulfure, la greenockite. Le fait que ces sels soient des sulfures est à noter et a une grande importance. En effet, il est possible de mélanger les sulfures entre eux, mais pas avec d'autres sels : ils se décomposent et changent de couleur. De même il faut remarquer qu'en atmosphère polluée, ils ont la réputation de noircir. Il doivent être soigneusement testés, il semble qu'il leur est parfois incorporé des sel de plomb ce qui est sans inconvénients pour les artistes peintres, mais désastreux pour les cadraniers.

- Pigments onéreux.

Ils sont parfois « organiques » c'est à dire dérivés d'hydrocarbures complexes.

Le magenta de quinacridone.

C'est un produit complexe de la chimie organique.

Il s'agit d'un pourpre, on préfère dire « magenta » essentiel pour obtenir toute une gamme de rouges et de violets. Il est parfaitement stable, à la lumière et au milieu alcalin.

Colour index : pigment rouge 122 CI 73915.

Le rouge de dibromoanthranthone (dit « géranium »)

C'est un pigment de la chimie organique c'est à dire dérivés d'hydrocarbures complexes

C'est un très beau rouge. Son seul défaut est d'avoir un nom « à coucher dehors avec un billet de logement ». ses cristaux sont transparents, donc à utiliser avec du blanc de titane.

Colour index : pigment rouge 168 CI 59300.

Le rouge D.P.P.

Les trois lettre D.P.P.représente l'appellation anglaise de la structure chimique : diketopyrrolo –pyrole.

Il présente une excellente solidité à la lumière et une très bonne résistance aux intempéries. Il résiste à des températures de l'ordre de 500°.

Le jaune vanadate de bismuth.

C'est incontestablement le meilleur des jaunes.

Le vert jaune d'azométhine.

Sa qualité est d'être très stable. Il est aussi composé de cristaux très transparents

Colour index : pigment yellow 117 et 129.

Oxyde de chrome vert hydraté.

$\text{Cr}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, Vert Guignet, Viridian.

En le chauffant, vers 250 ° C, il devient l'oxyde de chrome Cr_2O_3 ordinaire. Dans des conditions normales il est pratiquement inaltérable.

Le vert de phtalocyanine.

C'est un pigment dérivé du bleu par substitution d'atomes d'hydrogène par des atomes de brome. Il n'est pas encore bien connu.

Colour index : pigment vert 7 CI 74260.

Le bleu phtalocyanine.

Ce pigment très complexe est fabriqué en si grande quantité que son prix n'est pas élevé. Il contient un atome de cuivre ce qui fait que mélangé à des sels métalliques il peut changer de couleur à la suite du déplacement de cet atome.

C'est le bleu utilisé pour fabriquer les encres indélébiles. Il est lipophile, pour la fresque il faut donc le mouiller à l'aide d'un tensio-actif non ionique. Il est à mélanger au blanc de titane dans la proportion de 1 à 50.

Colour index : pigment bleu CI 74160.

Les bleus cobalt.

CoAl_2O_4 : aluminat de cobalt. Bleu Thénard, bleu de Leyde, bleu royal.

Existent depuis 1804 (Thénard). Inconnus à l'état naturel. Ce sont d'excellents pigments, indestructibles, parfaitement utilisables pour les cadrans solaires.

Il en existe trois : bleu ciel, bleu royal et bleu / vert.

Les sels de cobalt.

Cobalt vient de Kobold, diable des légendes allemandes. C'est un métal proche du fer, et surtout du nickel. A l'état naturel on trouve son minerai la smaltine, qui est un arséniure de cobalt.

Le violet de dioxazine

En teinte pur il semble être un noir. C'est le seul véritable violet. Il convient aussi bien pour la fresque que pour l'acrylique. Il est à mélanger au blanc de titane dans la proportion de 1 à 100.

Colour index : pigment violet 23 CI 51319.

- Mélanges de pigments permettant d'obtenir toutes les couleurs

Ils permettent d'obtenir toutes les teintes en les mélangeant. Il en faut seulement trois ou quatre, et du blanc de titane et de noir d'os ou de fer.

Violet à bleu.

Nous utiliserons un mélange de **violet de dioxazine** et un **Bleu cobalt royal** (Aluminat de Co) pur.

Bleu au vert, puis du vert au jaune.

Nous composerons des mélanges de **Bleu cobalt** et de **jaune vanadate de bismuth**. Bien entendu, nous penserons à utiliser le vert oxyde de chrome, peu coûteux, qui peut être mélangé au bleu cobalt, et au vanadate.

Jaune à l'orange, puis de l'orange au rouge foncé.

Nous utiliseront du jaune **vanadate de bismuth** mélangé à un rouge

Les rouges peuvent être: le rouge **dibromoanthranthrone** (dit "géranium") ou le rouge **D.P.P.** (Diketopyrrolo-pyrrole).

Rouge à pourpre (on dit « magenta »).

Nous mélangerons les rouges cités juste ci-dessus et du **Magenta de quinacridone**.

Magenta à violet.

Nous utiliserons un mélange de **Magenta de Quinacridone** et du **violet de dioxazine**.

Exemple de réalisation de cadran réalisé par JM. Ansel

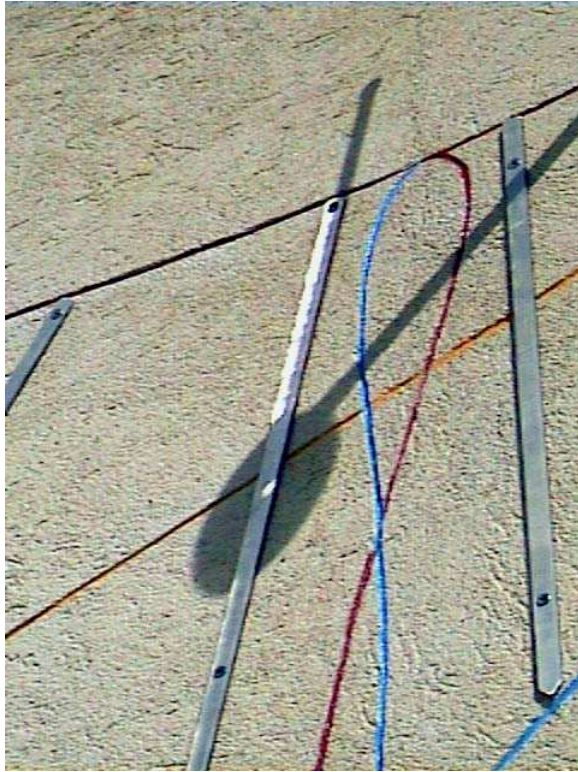


Photo J.M Ansel

Cadran solaire déclinant Ouest 42°
incliné 88° Chalet "Chanteneige" (association)
à Crest-Volant 73590

Latitude $45^\circ 47' 30''$

Longitude $6^\circ 30' 50''$ Est.

Logiciel Dallet SOLARIUM, réalisé du 11 au 14
septembre 2003 par Ansel JM © ADAGP.

Lignes des solstices et équinoxes
peintes pourpre pour HIVER, jaune orangé
pour ÉQUINOXE et bleue pour ÉTÉ.

Lignes horaires T.V.L de 10 à 20h en
plat de laiton, les chiffres (book antika)
peints.

Courbe de Fouchy Bleue ascendante
et pourpre descendante pour 12 h TU.

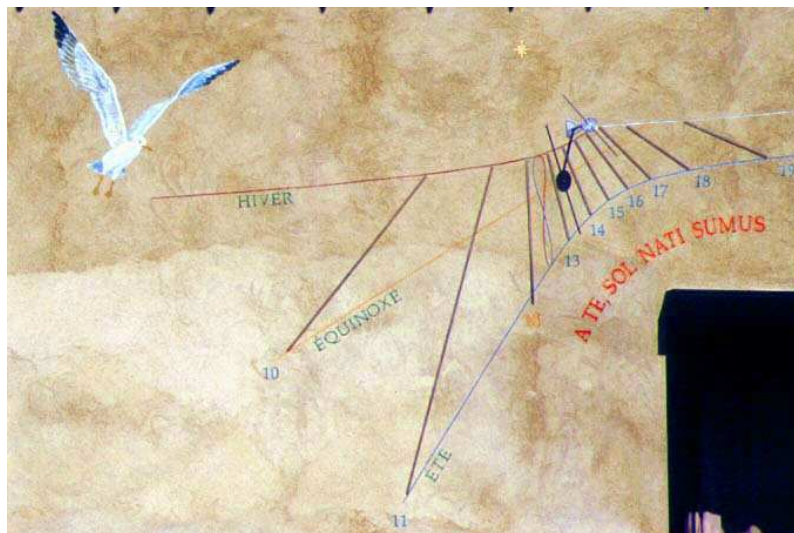
Style polaire en acier inox pourvu d'un
disque percé d'un œilleton de 6 mm.

Sur le mur, alignée dans l'axe du style
polaire est peinte une étoile dorée à la feuille.

Devise "A TE, SOL NATI SUMUS" (de toi Soleil nous sommes nés).

Un goéland naturel survole l'espace gauche du cadran. Signature: FECIT J.M.A.

Une plaque de laiton gravée résume l'essentiel.



Les CADRANS SOLAIRES protégés par la LOI (P. DECIRON)



Vestige de cadran dans l'Orne

La loi du 19 octobre 1971 (décret n°71.858) permet d'instituer dans chaque département une Commission Départementale des Objets Mobiliers. Elle est chargée auprès du préfet de veiller à la protection des objets mobiliers du département. Ces objets doivent avoir un intérêt du point de vue historique, de l'art, de la science ou de la technique, pour rendre désirable la préservation et l'intervention toutes les fois que ces biens se trouvent menacés. Elle est chargée d'émettre un avis sur les propositions d'inscription sur l'inventaire supplémentaire des objets mobiliers.

Rôle de la Commission Départementale des Objets Mobiliers :

La commission a pour mission d'étudier et de proposer avec le concours des services compétents de la Direction de l'Architecture toutes mesures propres à assurer la conservation des objets concernés, de susciter et d'entretenir dans l'opinion un état favorable à la sauvegarde de ces objets mobiliers. La commission donne un avis sur les projets de transfert, cession, modification, réparation ou restauration d'objets mobiliers inscrits sur l'inventaire soumis à la déclaration préalable de l'administration (L31 décembre 1913).

D'une façon générale, la commission donne son avis sur toutes les questions dont elle est saisie par le ministre ou le préfet.

Compétences relatives aux mesures de protection des objets mobiliers :

Sont concernés:

° Les objets mobiliers (et immeubles par destination) dont au terme de la loi, la conservation présente un intérêt public du point de vue de l'histoire, de l'art, de la science ou de la technique.

° Les documents d'archives détenus par les particuliers et dont la conservation présente également un intérêt public du point de vue de l'histoire nationale (loi du 17 juin 1938).

Compétences des préfets:

1- Propositions de classement

Le préfet du département recueille l'avis de la commission départementale des objets mobiliers. Il transmet ensuite ces propositions de classement au préfet de région, lequel les transmet au ministre de la culture.

2- Inscription sur l'inventaire supplémentaire

Cette procédure d'inscription à l'échelon du préfet du département concerne les objets mobiliers, ou immeubles par destination appartenant à une personne morale de droit public ou à une association culturelle, et présentant du point de vue de l'art, de l'histoire de la science ou de la technique, "*un intérêt suffisant pour en rendre désirable la préservation*".

3- Procédure d'inscription

L'inscription sur l'inventaire supplémentaire à la liste des "objets mobiliers classés" est prononcée par arrêté du préfet du département après avis de la commission départementale des objets mobiliers et notifiée par les soins du préfet aux propriétaires ou détenteurs de l'objet inscrit.

Procédures consécutives à l'inscription:

Le préfet est chargé de dresser la liste des objets mobiliers du département inscrits sur l'inventaire supplémentaire, de la tenir à jour et de la déposer à la conservation départementale des antiquités et objets d'art, ainsi qu'au Ministère de la Culture. Il reçoit la déclaration que doit obligatoirement faire à l'administration le propriétaire ou détenteur d'un objet mobilier inscrit, avant toute opération de transfert, cession, modification, réparation ou restauration concernant un tel objet. S'il le juge utile, le préfet peut soumettre de telles opérations à l'avis préalable de la Commission Départementale des Objets Mobiliers.

Expérience et conseils

Voilà en gros, ce qui concerne la Loi ou son esprit. En ce qui concerne la Sarthe, je suis le rapporteur aux '*Objets relatifs à la mesure du temps*', dans la Commission Départementale des Objets Mobiliers. Ceci concerne les cadrans solaires (on s'en douterait), les horloges anciennes et l'art campanaire dont j'effectue le recensement.

Lors de la commission qui s'est réunie le 8 octobre 2002 nous avons ainsi inscrits et proposés au classement les cadrans de Bollée, à savoir les trois connus : Asnières-sur Vègres, Le Mans Jardin des plantes et Square R Triger, ainsi que des horloges de clochers du XVI et XVIIème. D'autres cadrans suivront selon l'intérêt de l'objet.

Si vous voulez entreprendre une action

Je ne peux que vous conseiller de vous mettre en rapport avec le Conservateur des Antiquités et Objets d'Arts de votre département à la Préfecture, pour connaître la liste des cadrans solaires inscrits ou classés à l'inventaire. En plus il faudra soumettre votre projet à l'Architecte des Bâtiments de France de votre département, pour les réhabilitations et susciter l'intérêt des services du Patrimoine de votre Conseil Général. Des bons rapports entre tous ces acteurs, viennent parfois la lumière ou l'ombre. Il est souvent préférable de réaliser les travaux avant de demander le classement, ou l'inscription.

En ce qui concerne la Sarthe j'ai d'abord constitué une Association il y a plus de 10 ans, qui effectue le recensement des objets relatifs à la mesure du temps, c'est le premier travail, le plus ingrat, le plus long. Ensuite cette association est devenue 'conseil' auprès des administrations concernées, et a obtenu des fonds pour participer à la réhabilitation de cadrans en voie de disparition. Il n'existe pas de recette particulière, les choses viennent toutes seules, ou ne se font jamais. Il faut noter que le manque de crédits dans les nouveaux budgets pour le patrimoine et la culture, ne permettent plus d'envisager de nombreuses interventions. Mais pour le financement tout dépend des départements, avant 2003 notre association établissait un dossier sur la base suivante : 1/3 pour le propriétaire (commune ou particulier), 1/3 subventions, Conseil Général, DRAC parfois, 1/3 fourni par l'association. Cette répartition d'ailleurs est assez variable, dans des cas particuliers l'association ou le département peuvent donner des sommes plus ou moins importantes.

Faites attention de ne pas inclure dans l'association un député, un responsable politique, ou un représentant d'une administration, la présence de ces personnes est devenue illégale, depuis les « affaires financières » !!!

VOYAGE ASTRONOMIQUE au PEROU au solstice d'hiver (A. Gotteland)

Un voyage astronomique au Pérou au solstice d'hiver du 18 juin au 26 juin 2002

Nous avons entrepris un voyage en famille au Pérou, en septembre 2002, afin d'assister aux fêtes du solstice d'hiver et d'étudier particulièrement le gnomon, appelé « Intihuatana », au Machu Picchu.



Fig 1: Carte du Pérou

J'avais précisé que j'étais intéressée par l'astronomie et mes enfants par l'agronomie. Pendant notre voyage, je me suis souvent demandé si nos guides n'avaient pas inventé un peu partout des signes astronomiques, spécialement pour moi. Mes enfants ont été intéressés par les cultures, en particulier la pomme de terre, si importante au Pérou.

Nous avons un guide pour nous trois seulement, différent pour chaque région. Les déplacements se faisaient en taxi, en voiture particulière, ou en car, ce qui nous a permis d'admirer les paysages.

Avant de commencer le récit de ce voyage, il est important de rappeler certains points : le territoire actuel du Pérou, la civilisation des Incas, leur conception de l'astronomie et de l'astrologie, le Soleil,

les constellations, les éclipses, le calendrier, les prêtres-astronomes.

Avant qu'il soit conquis par Pizarro, en 1532, la République de l'Équateur, la Bolivie, la Colombie, le Chili, et une partie de l'Argentine, faisaient partie de l'Empire Inca. Le territoire actuel du Pérou fut décidé en 1809.

Le Pérou étant situé sous l'Équateur, en 1735, l'Académie des Sciences désigna une mission chargée de mesurer un arc méridien sur cette ligne au Sud de Quito...

En hommage à cette expédition, un monument, appelé la

« Mittad del Mundo », la moitié du monde, a été installée avec précision par Charles Marie de la Condamine, à 22 km au Nord de Quito. Ce monument comporte un cadran solaire vertical à angles horaires égaux.

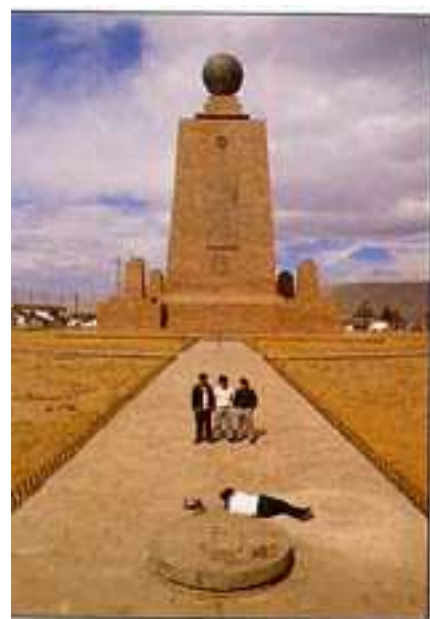


Fig 2 et 3: Monuments de la « Mittad del Mundo »

La **civilisation Inca** a été précédée de plusieurs autres, en particulier de celle de Chavin du VII^e siècle av. J.C jusque vers 1200 av. J.C, et celle de Nazca, qui s'est étendue du III au X^e siècle.

L'empire Inca fut fondé au début du XIII^e siècle dans la vallée de Cuzco par un chef de clan Manco Càpac. Ruiné au XVI^e siècle par les querelles intestines, il fut détruit par l'espagnol Pizzaro.

La connaissance de cette civilisation est rendue difficile, car les Incas ne connaissaient pas l'écriture.

Il faut donc se fier aux récits des chroniqueurs, et des voyageurs. Les écrits de Garcilio de la Vega, né à Cuzco en 1536, de mère indienne et de père « conquistador », sont intéressants à consulter.

L'**astrologie-astronomie** des Incas consistait à observer le Soleil, la Lune et les divers mouvements de la planète Vénus, qu'ils apercevaient tantôt devant le Soleil et tantôt derrière.

Une carte insolite du ciel et de l'Olympe magique des Incas, l'**Image du monde**, l'*Unanchan*, révèle, par un croquis ingénieux, fait à la plume, la pensée mythique des Incas. Sur près de 10 m de largeur, le panthéon inca des dieux cosmiques qui régissent l'univers était conçu en fonction de l'idée que la Terre était le reflet de l'espace céleste.

L'Inca est le Soleil de la Terre. À l'inverse, le Soleil est l'Inca du ciel. Il en est de même pour la Lune. Une croix de cinq étoiles, dite *Orcorara*, est au centre d'une constellation, où les Indiens croient voir trois lamas mâles entre deux bergers. Un long œuf qui pend serait le symbole du dieu Viracocha, flanqué d'un Soleil d'or et d'une Lune d'argent.

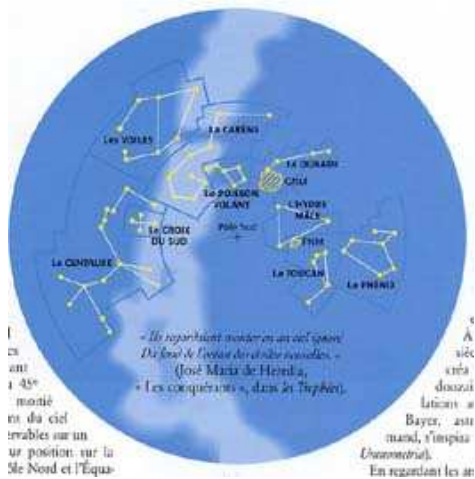


Fig 4: Dans le ciel austral



Fig 5 : Image du monde

Le **Soleil** était l'emblème des Incas qui devaient prévoir les retours des saisons, des récoltes et de l'élevage des animaux. La pomme de terre était plantée en novembre et récoltée en mai. Le maïs, par contre, était semé en septembre et récolté en juin.

Ils observaient, avec exactitude, les hauteurs méridiennes du Soleil, la longueur des ombres et la durée des révolutions synodiques des planètes. Ils savaient que le mouvement du Soleil s'achevait en une année. Ils connaissaient ainsi les moments des solstices et des équinoxes.



Fig 6: Emblème du Soleil

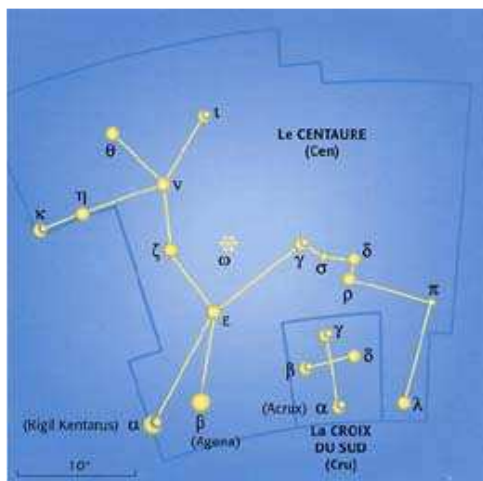


Fig 7: Croix du Sud

minutes et l'on pouvait distinguer, à leur place, une minuscule figure s'illuminant sur le fond d'une Voie Lactée brillant, la Croix du Sud, remarquable par son éclat et par sa forme : alpha, bêta, gamma, delta, quatre étoiles très brillantes auxquelles on ajoute parfois epsilon, toutefois de magnitude plus faible.

Longtemps, les **éclipses** effrayèrent les populations au Pérou. Celle de Lune suscitait, encore au XIX^e siècle, une désolation. (Fig 8)



▲ Fig 8: Éclipse de Lune

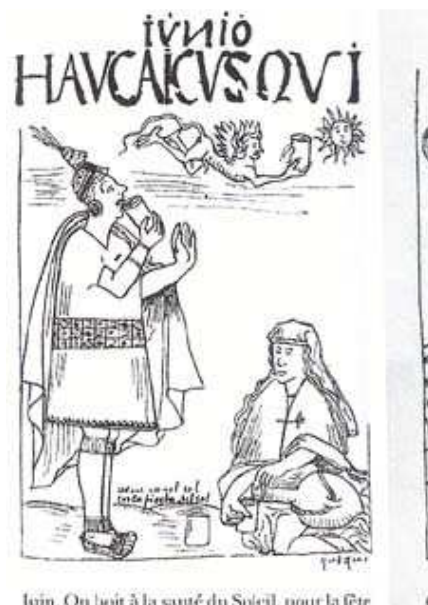


Fig 9: Calendrier de Juin ►

Les civilisations Mayas, Aztèques, Incas, privées de contacts avec l'extérieur, sont restées isolées, jusqu'à l'invasion européenne du XVI^e siècle. Il est donc certain que leurs **calendriers** ont été conçus de manière autonome, sans le moindre emprunt à l'Occident.

Les Incas, les glorieux enfants du Soleil, auraient fait une étude particulière des phénomènes des cieux et auraient construit un calendrier sur des principes aussi scientifiques que celui de leurs voisins. Ils disposaient leurs années en cycles de dix, cent et mille ans et, par ces cycles, ils réglaient leur chronologie.

L'Empire pourrait avoir tiré son calendrier général de celui des soins journaliers et mensuels dus à la pomme de terre, au maïs, à l'élevage, chaque mois, chaque saison, correspondant à des soins particuliers.

Le Puma, symbole du nombril du monde était autant le symbole du pouvoir inca centralisateur que la représentation terrestre du calendrier terrestre.

Du temps des Incas, le mois de juin était marqué par plusieurs célébrations : celle des « Pléiades », et du solstice d'hiver vers le 8 juin. La plus grande fête était celle de « l'Intiraymi », le 21 juin. (Fig 9)

À l'origine, la célébration du **solstice d'hiver** se déroulait le 21 ou le 22 juin. Les Espagnols l'interdirent, puis imposèrent une autre fête, la Saint-Jean, qui tombait le 24 juin. Sous couvert de christianisme, les Indiens purent continuer à allumer les feux nocturnes qui célébraient le retour du Dieu-Soleil.



Les **prêtres-astronomes** étaient des personnages respectés par tous. Ils pratiquaient une grande abstinence dans leur manière de vivre, ne mangeaient jamais de viande, seulement de l'herbe et des racines avec du pain. Ils ne buvaient que de l'eau. Leur maison était à la campagne et non dans des endroits peuplés. Parlant rarement et habillés d'un simple vêtement de laine qui leur arrivait au genou et en haut d'un manteau noir et pourpre, leur vie à la campagne leur permettait de contempler et de méditer plus facilement sur les étoiles. Il y en avait toujours un dans les temples.

Après notre voyage en avion de 17 heures nous avons atterri à Lima.

◀ Fig 10: Le Prêtre-Astronome

* * *

19 juin

Après un tour de ville à **Lima**, en admirant la place d'Armes et le couvent Santo Domingo, nous visitons deux musées.



Au Musée d'Anthropologie, d'Archéologie et d'Histoire, devant l'obélisque de Tello, de la période Chavin, une pierre prismatique qui constitue l'une des œuvres majeures de la sculpture de type Chavin, la guide nous indique que près de cet obélisque, était placé un cercle recouvert d'argent, rempli d'eau dans lequel les prêtres-astronomes pouvaient regarder les étoiles s'y refléter et mieux les observer.

Dans ce musée, nous avons vu un grand nombre de maquettes de temples en forme de pyramides où résidaient toujours aussi des prêtres-astronomes. Nous nous sommes demandé si ces temples pouvaient avoir servi à la prévision des solstices et équinoxes.

◀ Fig 11: Obélisque de Tello

Au **Musée National**, une grande maquette représente le Machu Picchu et son « Intihuatana ».

21 juin - matin

Le site de **Sillustani**, (Fig 12) à 4000 m d'altitude, sur une presqu'île du lac Umayo, à 35 km au Nord-Ouest de Puno, est réputé pour le grand nombre de ses *chullpas*, étranges tours funéraires, qui contenaient les momies de nobles *colla*. En montant vers ces tombes, la guide nous dit que nous allons voir un INTIUATANA. En effet, sur un mur, nous voyons écrit ce mot. Puis nous découvrons deux cercles de pierres, comme à Stonehenge, en Bretagne, au Sénégal. La guide nous dit être venue le matin à 6 heures, jour du solstice d'hiver, et qu'elle avait constaté, au lever du Soleil, que le rayon était passé entre les deux pierres de la porte.



Fig 12: Cercle de pierres de Sillustani

21 juin, après-midi

« Notre Père le Soleil, ayant exposé Sa volonté à ses deux enfants, les congédia. Ils sortirent du Lac Titicaca. Marchèrent vers le septentrion et sur le chemin, Partout où ils s'arrêtaient, ils essayaient. D'enfoncer la baguette d'or... »

Garcilaso de la Vega

Divisé entre le Pérou et la Bolivie, à 3.650 m d'altitude, le **Lac Titicaca** (Fig 13) est le plus haut lac navigable du monde, avec une profondeur maximale de 280 m. Il couvre plus de 8000 m² et compte une quarantaine d'îles. Les plus célèbres étant les îles flottantes des Uros. La rive péruvienne est le berceau des Aymará qui croyaient que le dieu Viracocha était sorti de ses eaux pour créer le monde.

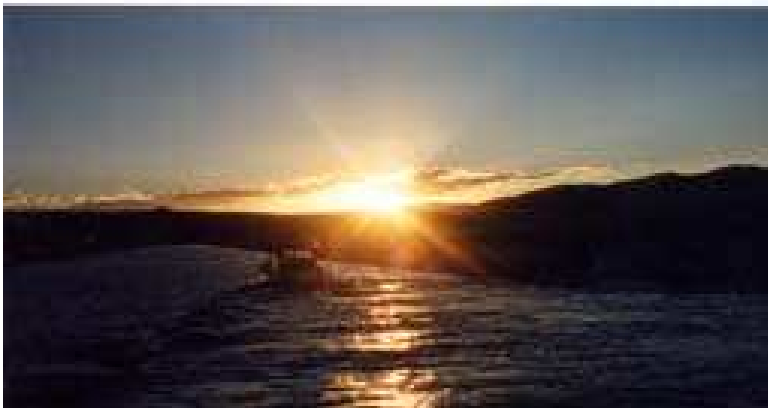


Fig 13: Coucher du Soleil sur le Lac



Fig 14: Le Temple de la Lune

Nous aurions voulu voir les **Temples du Soleil et de la Lune (Fig 14)**, mais, ils se trouvaient trop loin pour que nous ayons le temps de les voir. Autrefois sur le territoire péruvien, ils font partie, actuellement, de la Bolivie.

L'île de la Lune et l'île Coati, qui émergent des eaux du Lac Titicaca, conservent les ruines d'un imposant édifice connu sous le nom de Temple du Soleil. Il s'agit plus vraisemblablement d'un *aclahuasi*, couvent des vierges du Soleil *aillacuna*, chargées de la préparation des aliments consommés lors d'une cérémonie. Dans leurs ateliers, elles tissaient de magnifiques étoffes en laine de vigogne destinées à l'Inca, aux membres de sa famille et aux prêtres.

23 juin en fin de journée

Sur la route de Cuzco, nous nous sommes arrêtés au **Temple de Viracocha**.

Selon la tradition, Viracocha, Dieu de la Pluie, surgit du Lac Titicaca à l'appel des peuples privés de lumière. Il ordonne aux astres et aux étoiles de suivre « jusqu'à la fin des temps », l'itinéraire précis qu'il leur fixe. Il fait la nuit, le jour, dessinant en relief sur une large dalle les nations qu'il créera sur son passage. Avant de s'éloigner pour toujours dans le Pacifique, où il flotte « comme l'écume de mer », il divise le monde en quatre parties.

Les prêtres astronomes habitaient dans ce temple et pouvaient observer le ciel, et les mouvements du Soleil sur les montagnes environnantes. Mais aucune trace d'instrument d'observation n'a été trouvée.

24 juin

Cuzco, ancienne capitale de l'Empire Inca, est située sur le 14° parallèle. Le 10 février et le 30 octobre, le Soleil y passe à son zénith, selon un angle minimal de 51° par rapport à l'horizon. Le 20 juin, il parvient à un angle minimal de 51° par rapport au Nord. À ce moment, il est donc à son point le plus boréal pour un solstice d'été dans l'hémisphère Nord. Sa plus grande inclinaison est la marque de l'hiver, tandis que son inclinaison la plus rapprochée de la verticale marque l'été.

La **Fête de « l'Intiraymi »** se déroule, le matin, à partir du temple du Soleil, puis à la place d'Armes. L'après-midi, elle a lieu à la forteresse de « Sacsayhuaman ».

Le matin

Au **Temple du Soleil**, la procession descend de la terrasse, en chantant et en dansant, puis se dirige vers la place d'Armes. La population la suit.



Fig 15: La Fête de « l'Intiraymi » au Temple du Soleil

Sur la **Place d'Armes**, la procession continue. Les appareils de photo cliquent devant ce magnifique défilé, surtout au moment où l'Inca d'un jour et sa femme, sont promenés sur une chaise dorée, entouré de leur garde impériale.

Se produisent ensuite des danseurs venus des montagnes, vêtus de costumes traditionnels tissés à la main. Au cours de cette reconstitution, qui dure environ trois heures, on rallume les feux sacrés de l'Empire, on sacrifie un lama au Soleil, on danse et on chante.

Puis la ville se transforme en une vaste fête populaire pendant toute une semaine. Nous avons vu aussi danser en défilant les enfants des écoles, venus de tout le Pérou.



◀ Fig 16 et 17: La Fête de « l'Intiraymi » sur Place d'Armes

L'après-midi



Fig 18: La Fête de « l'Intiraymi » à la Forteresse de « Sacsayhuamàn »

La cérémonie se déplace vers « **Sacsayhuaman** », « Le lieu où repose le Puma ». À 2 km de Cuzco, cette forteresse défendait cette ville. Elle est considérée, comme la première de « Sept nouvelles merveilles du monde ».

La fête se déroule d'un côté sur l'esplanade principale et de l'autre, sur la montagne. Des milliers de péruviens, en costumes traditionnels et multicolores, venant des quatre régions du Pérou, se rassemblent pour une fête colorée, au son des flûtes et des tambours.

25 juin

Matin

Nous visitons le site de la **Forteresse de « Sacsahuamàn »** où les rites attachés à l'astronomie étaient nombreux. Nous passons des terrasses aux greniers et aux places.

La plus importante, la Porte de l'Arc-en-Ciel, *Menay-Ra'* ou *K'uichiPunku*, permettait de protéger des tempêtes les demeures des nobles et l'observatoire astronomique.

Une stèle, creusée à même le roc, en rapport avec la Croix du Sud, présente deux carrés correspondant au grand axe de cette constellation.

Sur la place du « **Mouvement des étoiles** » (Fig 19) un grand bassin circulaire était utilisé comme horloge solaire et stellaire. Douze cases, parfaitement géométriques, représentent le calendrier inca.

Ses bords étaient recouverts de plaques creuses en argent remplies d'eau, ce qui permettait aux prêtres-astronomes, comme pour l'obélisque de Tello, de voir les mouvements des étoiles s'y refléter en plus grand, en particulier la Croix du Sud.



Fig 19: Place du « Mouvement des étoiles »

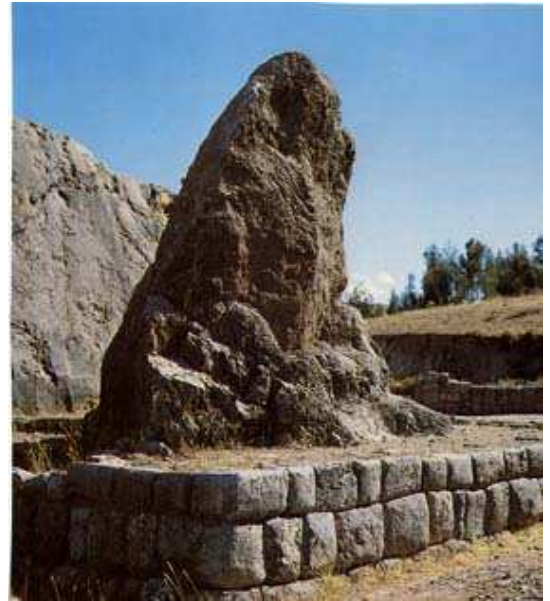


Fig 20: Kenko

À 5 km à l'Est de Cuzco, s'élève le complexe religieux de **Kenko** (Fig 20), un sanctuaire rupestre vraisemblablement aménagé par l'Inca Huayna Capac, à l'occasion de la naissance de son fils Huacar.

Ce complexe est perché sur une colline appelée Socorro ou *Q'enquo*, le méandre, et fait allusion au grand rocher qui constitue un des éléments caractéristiques de cet endroit.

L'autel monolithique de 6 m de haut affecterait la forme d'un puma, animal emblématique du dieu Viracocha. Taillés et sculptés sur la surface arrondie du roc, des motifs scalaires et rayonnants, des figures et des canaux qui se séparent et se rejoignent formant un ensemble mystérieux.

Dessous, une petite grotte est aménagée en sanctuaire, tandis qu'au Nord s'étend l'amphithéâtre, sorte de cour elliptique, dotée sans doute d'une signification astronomique. Elle est entourée d'un mur originellement ponctué de 19 niches qui ont presque toutes disparu. Cette enceinte est faite de pierres taillées très régulièrement et agrémentées de bossages. Au milieu se dresse un monolithe de près de 6 mètres de haut, entouré d'un mur qu'on appelle le « puma assis », à cause de sa forme qui suggère effectivement un félin. Ce grand monolithe et la cour évoquent clairement des cultes stellaires liés au cycle des saisons et à la course du Soleil.

Après-Midi

Nous avons fait la visite de **Cuzco**, qui devint la capitale du Tawantinsuyo, nom véritable de l'Empire. Ainsi convertie en centre politique de quatre régions appelées *suyos*, elle fut le reflet architectural de l'édifice « temps-espace-astrologie-saisons » de la culture inca. Quatre rues occupaient une place essentielle, constituant les quatre chemins d'où était née la division de l'empire en quatre *suyos*.

En forme de puma, Cuzco, évoquerait le calendrier solaire de 360 jours, comprenant douze mois de trente jours et trente-six semaines de dix jours, auxquels les Incas auraient ajouté cinq jours à la fin de l'année, plus un tous les douze quartiers avec son mois respectif. Chaque famille de moindre hiérarchie recevait la charge d'une semaine et d'une portion de quartier. Les mois de pluie correspondaient aux quartiers bas, les mois de sécheresse aux quartiers hauts. On observait les astres et les étoiles depuis des tours situées dans le Temple du Soleil.

Cuzco contenait la relation complète des mois, semaines et jours, les saisons de l'année, le ciel avec sa pléiade d'astres et d'étoiles. Il s'agirait d'une sorte de « ville-calendrier » ! La géométrie des rues de Cuzco aurait contenu l'univers. Les quatre *suyos* représentaient les quatre saisons, les douze quartiers les mois de l'année, comptés dans le sens des aiguilles d'une montre. Chacun avait trois rues principales correspondant chacune à une semaine de dix jours. Chaque voie principale se dédoublant en chemins secondaires, on obtient un total de cent soixante jours. Chaque jour étant dédié à une divinité, quelque

trois cent soixante *huacas* ou sanctuaires enregistraient la marche du temps. Par ailleurs, ces *huasses* suivaient des *chèques*, de mystérieux chemins sacrés imaginaires. Ces lignes non tracées irradiaient du cœur du Puma comme des rayons du Soleil. Les initiés lisaient comme dans un livre les secrets des activités du cycle agricole annuel et des obligations sociales.

Le **Temple du Soleil** (Fig 21), appelé *Qoricancha*, ou « Enclos de l'Or », était un sanctuaire dédié au Soleil et à des divinités comme la Lune, les Pléiades, la Foudre et l'Arc-en-ciel. Il avait la forme d'une pyramide tronquée. Un énorme disque d'or, recouvrant presque tout un mur de la salle, reflétait, à certaines heures ; la lumière du Soleil et, sur un autre mur, un disque d'argent, de taille identique, représentait la Lune. À travers une fenêtre, les prêtres-astronomes observaient les solstices et les équinoxes.

Près du temple du Soleil, s'élèvent les vestiges du **couvent de Santa Catalina**, autrefois habitées par les Vierges du Soleil. Ces femmes étaient cloîtrées, choisies pour leur beauté et leur naissance et formées au culte du dieu Soleil et au service de l'Inca. Au terme du noviciat de trois ans, elles choisissaient, soit de se consacrer au culte du Soleil et de devenir *acllas*, « femmes choisies, » soit d'aller rejoindre les concubines de l'Inca ou bien d'être offertes à quelque haut-fonctionnaire.

*

Dans la Calle San Blas, une **Pierre à douze angles** (Fig 22), en granite, parfaitement ajustée, est admirée par les touristes. Ces angles pouvant évoquer les douze mois de l'année ou les douze heures du jour, certains guides parlent d'un cadran solaire.



Fig 22: Pierre à douze angles

◀ Fig 21: Temple du Soleil à Cuzco

Nous n'avons pas pu voir les **colonnes cylindriques** de Cuzco, étant donné qu'elles ont été détruites par les Espagnols, mais il nous semble intéressant d'en parler.

Pour rectifier leur calendrier par des observations solaires, huit colonnes cylindriques, ou tours, s'élevaient à l'Orient de la ville et huit autres à l'Occident sur les hauteurs environnantes. Elles se trouvaient au milieu d'une grande place vide. Sur le sol des lignes étaient tracées presque directement sous la ligne équatoriale.

Ces colonnes indiquaient, par la direction, ou même l'absence de leur ombre, les époques des solstices et des équinoxes. En mesurant leurs ombres, les Incas déterminaient le retour des équinoxes. Une colonne solitaire était placée au centre d'un cercle tracé dans l'enceinte du grand temple et traversé

par une ligne allant de l'Est à l'Ouest. Quand les ombres étaient à peine visibles sous les rayons du Soleil à midi, ils disaient « que le Dieu était assis dans toute sa lumière sur la colonne ».

Dans plusieurs autres villes, ces sortes de colonnes étaient dressées et servaient au même usage.

Sur la colline de Carmenca, étaient érigés douze piliers abondamment fleuris.

La colonne de Quitu, placée presque directement sous la ligne équatoriale, était, au moment des équinoxes, celle qui projetait le moins d'ombre. Aussi tours et colonnes étaient considérées par la tradition comme autant de sièges du dieu Soleil. Elles étaient l'objet d'une vénération particulière. Les prêtres disaient que « le Soleil venant s'y asseoir droitement, on devait la préférer aux autres, où il ne s'asseyait que de côté ».

25 juin soir

Avant l'arrivée au Machu-Picchu, nous avons passé la soirée et la nuit dans un bel ensemble de bungalows. Le soir, le propriétaire nous a installé sa longue-vue et nous avons pu voir la **Croix-du-Sud**.

*

26 juin

Avant d'arriver au **Machu Picchu** (fig 23), « Montagne vieille », le versant Nord du Huayna Picchu a été dégagé, révélant un temple souterrain, surnommé le temple de la Lune, un beau mur percé d'une porte imposante et un observatoire dirigé vers le pic de Ynantin.

L'ensemble du Machu Picchu se compose de trois types de constructions : édifices religieux, maisons de notables en pierre, maisons des paysans en adobe. Le tout s'organise en deux séries de bâtiments, reliés par de nombreux escaliers surplombant le précipice, entre lesquels s'étend une grande place. On découvre d'abord le quartier des « maisons des agriculteurs », derrière lequel s'étendaient les terrasses cultivées. En continuant tout droit, on arrive au quartier des fontaines.



Fig 23: Le Machu Picchu



Fig 24: Cercle de pierres ?

Au cours d'une visite dans le Musée Inca de Cuzco, nous avons vu une gravure du Machu Picchu où se distinguaient des **pierres dressées**, près du sommet. Elles nous ont fait penser à des cercles de pierres bousculées.

Le « **Torreón** » ou « donjon » ou « tour ronde ». ou *Torréon Milita*, en forme de fer à cheval, est l'édifice le plus prestigieux de Machu Picchu. Situé dans le secteur Sud-Est, on y accède par un escalier étroit, appuyé sur un énorme rocher très incliné. Il fait partie du groupe dit « militaire » et n'a probablement jamais eu de toit. Il est constitué d'une enceinte semi-circulaire, délimitant une *cella*, au centre de laquelle se trouve une roche polie qui jouait le rôle d'autel.

Des études récentes ont montré que ce temple servait sans doute aussi d'observatoire astronomique. Le bloc de pierre central présente une arête alignée avec précision sur le point où, par la fenêtre proche, le Soleil se lève au moment du solstice d'hiver de juin. Une façade curviligne est percée de fenêtres. Deux de ces fenêtres montrent quatre protubérances, une à chaque angle. L'une d'elles est orientée vers l'Orient et l'autre le Sud-Orient.

Pendant le lever du jour, au solstice d'hiver, le 21 juin, les rayons du Soleil pénètrent exactement à travers la fenêtre orientale et au solstice d'été, le 21 décembre, ils pénètrent à travers la fenêtre Sud orientale.

Une pierre taillée comme un losange, située près du temple principal avait sans doute une fonction astronomique. Elle représente exactement les proportions de la Croix du Sud, vers laquelle elle pointe et désignait ainsi le Pôle Sud géographique.

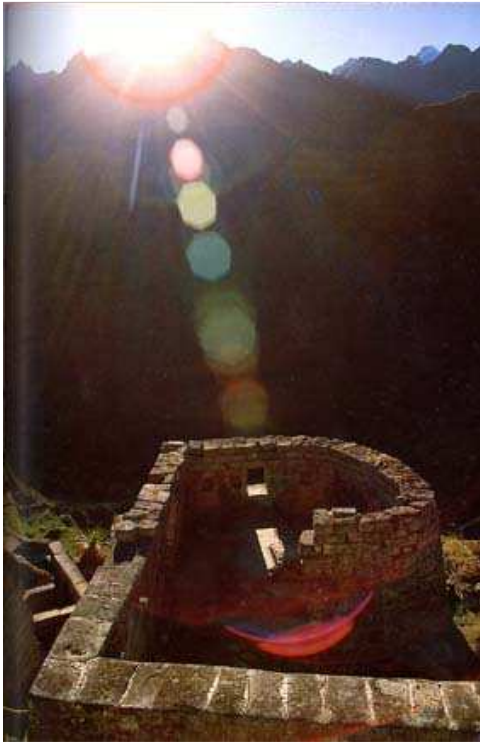


Fig 26: Torreon

◀ Fig 25: À l'aube du solstice d'hiver

Si on escalade le tertre qui s'élève derrière ce temple, on arrive à ce qui est peut-être le plus bel **Intihuatana** connu au Pérou, qui serait la « Huitième merveille du monde ».

Lorsque Hiram Bingham découvrit par hasard le Machu Picchu, un matin de juillet 1911, une photo, prise à l'époque, montre l'Intihuatana au milieu d'un champ de maïs.

On y accède en montant 78 marches en pierre, finement taillées. À droite de trois petites marches, certains ont remarqué que cette pierre présente exactement la même découpe que les montagnes alentour, les représentant en réduction, très fidèlement. Certains l'ont mise en parallèle avec la Piedra del sol, actuellement au musée de Mexico.

Localisé dans la partie haute de la cité, l'Intihuatana est atteint si on escalade le tertre qui s'élève derrière la Maison du Prêtre. C'est un monument d'une grande beauté, aux lignes épurées, aux plans parfaitement lisses. À partir du temple où il est installé, on peut observer la place principale de la cité, lieu où, probablement, ses habitants se réunissaient pour apprécier les cérémonies qui y étaient liées.

Faisant saillie jusqu'à 1,80 m au-dessus du sol, il est le plus haut monument inca de ce genre existant encore. C'est une étrange pierre monolithique, ou tétraédrique, sculptée dans un seul bloc, façonnée dans le granit même de l'éperon rocheux et poli. Ses différents plans sont imbriqués les uns dans les autres, et aplanis de manière à former une succession de plates-formes dont la plus élevée est surmontée d'un énorme appendice aux côtés régularisés de manière à constituer une figure géométrique. Apparemment, on n'enleva que les portions de la pierre qui ne possédaient pas l'*huaca*, l'aspect sacré.

Trois entailles carrées dans la roche correspondent à l'indication des solstices et des équinoxes. Il sert d'observatoire, grâce aux ombres profilées par ce prisme, haut de 36 cm. Les quatre côtés de la pierre indiquent chacun un point cardinal

C'était, à la fois, un observatoire astronomique, un calendrier agricole et religieux. Il devait servir à la fois d'autel, d'horloge solaire, de gnomon.

Nous voulions mesurer l'instrument, mais il était protégé par des cordes. C'est donc le gardien qui a pris ses mesures.



Fig 27: Observations à « l'Intihuatana »

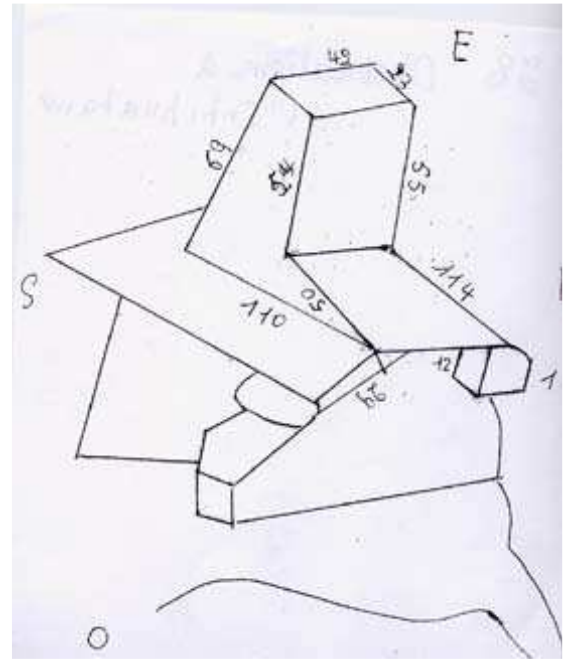


Fig 28: Schéma -Observations à « l'Intihuatana » ►

La petite caverne au-dessus du **temple du Condor**, l'*Intimachay*, est creusée d'une ouverture taillée dans une énorme pierre si précisément orientée que, pendant dix jours avant et après la date exacte du solstice d'hiver, le Soleil matinal illumine le fond de la pièce.

Du col de la **Porte du Soleil**, l'*Intipunku*, on a une première vue d'ensemble sur la Cité du Machu-Picchu. On peut monter au-dessus des ruines, vers une brèche que l'on aperçoit dans l'éperon rocheux, au centre duquel s'élève un petit rocher. Si on se place sur les hauteurs du site, on peut voir le Soleil se lever sous cette porte à certaines époques de l'année.

27 juin

Pisac se trouve dans la Vallée sacrée des Incas et avait un « sanctuaire astral ». Sa distance à l'équateur est de 13°. À 3000 m d'altitude, dans un climat si agréable « que les Incas l'eurent pour jardin comme lieu de leurs plaisirs », le vaste complexe archéologique de Pisac « la Cité des Perdrix » est l'une des plus étendues. Le raffinement des bâtiments, construits en dominos dans un granit vert, d'une régularité idéale, permet de supposer qu'il s'agit d'une résidence impériale. Une puissante enceinte fortifiée les deux secteurs d'élite. Les constructions protégées par une enceinte, sont disposées sur trois terrasses.



Fig 29: «Intihuatana » de Pisac

Dans le quartier résidentiel, les constructions, protégées par une enceinte, sont disposées sur trois terrasses, avec trente palais indépendants, les plus remarquables étant le temple du Soleil qui renferme un calendrier solaire, et le temple de la Lune aux grandes portes trapézoïdales.

Dans les années soixante-dix, les archéologues péruviens ont commencé à fouiller le quartier sacré où se trouve le complexe le plus spectaculaire de Pisac : l'Intihuatana, taillé dans une roche violacée, de forme tronconique, circulaire et nivelée. De puissantes murailles, percées de portes et de niches trapézoïdales,

ceinturent ce quartier, un des plus importants de Pisac. Sa présence indiquerait que cet endroit était le siège d'un culte du Soleil.



Fig 30-31: autres «Intihuatana » de Pisac

Nous ne nous sommes pas rendus au site d'**Ollantaytambo**, à 72 km au Nord-Ouest de Cuzco, mais nous l'avons vu de haut.

Cette monumentale forteresse a été bâtie dans la deuxième moitié du XV^e siècle. Installée de façon stratégique au sommet d'un escarpement, elle surveille l'entrée Nord-Ouest de la Vallée sacrée. Un escalier très raide est flanqué de terrasses décalées. La dernière de ces terrasses porte le temple aux dix niches et débouche sur une vaste esplanade. Au milieu s'élève une muraille constituée de six monolithes de porphyre rouge. Il pourrait s'agir d'un temple du Soleil.

Dans cette citadelle, était déterminé le début de l'année, marquant aussi le début des récoltes. Coïncidence, le site fait face à deux vallées séparées par une montagne orientée vers l'Est. Le lever de Soleil, centré sur la première, correspond au solstice d'été, centré sur la seconde, au solstice d'hiver, jour de la fête de l'Inti Raymi.

Le premier jour de l'année, les rayons solaires traversent une sorte d'œil-de-bœuf, l'œil du Lama, et éclairent une pyramide située de l'autre côté de la rivière.

Appelée La Maison de « l'Aurore », près du village d'Ollantaytambo, un monument en forme de pyramide occupe un espace de 150 hectares à une altitude de seulement 34 m.



Fig 32: La pyramide d'Ollantaytambo

Pacaritanpu

Nous avons traduit le livre de Fernando E. Elorieta et Edgar Elorietta Salazar et nous nous contentons de montrer les huit photos, ainsi que les différentes explications qui les accompagnent.



Fig 33: Vue de la pyramide Pacaritanpu à partir de points d'orientation.

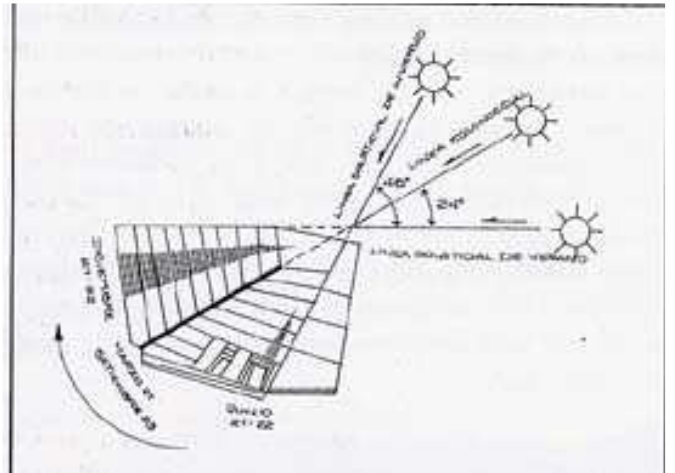


Fig 34: Diagramme du calendrier-observatoire astronomique de Pacaritanpu

28 juin

Le site de **Paracas** était enseveli sous les sables d'une vaste presqu'île désertique, située au Sud de Lima, avant les découvertes de l'archéologue péruvien Julio C. Tello, en 1925

De la plage de Paracas, on peut apercevoir la silhouette du « Candélabre, » ou « Chandelier » (fig 35) , de 200 m de haut sur 60 de large, taillé dans la falaise. Selon certains scientifiques, ce « géoglyphe » représente la constellation de la Croix du Sud. Selon d'autres, il s'agit d'un cactus stylisé, symbole de puissance dans la culture Chavin qui avait étendu son influence jusque dans cette région. Il est différent des figures de Nazca. Visible de très loin en mer, le Chandelier constituait certainement un point de repère pour les marins qui croisent en large, comme il l'est encore aujourd'hui.



Fig 35: Candélabre » de Paracas



Fig 36: Cadran solaire d'Armandaris

29 juin

Le dernier jour de notre séjour à Lima, nous avons aperçu un **cadran solaire** moderne dans le quartier colonial de Miraflores (fig 36) , peint sur la façade d'une maison servant de cabinet médical.



Nous n'avons pas pu voir les **lignes de Nazca** dont l'astronome et mathématicienne allemande, Maria Reiche, a retracé les moindres détails durant un demi-siècle

26 juin

Il faut rentrer en France avec les images du Pérou, plein les yeux que nous allons faire partager à nos amis.

◀ Fig 37: Maria Reiche et les lignes de Nazca

Bibliographe

- Bibliographie Générale, Nouvelle bibliographie Universelle depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, MDCCCLII, 1852 1852
- 1976 Les derniers mystères du Monde, Sélection du Reader's Digest, 1976
- 1978 José Alcina - L'art Précolombien – 1978
- 1979 Nicolas Jaeger – Les Andes du Pérou – Denoel –1979
- 1979 Karsten, La civilisation de l'Empire Inca, Paris, Payot, 1979
- 1980 Pérou, Guide Bleu,1980
- 1982 Les citadelles des Incas, Les passeports de l'Art, Editions Atlas, 1982
- 1986 J.R. – Rohr – Les cadrans solaires - 1986
- 1991 Le Grand Guide de l'Amérique du Sud, Gallimard, Bibliothèque du Voyageur, p. 77-99, 1991
- 1992 Pedro Pizzano, Découverte et de la conquête des Royaumes du Pérou, Ed. Felin, 1992
- 1993 Anne Collin-Delavaud, Le guide de l'Équateur et des Iles Galapagos, Éditions de la Manufacture, 1993
- 1994 René Desmaisons, Pérou-Équateur, Du Pacifique à la Cordillère des Andes, Espaces, Éditions A. Barthélemy, Avignon, 1994
- 1995 Le grand guide du Pérou, Bibliothèque du voyageur, mars 1995
- 1995 GEO, Aux pays des Incas, Bolivie, Pérou, Equateur, N° 191, janvier 1995
- 1995 Le grand guide de l'Équateur, Gallimard, Bibliothèque du voyageur, 1995
- 1996 The sacred valley of the Incas, Myths and symbols, Cusco-Perù, 1996
Fernando E. Elorietta et Edgar Elorietta Salazar, The sacred valley of the Incas, Myths and symbols, Sociedad Pacaritanpu
- 1996 Hatha, 1996
- 1996 Carlos Terrazas Orellana, Le guide du Pérou, Lima, Cusco, le lac Titicaca...Éditions de la Manufacture, 1996
- 1997 Daniel Gilbert, Le Pérou, Karthala, 1997
- 1998 Hervé Burillier, Découvrir le ciel, Multiguides Astronomie, Bordas, 1998
- 1999 Les Incas, Les civilisations andines des origines aux Incas, Gründ, p. 241, septembre 1999
- 2001 Carmen Bernand, Clio, Machu Picchu, la dernière forteresse des Incas, 2001
- ? Eugène Muller, Le jour de l'An et les Etrences, Histoire des fêtes et coutumes de la nouvelle année chez tous les peuples dans tous les temps, Paris, Maurice Dreyfous, Editeurs, Chez les anciens américains, p.367-382, non daté
- ? Encyclopédie Larousse – Cederom
- ? L'Empire Inca, Grande civilisation du passé, Ed; Time-Life, Amsterdam
- ? Hervé Staub, Histoire de la gnomonique, PDF

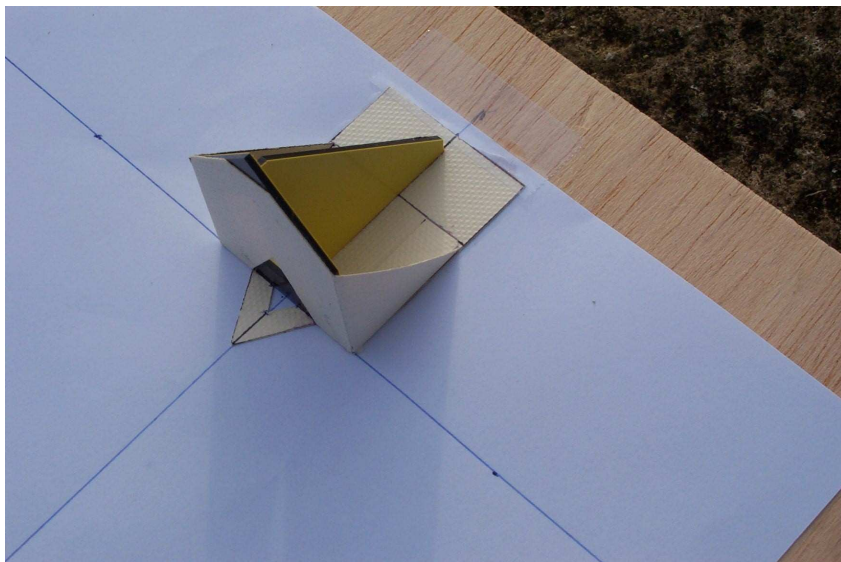
KIT DE MESURE d'inclinaison et de déclinaison (G. Labrosse)

Afin de permettre à des non-initiés de relever eux-mêmes la déclinaison et l'inclinaison du support qui viendra accueillir un cadran solaire, M. G. Labrosse a imaginé un "kit" de mesure. Une fois les mesures prises, celles-ci sont envoyées à G. Labrosse qui les traite à l'aide d'un programme écrit sous Excel.

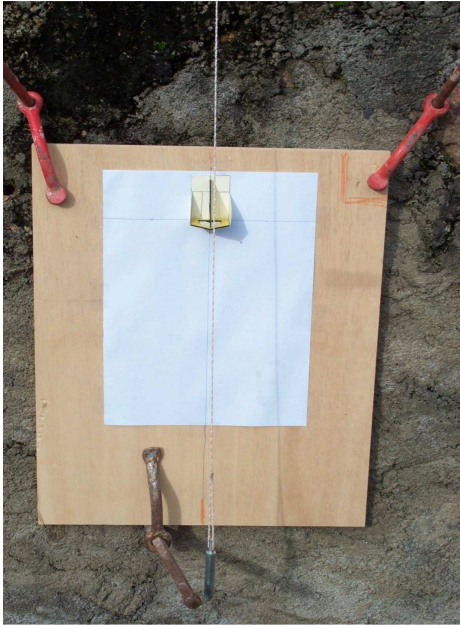
Ci-dessous la description du kit et les conseils donnés pour réaliser les relevés, ainsi que les feuilles de calculs.

Le "KIT" de mesure de l'INCLINAISON et de la DECLINAISON

- Plier et coller le style droit qui vous a été adressé par courrier.
- Sur une feuille de papier de format A4 (210X297) ou A3 (297X420), tracer deux droites perpendiculaires allant d'un bord à l'autre et se coupant sur la partie haute. Il faudra ensuite la fixer en scotchant les bords sur une surface plane et rigide (contreplaqué par exemple)
- La position du pliage à l'intersection des deux droites tracées est indiquée par la photo ci-dessous.



- Il est à remarquer que le positionnement sur la ligne verticale est obtenu en juxtaposant le traçage existant sur le module de pliage(extrémité du petit triangle de carton et petit segment de droite restant derrière l'équerre en plastique).
- En ce qui concerne sa position sur la ligne horizontale, l'alignement correct est réalisé lorsque la ligne horizontale vient affleurée la petite partie inférieure du renfort, visible en noir (toujours dans la zone de ce même triangle en carton).
- Installation
Le travail précédent ayant été effectué avec soin, l'installer de préférence à l'emplacement même du Cadran Solaire à installer. Les traces pour la fixation ne se verront donc plus (utilisation de crossettes de maçonnerie, autres moyens)
Une autre surface du mur appartenant rigoureusement au même plan peut faire l'affaire.



Je rappelle que la surface choisie peut avoir une orientation autre que celle tournée vers le sud, et qu'elle ne doit pas être obligatoirement verticale.

Le but de notre manœuvre étant de connaître la position réelle de cette surface dans l'espace afin de calculer le cadran en fonction des paramètres déterminés par notre manipulation.

Le seul impératif est d'aligner la ligne verticale de votre premier traçage avec la verticale donnée par un fil à plomb.

◀ Visualisons maintenant à quoi doit ressembler notre installation.

Repérage des points.

Ce travail doit être réalisé dans une même journée bien ensoleillée.

- Lorsque l'extrémité de l'ombre générée par la pointe du style droit est visible sur la feuille, la repérer précisément d'un point.
- Ce point sera repéré par 1 par exemple. L'heure précise de votre montre (préalablement réglée avec l'horloge parlante), au moment du repérage sera inscrite sur la feuille de relevé.
- Cette opération sera effectuée impérativement plusieurs fois afin de permettre le calcul informatique et donner des résultats précis.
- Le nombre minimum de points nécessaires est de trois. Le nombre maximum *souhaité* traité par le logiciel est de six.
- Le bon moyen permettant une exploitation optimum est d'espacer les pointages afin de les répartir sur la plus grande surface utilisable.
- La vitesse d'avancement de l'ombre variant selon la position de votre mur, votre observation et votre bon sens vous aideront pour le choix du moment du pointage.

FEUILLE D'INFORMATIONS destinée à être renvoyée au cadranier.

Nom et prénom : _____ Adresse précise _____
Si vous connaissez votre latitude et longitude avec précision, indiquez les.
Latitude : _____ Longitude : _____
Sinon joignez la carte IGN de votre secteur (échelle 1/250000). Celle ci vous sera renvoyée.

Date unique à laquelle ont été effectués les pointages :

	N° du pointage	Heure à la montre(H; mn , s)
1
2
3
4
5
6

La feuille sur laquelle sont repérés les points doit nécessairement être jointe. Vous aurez préalablement découpé soigneusement au cutter l'ensemble du style droit (vous le garderez).

Le cadranier, à son tour, à l'aide du logiciel qu'il a mis au point ; se jouera de l'équation du temps, de la déclinaison du soleil, de l'azimut du soleil, du décalage en longitude par rapport au méridien de Greenwich. Il aura alors calculé la distance zénithale et la déclinaison de votre mur par rapport à votre méridien local. Votre cadran sera donc unique, calculé et tracé en fonction de votre mur. *Chacun voit midi à sa porte.* Vous aurez donc un travail de qualité.

Calcul global

Le classeur comprend 8 feuilles qui sont, à l'exception de la 1ère, toutes protégées: données et résultats, 1er calcul, 2ème calcul, ... 6ème calcul, pour graphe.

Feuille « données et résultats »

Données

Un tableau de données comprenant 6 mesures est à renseigner.

- inscrire les heures de la montre, les cases X et Y de chaque mesure
- renseigner uniquement dans la 1° mesure tous les autres paramètres. Pour les valeurs négatives, seule la première valeur réelle (heure, degrés voire minute) est à inscrire avec le signe -.

Heure de la montre Equation du temps λ C X Y A \emptyset δ	1° mesure			2° mesure			3° mesure			4° mesure			5° mesure			6° mesure		
	13	45	0	14	0	0	15	0	0	17	0	0	18	0	0	19	0	0
0	-2	13	0	-2	13	0	-2	13	0	-2	13	0	-2	13	0	-2	13	
	-4	10	3	-4	10	3	-4	10	3	-4	10	3	-4	10	3	-4	10	3
		15			15			15			15			15			15	
		-81,09			-66,88			-34,17			2,12			10,35			23,36	
		-			-			-			-			-			-	
		181,86			152,19			-87,91			-37			22,48			10,03	
		70			70			70			70			70			70	
	46	7	23	46	7	23	46	7	23	46	7	23	46	7	23	46	7	23
	21	55	0	21	55	0	21	55	0	21	55	0	21	55	0	21	55	0

Résultats

Pour chaque mesure apparaissent :

- les résultats D1, D2, Z1 et Z2
- la hauteur du soleil
- l'azimut du soleil avec l'indication du sens de la déclinaison
- le h calculé

N.b. Toutes ces indications sont des recopies des différents calculs effectués dans les feuilles « 1° calcul, 2° calcul, ... »

	1° mesure	2° mesure	3° mesure	4° mesure	5° mesure	6° mesure
D1	-22,79486	-9,649206	32,329546	86,33927	89,999096	90,005419
D2	-90,00374	-90,00245	-90,00253	-90,0058	-72,63555	-52,51609
Z1	85,000501	85,000663	84,997586	84,914933	85,000444	84,997643
Z2	52,894923	45,599076	17,943974	-29,19563	-49,39234	-68,68931
$\delta = 0$						
azimut du lever du soleil						
$\delta > 0$	-122,5832					
$\delta < 0$						
$\delta = 0$						
azimut du coucher du soleil						
$\delta > 0$	122,58					

soleil												
	$\delta < 0$											
	$\delta = 0$											
azimut du soleil	$\delta > 0$	33,600698	0	0	0	0	98,681774	108,74467				
pour chaque mesure												
	$\delta < 0$											
hauteur du soleil		62,53	60,97	52,90	32,93	22,57	12,48					
pour chaque mesure												
h calculé		15,97	19,72	34,72	64,72	79,72	94,72					
pour chaque mesure												

Un tableau récapitulatif (colorié en vert et jaune) des couples D et Z est automatiquement renseigné. Les valeurs qui composent le tableau ci-dessous sont des valeurs arrondies à l'unité afin d'indiquer les couples à considérer, Il est donc nécessaire de consulter le tableau "résultats" pour une précision correcte.

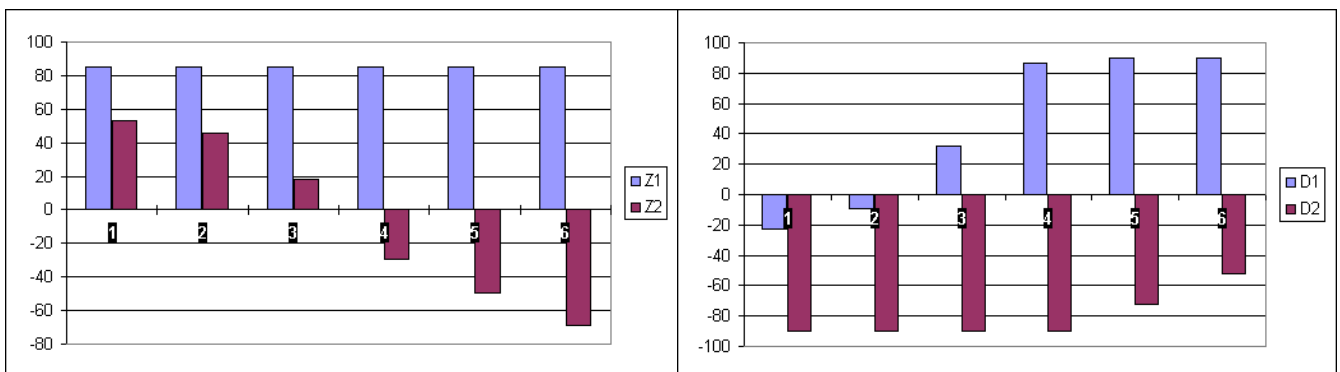
	D	Z	D	Z	D	Z	D	Z	D	Z	D	Z
D1Z1	-23	85	-10	85	32	85	86	85	90	85	90	85
D1Z2	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####
D2Z1	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####	#VALEUR!	#####
D2Z2	-90	53	-90	46	-90	18	-90	-29	-73	-49	-53	-69

Les calculs nous donnent 2 solutions dans chaque cas. Une seule est réelle. Pour l'identifier, il suffit de comparer D1 et D2 puis Z1 et Z2.

Les valeurs de D et Z qui sont le plus souvent notées sont celles à retenir.

Dans certains cas, une correction de + ou - 180° doit être ap

Un graphe représente pour chaque mesure les valeurs D1, D2, Z1



1. Feuille «1° calcul »

Cette feuille permet d'effectuer tous les calculs dont les résultats sont affichés dans la feuille « données et résultats »

Toutes les informations sont des recopies automatiques des données affichées dans la feuille « données et résultats »

Les heures ou degrés, minutes et secondes sont transformées en décimales

calculé et y affiché déterminant Z								
arrondi de Z	85	#VALEUR!	#VALEUR!	53				
	D1Z1	D1Z2	D2Z1	D2Z2				
				delta = 0				
heure du lever du soleil	4,35					sin du lever	-0,91	
azimut du lever du soleil	57,42	correspond à	-122,58	delta > 0		cos du lever	-0,42	
						angle horaire du lever	-114,74	
				delta < 0				
				delta = 0				
heure du coucher du soleil	19,65					sin du coucher	0,91	
azimut du coucher du soleil	-57,42	correspond à	122,58	delta > 0		cos du coucher	-0,42	
						angle horaire du coucher	114,74	
				delta < 0				
hauteur du soleil	62,53							
				delta = 0				
azimut du soleil	33,60	correspond à	33,60	delta > 0				
				delta < 0				

Calcul de D et Z

$B = \sin \phi * \cos h - \cos \phi * \tan \delta$ $G = \cos \phi * \cos h + \sin \phi * \tan \delta$ $K = \sqrt{(B^2 + \sin^2 h) / G}$ $L = K^2 * Y^2 - X^2 - A^2$ $M = -2 * A * Y * (K^2 + 1)$ $N = A^2 * K^2 - X^2 - Y^2$	$P = M^2 - 4 * L * N.$ $Z1 = (-M - \sqrt{P}) / 2 * L$ $Z2 = (-M + \sqrt{P}) / 2 * L$ $T = B / \sin h$ $D1 = -T + \text{degrés} (\sin^{-1} (Y + A * \tan Z1 / (K * (A - Y * Z1))))$ $D2 = -T + \text{degrés} (\sin^{-1} (Y + A * \tan Z2 / (K * (A - Y * Z2))))$
--	---

Calcul de X et Y

Avec le calcul de D et Z, nous obtenons 4 couples possibles : D1Z1, D1Z2, D2Z1 et D2Z2. En partant de ces couples, nous allons calculer les différentes valeurs que peuvent prendre X et Y. En comparant les X et Y calculés avec les valeurs affichées, nous déterminerons les couples D et Z à considérer.

Pour cela, nous allons calculer P, Q, R et S pour chaque cas.

$P = \sin \phi * \cos Z - \cos \phi * \sin Z * \cos D$ $Q = \sin D * \sin Z * \sin H + \cos H (\cos \phi * \cos Z + \sin \phi * \sin Z * \cos D) + P * \tan \delta$ $R = \cos D * \sin H - \sin D (\sin \phi * \cos H - \cos \phi * \tan \delta)$	$S = \cos Z * \sin D * \sin H - \cos H (\cos \phi * \sin Z - \sin \phi * \cos Z * \cos D) - \tan \delta (\sin \phi * \sin Z + \cos \phi * \cos Z * \cos D)$ $X = A * R / Q$ $Y = A * S / Q$
---	---

Toutes les valeurs X et Y des couples D1Z1, D1Z2, D2Z1 et D2Z2 sont arrondies et comparées aux valeurs X et Y recopiées en haut de la feuille et permettent de déterminer les couples adéquates.

Nous avons aussi le calcul de la hauteur du soleil et de l'azimut, celui-ci fonction de la déclinaison.

$$\text{Hauteur du soleil} = \text{degrés} (\sin^{-1} ((\sin \phi * \sin \delta) + (\cos \phi * \cos \delta * \cos H)))$$

$$\text{Azimut du soleil} = \text{degrés} (\tan^{-1} (\sin H / ((\sin \phi * \cos H) - (\cos \phi * \tan \delta))))$$

2. Feuille « graphe »

Cette feuille permet de regrouper les informations nécessaires à la création du graphe affiché en bas de la feuille « données et résultats ».
Elle est la recopie automatique des valeurs D1, D2, Z1 et Z2 calculées dans les 6 feuilles de calcul.

D1	-22,8	-9,65	32,33	86,34	90	90,01
D2	-90	-90	-90	-90	-72,6	-52,5
Z1	85	85	85	84,91	85	85
Z2	52,89	45,6	17,94	-29,2	-49,4	-68,7

Liste des différents symboles utilisés et leur signification.

- Φ latitude du lieu positive dans l'hémisphère Nord
- δ déclinaison du soleil
- λ longitude du lieu de la mesure exprimée négativement à l'Est
- C addition d'une ou deux heures légales (hiver ou été), exprimées par l'ajout de 15 ou 30 degrés.
- A longueur du style droit indiqué en mm.
- X côte relevée ou calculée en mm, comptée positivement vers la droite depuis le pied du style, cela représente l'extrémité de l'ombre du style droit à l'instant T de la montre.
- Y côte relevée ou calculée en mm, comptée positivement vers le haut depuis le pied du style, cela représente l'extrémité de l'ombre du style droit à l'instant T de la montre.

L'équation du temps est indiquée dans des éphémérides mis à jour annuellement.

???? "QUELLE-S HEURE-S EST-IL" ????

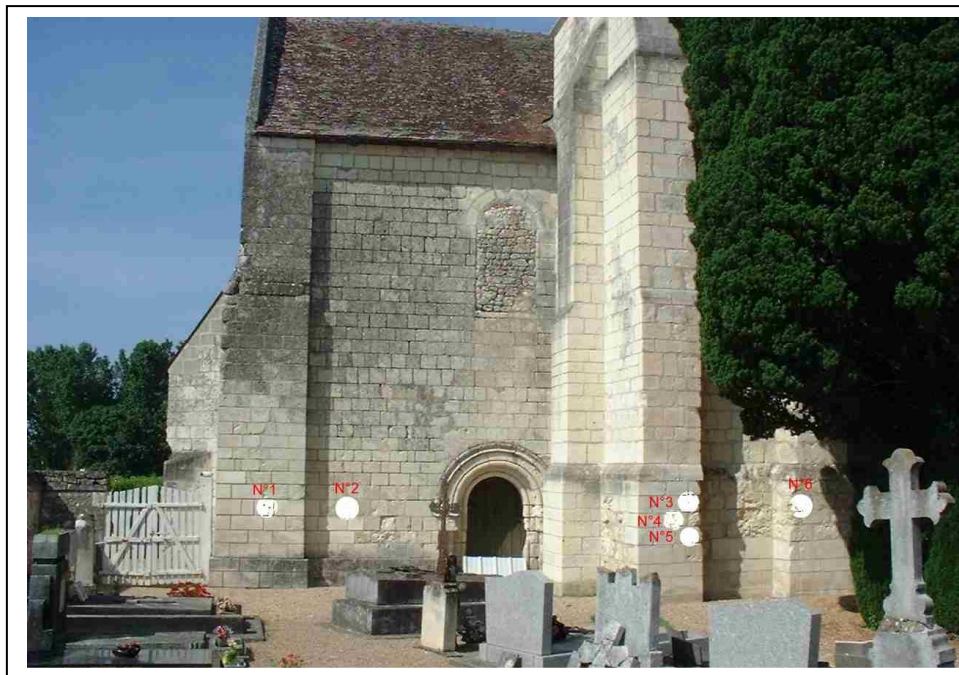
Il est possible à partir d'une heure quelconque ou de celle de votre ordinateur de connaître tous les types d'heures (nouvelle fonctionnalité de SOLARIUM- P.J. Dallet)

Six CADRANS CANONIAUX sur l'église de SAZILLY (37) (F. PINEAU)

Sazilly est une petite commune située à environ 5 km au sud-est de Chinon, au bord de la Vienne sur la rive gauche. Autrefois ce fief relevait de L'île-Bouchard. Son prieuré dépendit de l'abbaye de Marmoutier jusqu'au XVI^{ème} siècle, époque où il fut réuni au prieuré de Tavant. L'église Saint Hilaire date de la fin du XII^{ème} siècle, la nef est à voûtes angevines, le cœur est à chevet plat et le clocher est carré avec des contreforts. Le cimetière est accolé à l'église, il faut donc pénétrer dans celui-ci pour accéder au mur sud où sont gravés 6 cadrans qui semblent être des canoniaux.

Les cadrans canoniaux.

Ces cadrans qui datent du XII^{ème} au XIV^{ème} siècle se trouvent gravés exclusivement sur des édifices religieux. Leur vocation n'est pas d'indiquer des heures mais les moments de la journée où doivent être célébrés les différents offices prescrits par la règle de Saint-Benoît. Ces 7 célébrations sont Laudes, Prime, Tierce, Sexte, None, Vêpres et Complies. Ces cadrans solaires sont d'une précision plus que médiocre et montrent une certaine régression par rapport à ceux (scaphés et autres) fabriqués par les Grecs, les Romains ou les Egyptiens. Le style, c'est à dire la tige qui porte ombre, était constitué d'un simple bâton planté dans le mur, il n'en reste jamais rien aujourd'hui si ce n'est le trou de fixation.



Ce style était perpendiculaire au plan du mur, c'est ce qui explique le manque de précision de ces cadrans qui indiquaient des heures inégales aussi bien au fil d'une même journée que selon la saison. Il a fallu attendre plusieurs siècles avant que l'on songe à incliner le style et le mettre parallèle à l'axe de rotation de la Terre et ainsi indiquer des heures toujours égales. Ces cadrans solaires ont été relativement peu étudiés et ils restent entourés de beaucoup de mystères. Il semble que leur nombre soit beaucoup plus important qu'on ne pouvait le penser auparavant. Certains sont gravés très régulièrement mais beaucoup sont d'une facture très grossière. Les cadrans solaires « classiques » sont en général situés en

hauteur pour être vus de loin et à l'abri des vandales, les canoniaux eux, sont plutôt à hauteur d'homme. Ils sont souvent gravés en plusieurs exemplaires sur le même mur d'une église sans que l'on sache vraiment pourquoi, mais parfois on n'en trouve qu'un seul. On ne sait pas exactement qui les a gravés, sans doute des moines, mais les canoniaux ne se retrouvent pas uniquement sur les abbayes mais aussi sur les petites églises rurales et des collégiales.

Cadran N°1



C'est le moins facile à découvrir, il reste peu de chose du tracé sur une pierre du premier contrefort en partant de l'ouest. Par chance, il est parvenu jusqu'à nous car les pierres l'entourant ont été remplacées par des neuves lors d'une restauration récente. Seul le trou de fixation du style est facilement repérable, on voit aussi une ligne verticale et une autre horizontale partant vers la droite. Dans le coin inférieur droit on devine un arc de cercle. Ce cadran est situé à 1,20 mètre au-dessus du sol actuel.

Cadran N°2

Situé aussi à 1,20 mètre du sol sur une pierre du mur sud à droite du premier contrefort, ce cadran mesure 33 cm de diamètre. Là encore le trou central est bien marqué. Au premier coup d'œil ce cadran semble tracé dans un demi-cercle, en fait le cercle est entier mais moins marqué et masqué partiellement par du ciment dans sa partie supérieure.



La partie inférieure est divisée en secteurs inégaux délimités par des lignes gravées plus ou moins fortement. La verticale, la ligne à gauche de celle-ci et les deux horizontales sont évidentes, dans le quart inférieur droit deux autres lignes sont visibles dont celle à droite de la verticale qui ne converge pas exactement vers le trou central comme les autres. Dans le quart inférieur gauche semble apparaître une septième ligne entre l'horizontale et la plus marquée, mais cela pourrait aussi être le hasard de l'érosion qui ait fait son œuvre tellement le tracé est peu évident.

Cadran N°3



Sur le contrefort gauche du clocher se trouve un groupe de trois cadrans. Le supérieur, situé à environ 1,40 mètre au-dessus du sol, mesure 13 cm de diamètre. Il s'agit cette fois d'un demi-cercle dans lequel sont tracées 12 lignes bien marquées qui convergent vers le trou central. Ces 12 lignes délimitent donc 11 secteurs, 6 à gauche et 5 à droite. À noter que les lignes de gauche sont moins rectilignes que celles de droite.

Cadran N°4



Juste au dessous, un autre cadran est gravés beaucoup plus grossièrement. A environ 1,20 m du sol, un cercle irrégulier de 9 cm de diamètre contient des lignes rayonnant autour d'un trou central. Comme dans le cadran N°2, certaines lignes ne convergent pas exactement vers le centre. Est-ce dû à la maladresse du graveur ? Peut-être que non car on rencontre quelquefois ce cas sur les canoniaux. Il est possible que ce soit une manière d'améliorer la précision. En effet, le style étant constitué par un bâton assez gros, l'ombre était large et on traçait peut-être certaines lignes en bordure de l'ombre et non dans l'axe.

Cadran N°5



Le plus bas du groupe des trois est situé à 1 mètre du sol et mesure environ 15 cm de diamètre. Son tracé est peu évident, même le trou central est peu marqué et n'a pas pu recevoir un style, il est possible que dans certains cas il était amovible, on le plaçait à l'endroit du point en le tenant à la main le temps de la lecture de l'heure, on peut même imaginer que l'on se servait simplement d'un doigt pointé sur le mur pour marquer l'ombre. Dans un demi cercle, quelques lignes peu rectilignes convergent. Il s'agit peut être simplement de l'ébauche d'un cadran jamais terminé.

Cadran N°6



Situé à environ 1,30 mètre au dessus du sol, sur le pilier droit du clocher, ce cadran mesure 20 cm de diamètre. Il diffère beaucoup des précédents, à tel point qu'on se demande s'il date bien de la même époque. Les cercles sont tracés très régulièrement, certainement à l'aide d'un compas, les rayons les plus marqués sont rectilignes mais d'autres moins creusés semblent avoir été creusés à main levée. Le trou central est moins grossier que les précédents. Ce tracé ressemble peu aux canoniaux que l'on rencontre habituellement, s'agit-il de l'ébauche d'un cadran à style polaire, ou simplement un dessin décoratif ?

Je remercie M. Denis Schneider pour son aide et tous les renseignements qui ont permis d'écrire cet article.

GENERALITE sur les ANALEMMATIQUES
(B. Rouxel)

Soit F une courbe gauche quelconque et A un point de F . On considère un cadran équatorial composé d'un cercle C et de son axe D . Au jour j il existe un point C_j de D dont l'ombre donne l'heure sur C . Considérons la courbe F_j translattée de F dans la translation de vecteur $\overline{AC_j}$, à l'heure h cette courbe porte ombre sur C , le cylindre d'ombre créé par F_j passe par le point horaire h de C . Un autre jour j' on fait la même opération; la courbe $F_{j'}$ crée un cylindre d'ombre qui passe aussi par h (fig1). À l'heure h tous les cylindres d'ombre engendrés par $F_j, F_{j'}, F_{j''}$... ont en commun la courbe F_h translattée de F dans la translation \overline{Ah} .

Quand h varie les courbes F_h engendrent une surface S qui est une surface de translation. Ces surfaces engendrées par la translation des courbes F_h le long de C ont la propriété suivante: si l'on considère un point k de F_h , quand h vient en h' sur C et k en k' , l'égalité des vecteurs hk et $h'k'$ montre que si h' décrit C , k' décrit un cercle translatté de C , ce qui entraîne que S peut aussi être considérée comme engendrée par des translations de C le long de F_h . En particulier le centre du cercle C décrit une courbe translattée de F (fig2).

Si l'on prend une courbe G rencontrant les diverses lignes horaires F_h de S (fig3) on pourra en déduire un cadran analemmatique à style arbitraire F se déplaçant par translation de C_j sur D .

Si F est une droite, S est un cylindre elliptique, on retrouve le cas classique en prenant pour G une section droite de ce cylindre.

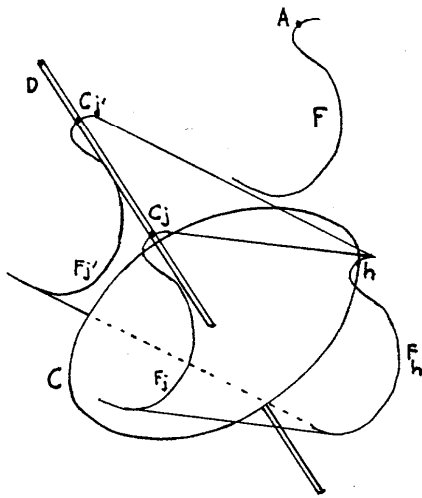


fig1

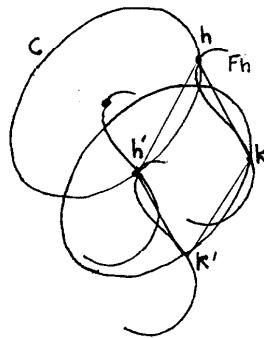


fig2

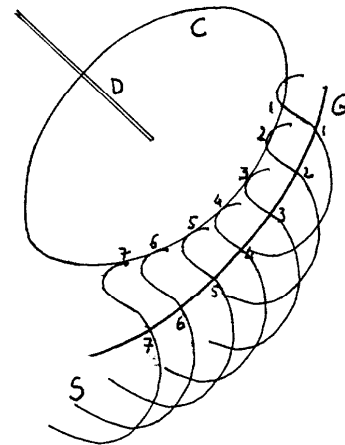


fig3

Inversement on peut se donner G arbitrairement et reconstituer S en translattant un cercle équatorial C s'appuyant sur G . On dispose alors de la graduation de G et du rayon de C . La concordance des graduations de G et de C permet d'obtenir S ; le centre de C décrit la courbe F cherchée.

On peut ainsi définir une nouvelle famille de cadrans analemmatiques où l'on dispose soit de la forme du style F ou de la forme de la courbe graduée G .

Exemples:

1. On prend pour G une droite parallèle à l'axe du monde munie d'une graduation horaire uniforme. Alors F est une hélice circulaire d'axe G . Des translations convenables de l'hélice parallèlement à G donnent l'heure sur F (ou des rotations, ou inversement on peut déplacer F).

2. On prend pour G un cercle horizontal. Des cercles équatoriaux de même rayon que G, rencontrant G en deux points, engendrent S qui est ici un cylindre elliptique. F est une droite, on retrouve le cadran de Foster Lambert.

3. Si G est une droite horizontale orthogonale à l'axe de la terre, graduée uniformément et si le cercle équatorial C est de rayon convenable, alors F est une cycloïde (pour un rayon quelconque on obtient une cycloïde allongée ou raccourcie). Le triangle hachuré tourne à vitesse constante autour d'un axe parallèle à l'axe de la terre D et l'ombre M' de M se déplace à vitesse constante sur G (fig 4).

4. Si G est un cercle équatorial muni d'une graduation horaire uniforme F est une hypocycloïde ou une épicycloïde (allongée ou raccourcie) et S un plan. La figure 5 représente le cas intéressant de l'hypocycloïde à deux rebroussements qui n'est autre que le diamètre du cercle de base (La Hire). On sait que dans ce cas les hypocycloïdes allongées ou raccourcies sont des ellipses. Ce type de cadran pose tout même des problèmes aux équinoxes!

5. Si G est une courbe dans un plan équatorial sans condition de graduation, on peut prendre pour F une courbe arbitraire du plan telle qu'il existe une bijection $M \leftrightarrow M'$ (M sur F, M' sur G) avec MM' de longueur constante. Par exemple la figure 6 utilise deux droites orthogonales, MM' enveloppe une astroïde. La figure 7 signale le cas de la tractrice avec la propriété de la constance de la tangente MM' .

6. On peut aussi se donner directement la surface de translation S et en déduire des couples F, G. La figure 8 représente une surface S engendrée par des cercles équatoriaux de rayon 1 dont le centre décrit un cercle F situé dans un plan méridien. Les équations paramétriques de S peuvent s'écrire sous la forme: $(X = \cos u + \cos v, Y = \sin v, Z = \sin u)$. La courbe G définie par $u = v$ est une ellipse du plan $Z = Y$.

Ces quelques exemples montrent la diversité des cadrans que l'on peut obtenir par cette méthode.

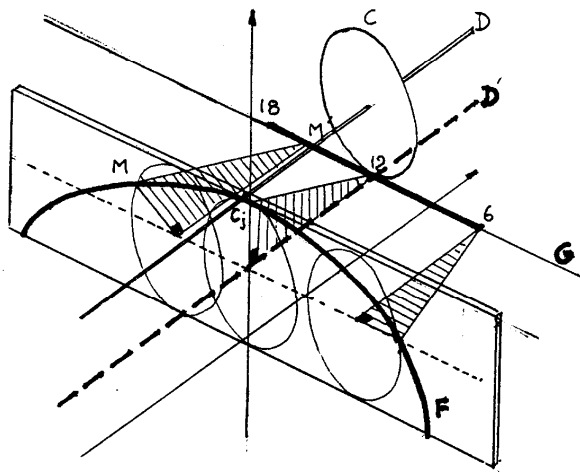


fig 4

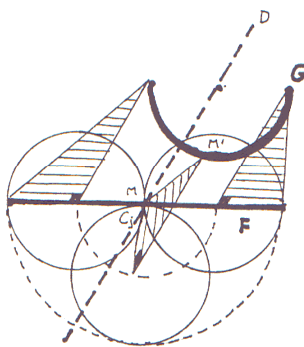


fig 5

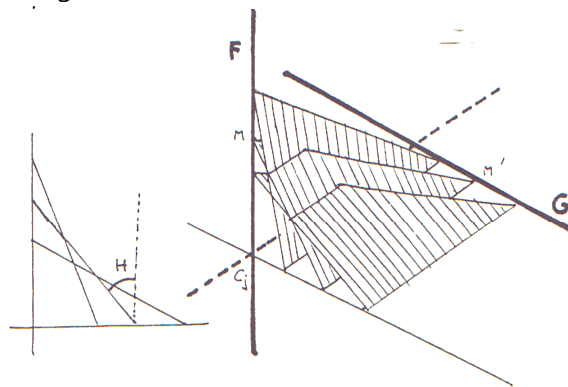


Fig 6



fig7

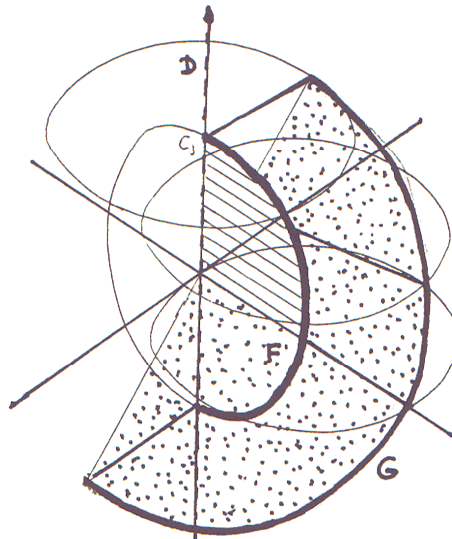


fig 8

Remarque: la même surface S peut donner naissance à divers types de cadrans ainsi la surface S de l'exemple 6 contient également une droite obtenue pour $u = v + \pi$; la courbe G est la droite ($X=0, Y-Z=0$). La position initiale du style circulaire F_0 correspond aux équinoxes, dans la translation le long de D, F_0 vient en F_j et l'on constate l'égalité des segments $ab, a'b'..a''b''$ orthogonaux à D, ce qui entraîne l'égalité des triangles hachurés, d'où l'inclinaison constante sur D des segments $ac, a'c'..a''c''$ (fig9).

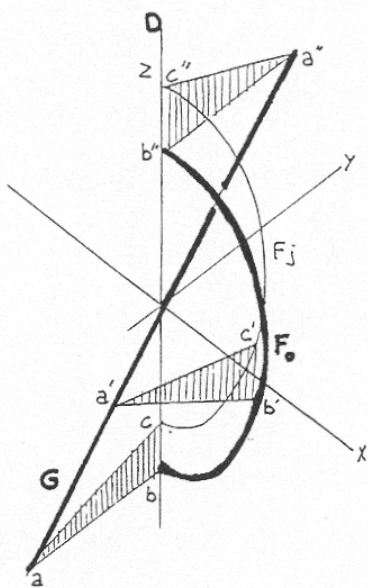
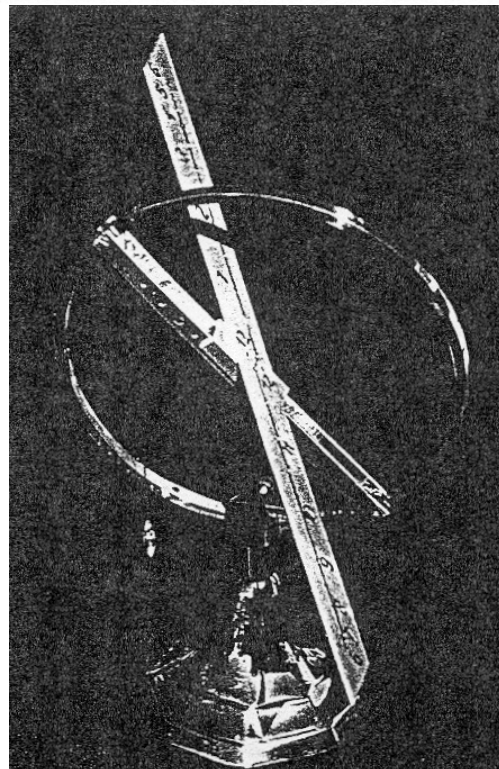


Fig 9



7. Autre exemple de surface $S : (X = \cos u + \cos v, Y = \sin v, Z = \cos^2 u)$. Si l'on considère la courbe $v = \pi - u$ on obtient $(X=0, Y=\sin u, Z=\cos^2 u)$ qui appartient à la parabole $(X=0, Z=1-Y^2)$. G et F sont des paraboles, on constate sur la figure 10 l'égalité des triangles hachurés (voir fig 9).

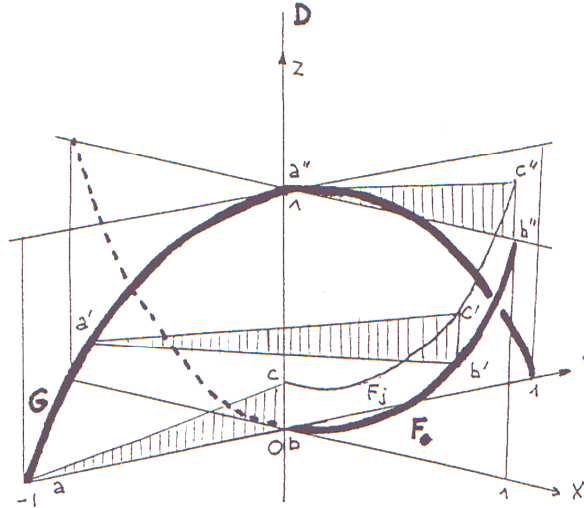


fig 10

CADRANS BIFILAIRES, étude géométrique (B. Rouxel)

Nous présentons ici une étude géométrique des cadrans bifilaires; en dehors de l'intérêt mathématique (qui réjouira les géomètres) cette étude peut servir aussi aux gnomonistes car elle met en évidence un type de cadran bifilaire qui semble avoir été délaissé jusqu'à présent. Par ailleurs elle permet de mesurer les difficultés qui attendent ceux qui souhaiteraient remplacer les fils rectilignes par des courbes quelconques ou le plan du cadran par une surface arbitraire.

Le cadran bifilaire général.

On considère deux droites D_1 et D_2 et une surface S , et l'on souhaite lire l'heure à l'aide de l'intersection des ombres de D_1 et D_2 sur S (D_1 et D_2 sont supposées non parallèles). Comment choisir S pour que les lignes horaires sur S ne soient pas trop compliquées ? D_1 et D_2 étant données on considère un plan P parallèle à D_1 et D_2 , il existe une droite D unique parallèle à l'axe du monde, rencontrant D_1 et D_2 en A_1 et A_2 et P en O (en effet les droites parallèles à l'axe du monde et rencontrant D_1 engendrent un plan dont l'intersection avec D_2 détermine A_2 ...).

Détermination des lignes horaires: pendant l'année pour une heure donnée h les rayons solaires sont parallèles à un plan horaire passant par D . Géométriquement cela signifie que pour l'heure h le soleil s décrit dans le plan de l'infini une droite D_h passant par d point à l'infini de D . Les rayons solaires qui nous intéressent à l'heure h rencontrent donc D_1, D_2 et D_h . On sait (1) que les droites de l'espace qui rencontrent trois droites fixes engendrent une quadrique (hyperboloïde à une nappe ou paraboloid hyperbolique). Dans le cas présent c'est un paraboloid hyperbolique car la conique à l'infini de cette surface est décomposée en deux droites: D_h et une autre droite D' déterminée par les deux points à l'infini de D_1 et D_2 . En résumé les rayons solaires relatifs à l'intersection des ombres de D_1 et D_2 sur S engendrent pendant l'année un paraboloid hyperbolique Σ_h . les surfaces Σ_h forment un faisceau linéaire de quadriques et ont en commun les droites D_1, D_2, D et D' (fig1).

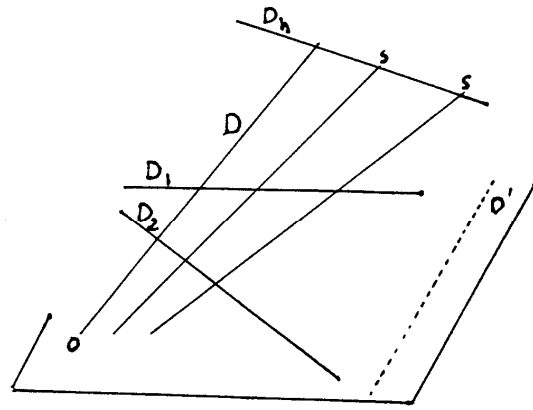


fig1

Quelle sera la nature de la ligne horaire h ? C'est l'intersection de h et de S . On dispose alors d'un théorème dû à Bezout (2) qui affirme que si Σh et S sont des surfaces algébriques de degré p et q , leur intersection est de degré pq . Ici h est de degré 2, le degré de la ligne horaire sera $2q$. Si S est un plan ce sera une conique, si S est une quadrique (ellipsoïde, hyperboloïde, parabololoïde) ce sera une courbe de degré 4 (biquadratique gauche ou cubique gauche si S et Σh ont une génératrice commune...).

Cas où S est un plan, c'est le cas le plus simple; les lignes horaires engendrent un faisceau de coniques passant par les 4 points de D_1, D_2, D, D' et de S , ce sont en général des hyperboles. Ces coniques peuvent se décomposer pour des positions particulières de S , il suffit pour cela que S contienne une droite commune à tous les parabololoïdes Σh : il n'y a que 4 possibilités D_1, D_2, D ou D' .

Si S contient D_1 ou D_2 le cadran bifilaire n'existe plus d'où seulement deux cas intéressants, S contient D ou D' . Si S contient D' on obtient le cas classique: le plan S est parallèle à D_1 et D_2 . Si S contient D on obtient le cas non classique.

Bifilaire classique.

Nous prenons S pour plan horizontal rapporté à un repère orthonormé $Oxyz$ où O est l'intersection de D et de S , le plan Oyz contient D (fig 2). Les parabololoïdes Σh coupent S selon une conique décomposée en deux droites: la droite à l'infini de S et une autre droite qui devant rencontrer D passe par O . Les lignes horaires du cadran forment un ensemble de droites passant par O .

Pour préciser ces lignes horaires nous commencerons par établir une formule de trigonométrie élémentaire. Soit une droite OM de S faisant un angle α avec Ox : quel est l'angle H' du plan défini par OM et D avec le plan méridien Oyz ? (fig3). Soient H_1 et H_2 les projections respectives de M sur Oy et D ; H_1H_2 est orthogonal à D (théorème des 3 perpendiculaires) d'où $H_1M = H_1H_2 \tan H'$ mais $H_1M = OM \cos \alpha$ et $H_1H_2 = OM \sin \alpha \sin \varphi$

d'où $\cos \alpha = \sin \alpha \sin \varphi \tan H'$

ce qui permet d'obtenir H' en fonction de α et de φ

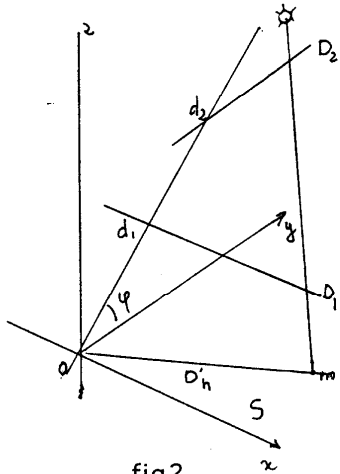


fig2

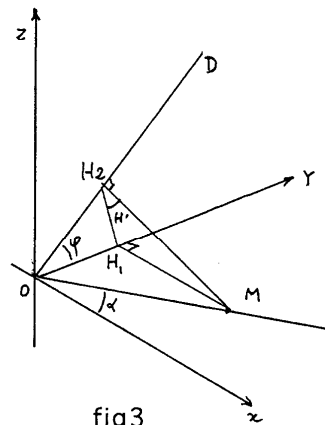


fig3

Nous désignons par d_1 et d_2 les intersections de D_1 et D_2 avec D . Dans le cas qui nous intéresse D_2 (fil supérieur) est dans le plan méridien et D_1 (fil inférieur) est parallèle à Ox . Précisons la relation qui lie l'angle horaire H et l'angle avec Ox de la droite horaire correspondante.

Pour cela il suffit de considérer le paraboloidé Σ_h dont on connaît 3 génératrices horizontales D_1, D_2 et D' , ces génératrices déterminent avec D les plans tangents à Σ_h en d_1, d_2 et O . On se souvient alors que Chasles en son temps (3) a énoncé un théorème sur la variation du plan tangent le long d'une génératrice D d'une surface réglée de la manière suivante : le birapport (ou rapport anharmonique) de 4 points d'une génératrice D d'une surface réglée est égal au birapport des 4 plans tangents correspondants. Ce dernier est égal au birapport des tangentes des angles de ces plans avec un plan fixe, par exemple le plan méridien Oyz d'où l'égalité

$$(Od_1, Od_2, O, \infty) = (\infty, 0, \tan H', \tan H)$$

d'où

$$\tan H \tan \alpha = Od_1 / Od_2 \sin \varphi$$

en utilisant la formule établie plus haut.

La répartition des lignes horaires sera homogène si $H + \alpha$ ou $H - \alpha$ est constant ce qui à l'aide de la formule exprimant $\tan(H + \alpha)$ et $\tan(H - \alpha)$ en fonction de $\tan H$ et $\tan \alpha$ ne peut avoir lieu que si

$$Od_1 / Od_2 = \sin \varphi$$

On retrouve ainsi cette relation bien connue.

Bifilaire non classique.

Le plan S du cadran contient D . Pour un tel cadran la droite joignant les points d'intersections des fils D_1 et D_2 avec S est parallèle à l'axe de la terre. Dans ce cas les lignes horaires sont des droites qui passent par le point d'intersection du plan du cadran et de la droite à l'infini des plans parallèles à D_1 et D_2 : les lignes horaires sont parallèles entre elles.

Ceci peut se vérifier analytiquement, nous allons le faire sur un exemple simple.

Le fil D_1 est vertical et détermine l'axe Oz . Le plan zOy est le plan méridien de O . Le plan S du cadran est perpendiculaire au plan méridien et fait un angle φ (latitude) avec le plan horizontal xOy . Le fil D_2 est dans un plan vertical à une distance a du plan xOz et rencontre D en A_2 . On désigne par ψ l'angle de D_2 et du plan horizontal (fig4). Les équations de D_1, D_2, D sont respectivement

$$(x=0, y=0), (y=a, z=atan\varphi + x\tan\psi), (x=0, z=y\tan\varphi)$$

Une droite L rencontrant D_1 a une équation de la forme $(y=px, z=qx+r)$ où p, q, r sont des scalaires arbitraires; pour que L rencontre D_2 le système suivant doit être compatible

$$(y=px, z=qx+r, y=a, z=atan\varphi + x\tan\psi)$$

ce qui par élimination fournit la condition (C)

$$pr = p \tan \varphi + a \tan \psi - qa$$

L'angle horaire H relatif à L est l'angle du plan méridien et d'un plan parallèle à D et L . Pour le calculer on prend le produit scalaire des vecteurs normaux à ces plans soit $(1, 0, 0)$ pour zOy et le vecteur $(q - p \tan \varphi, \tan \varphi, -1)$ pour le deuxième (obtenu en prenant le produit vectoriel de 2 vecteurs portés par D et L). On en déduit $(q - p \tan \varphi) \tan H \cos \varphi = 1$ il reste alors à chercher l'intersection m de L et S en résolvant le système

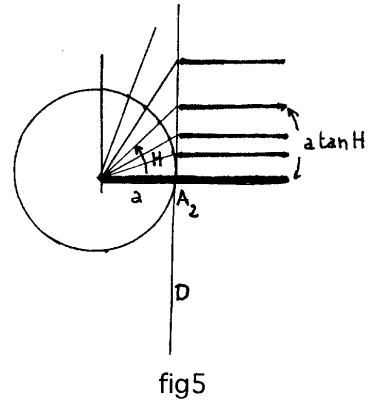
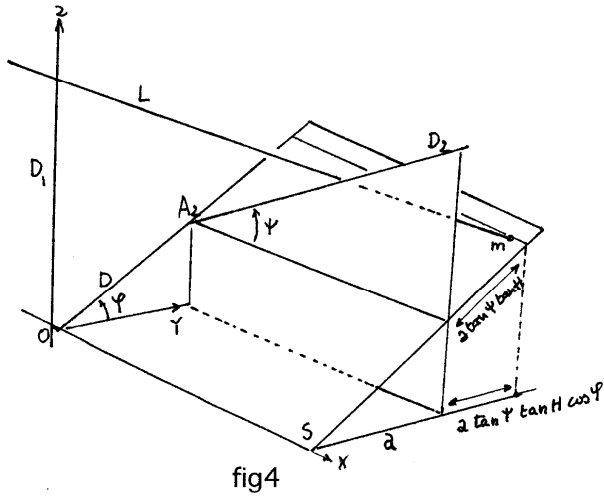
$$(z = y \tan \varphi, y = px, z = qx + r)$$

On trouve compte tenu de la condition (C)

$$y = a \tan \psi \cos \varphi \tan H$$

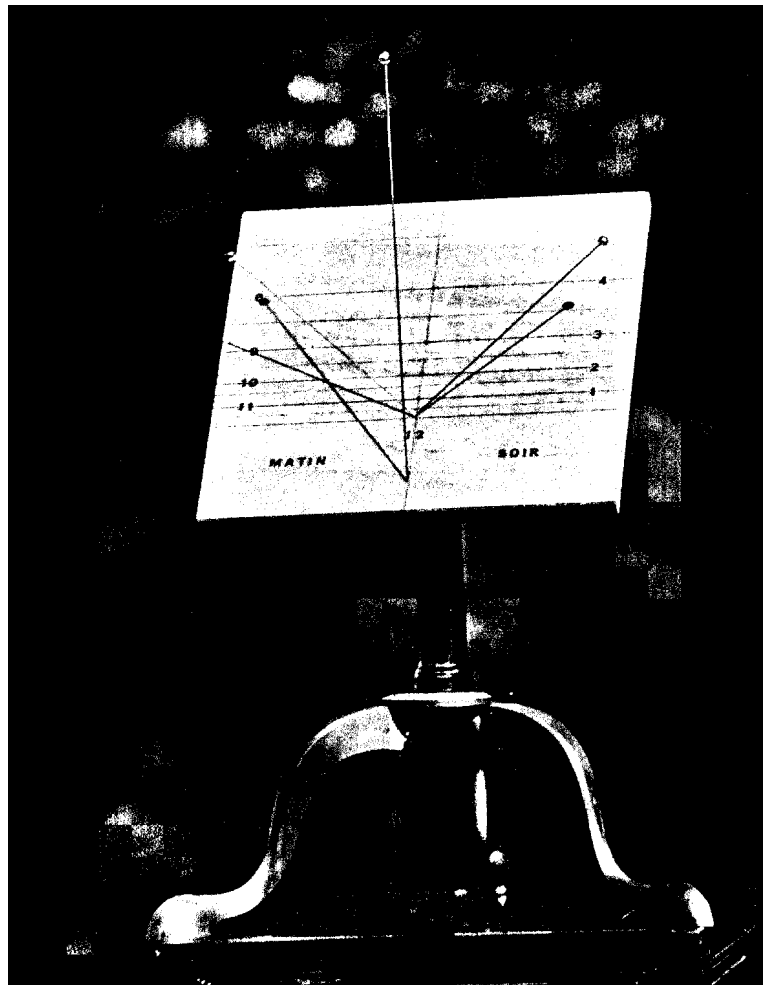
Ce qui montre que les lignes horaires sont des droites parallèles à Ox , ce qui était prévu par la théorie. Dans le cas $\psi = \pi/4$ on peut obtenir aisément les lignes horaires dans le plan du cadran à l'aide d'une construction géométrique semblable à celle utilisée pour les cadrans polaires (fig5).

Remarque: il est possible de donner une démonstration géométrique de cette dernière formule à l'aide du théorème de Chasles cité plus haut.



Bibliographie:

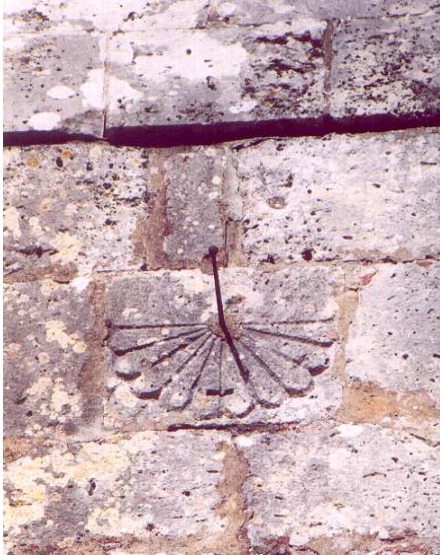
- (1) Commissaire et Cagnac, Cours de Mathématiques Spéciales (Paris 1951).
- (2) Bezout, Théorie générale des équations algébriques (Paris 1779)
- (3) Chasles, Mémoire sur les surfaces engendrées par une ligne droite (Correspondance Mathématique et Physique de M. Quételet, 1839).



CADRANS CANONIAUX à PETALES

(D.Schneider)

Sans en faire une catégorie à part, on connaît dans l'inventaire national au moins 3 cadrans canoniaux dont les divisions horaires limitent des espaces en forme de pétales à bout arrondi alors que d'autres cadrans sont limités en périphérie par un bord festonné sans plus.



Cadran de Meung (photo Ph. Sauvageot)

Ils ne sont pas gravés, mais bien sculptés sinon en ronde-bosse du moins en méplat.

° Deux sont sur des collégiales: Celle de Saint-Liphard à Meung –sur –Loire (45) avec style court et boursoufflé en bout. Remarque : un trait vient croiser Sixte, comme 3 heures avant et 3 heures après pour Tierce et None. Celle de Saint Gnenès à Thiers (63) avec style long et mince. Toutes les deux sont à grande hauteur.

° Un sur une abbatale: celle de la Chaise-Dieu (63) à faible hauteur.

Si les cadran de Meung-sur-Loire et de la Chaise-Dieu sont sur de simples contreforts, celui de Thiers est intégré au transept Sud et a été pensé avec le projet architectural: logé entre 2 arcatures, bandeau de protection demi-circulaire, sous une rosace à 7 branches

et 12 dents qui lui fait écho.

Curieusement, aucun des 3 cadrans canoniaux n'a le même nombre de pétales : 10 à Meung, 11 à Thiers, 12 à la Chaise-Dieu.

A Thiers, les 11 pétales couvrent plus de 180° et l'ensemble présente une légère rotation d'environ 11,25° qui fait qu'il y a 6 pétales pour le matin et 5 pour l'après-midi; rotation vérifiée par l'inclinaison du croissant dans la moitié supérieure du cadran. Peut-être le cadran a-t-il été tourné dans cette position pour permettre que la verticale de Sixte tombe entre 2 pétales de part leur nombre impair?

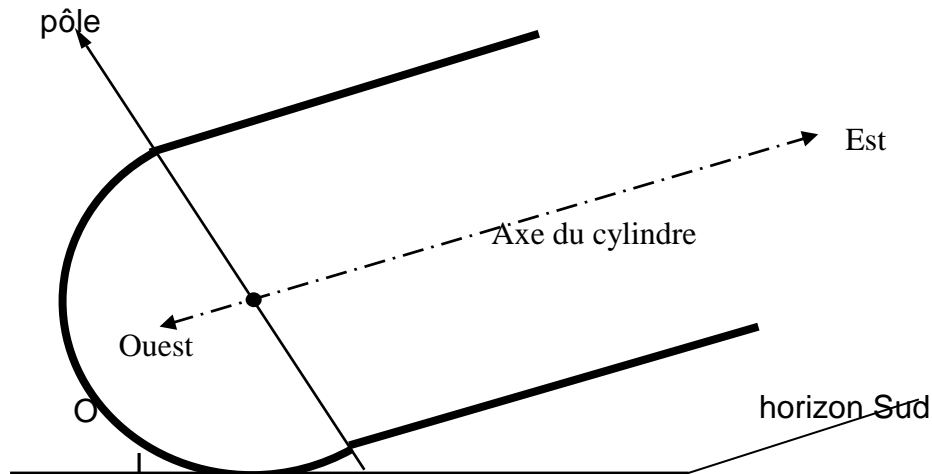
Il est curieux de constater que le cadran canonial du VII^{ème} siècle, en Jude, à Sa'ar se présentant sous la forme d'un hémicyclium où heures canoniales et heures temporaires coïncident réellement, présente aussi entre les lignes horaires comme des pétales. Il est d'influence byzantine comme l'atteste la croix sculptée.

On retrouve ce type de cadran à palmettes, mais verticaux, en Arménie, en Turquie (Noratus, Alayaz, T'Anachat, Task'ent, Svartnots, Ani) et même en Italie du Sud (cathédrales de Molfetta et de Ruvo) où les populations des pays précités ont trouvé refuge sous la pression des invasions sarrasines. On notera aussi qu'il n'y a que 11 secteurs sur le cadran de Svartnots à Orchomenos (Grèce) ainsi qu'à Jérusalem sur l'un des deux canoniaux situés sur l'église arménienne.

Les cadrans canoniaux à palmettes français ont-ils subi une influence orientale au retour de pèlerinages, de croisades, ou cela reflète-il qu'un tel motif décoratif s'impose spontanément à l'esprit? Il semble qu'à Thiers le transept au moins soit d'inspiration orientale mais il faudra investiguer davantage.

CADRAN CYLINDRIQUE HORIZONTAL CREUX
(D.SAVOIE)

Formules pour tracer un cadran solaire point par point à l'intérieur d'un demi cylindre horizontal, dont l'axe est orienté Est-Ouest.



Soit un cylindre horizontal creux de rayon R dont l'axe est orienté dans la direction Est-Ouest. Le cylindre est coupé en deux selon le diamètre. Un style polaire muni d'une bille projette à l'intérieur une ombre dont on cherche les coordonnées¹.

Formules:

Soient A l'azimut du Soleil et h sa hauteur. On calcule la quantité ρ de la façon suivante :

$$\rho^2 = R^2 / (q^2 + r^2) \quad (1)$$

avec $q = (-\cos h \cos A)$ et $r = (\sin h)$

On calcule aussi $p = (-\cos h \sin A)$

De (1), on déduit ρ , mais il y a deux solutions : une positive et une négative. On prend toujours la négative ($-\rho$).

On calcule ensuite x' , y' et z' :

$$x' = \rho p$$

$$y' = (\rho q) \sin \phi - (\rho r) \cos \phi$$

$$z' = (\rho q) \cos \phi + (\rho r) \sin \phi$$

Enfin, on calcule : $\tan \beta = (z'/y')$

¹ Les lignes horaires sont des courbes complexes qui se dilatent de plus en plus à partir de $H = \pm 60^\circ$.

Les coordonnées mesurées sur le cylindre (avec un mètre à ruban souple par exemple), comptées depuis O, image de la bille à midi vrai le jour de l'équinoxe ($\delta = 0^\circ$, $H = 0^\circ$) sont :

$$X = x'$$

$$Y = R \beta \pi / 180^\circ$$

L'axe des X est dans le plan équatorial (vers l'Est), tandis que les Y sont comptés sur la ligne midi qui coïncide avec le méridien (positivement si $\delta > 0^\circ$).

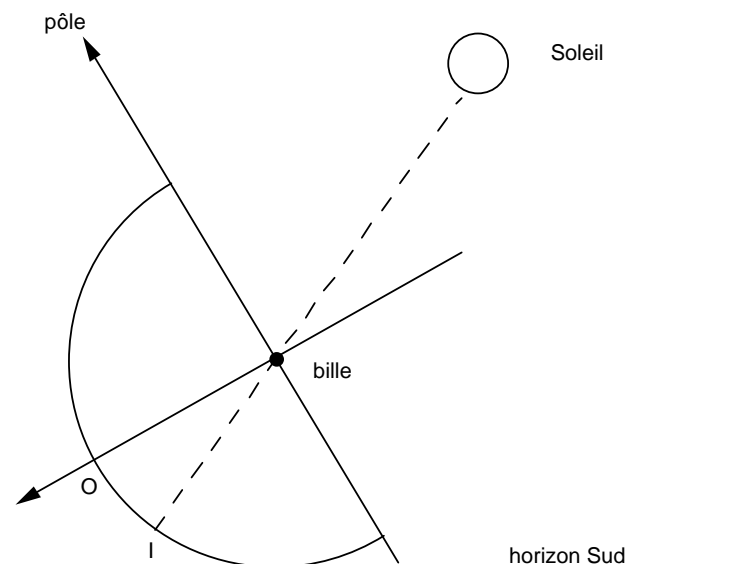
Exemple : $\phi = 48^\circ$ $R = 15 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \delta &= +23^\circ,4333 & H &= 0^\circ & \rho &= -15 \\ x' &= 0 & y' &= 13,763 & z' &= -5,965 \\ \beta &= -23^\circ,433 & Y &= -6,135 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= +23^\circ,4333 & H &= 30^\circ & \rho &= -16,881 \\ x' &= 7,744 & y' &= 13,414 & z' &= -6,713 \\ \beta &= -26^\circ,587 & Y &= -6,960 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= -23^\circ,4333 & H &= 45^\circ & \rho &= -19,712 \\ x' &= 12,789 & y' &= 12,789 & z' &= 7,839 \\ \beta &= 31^\circ,507 & Y &= 8,248 \end{aligned}$$

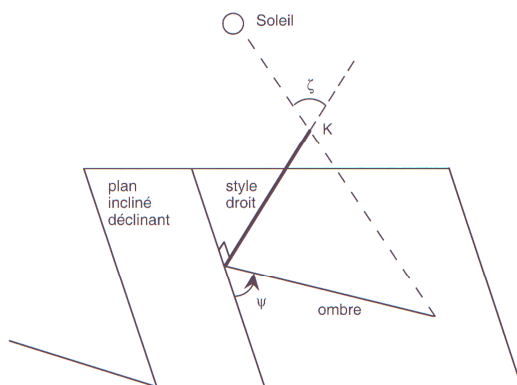
$$\begin{aligned} \delta &= 0^\circ & H &= 15^\circ & \rho &= -15,529 \\ x' &= 4,019 & y' &= 15 & z' &= 0 \\ \beta &= 0^\circ & Y &= 0 \end{aligned}$$



PLAN INCLINÉ et DECLINANT (D. SAVOIE)

A la demande de Pierre Dallet, je donne ici la démonstration de deux formules fondamentales en gnomonique, puisqu'elles permettent de déterminer la position de l'ombre d'un style droit sur un plan incliné et déclinant¹.

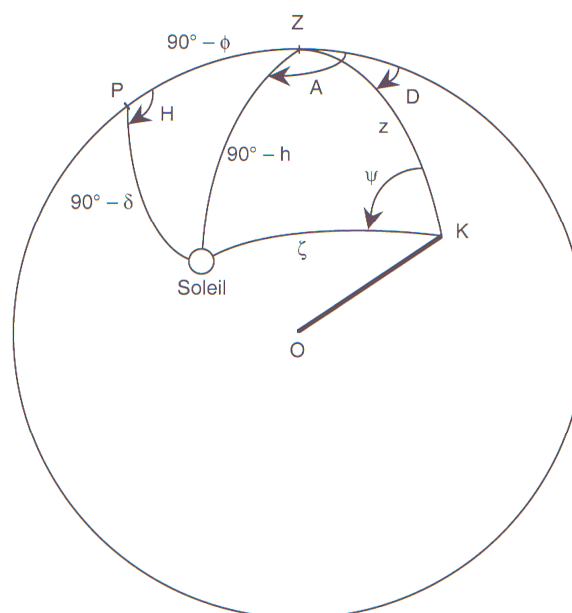
Selon les conventions adoptées dans *Gnomonique moderne* et dans *La Gnomonique* (mais pas dans le logiciel de P. Dallet "Solarium"; voir *infra*), soient ϕ la latitude du lieu, D la déclinaison gnomonique d'un style droit d'extrémité K , z la distance zénithale de la direction pointée par ce style droit, A l'azimut du Soleil et h sa hauteur.



On veut définir la longueur et la position de l'ombre du style droit sur un plan incliné-déclinant. Soient ζ l'angle entre la direction du style droit et la direction du Soleil, ψ l'angle entre la direction de l'ombre du style droit sur le plan du cadran et la ligne de plus grande pente, compté dans le sens trigonométrique (fig. 1).

◀ figure 1

L'établissement des formules ζ et ψ est immédiat en trigonométrie sphérique; la figure 2 ci-dessous, représente en vision sphérique le style droit d'un cadran incliné-déclinant.



On a :

$$\cos \zeta = \cos z \sin h + \sin z \cos h \cos (A - D) \quad (1)$$

¹ Ces formules étaient connues dans l'Antiquité; on les trouve sous une autre forme dans un petit traité écrit par Ptolémée au II siècle de notre ère.

$$\tan \psi = \sin (A - D) / (\sin z \tan h - \cos z \cos (A - D)) \quad (2)$$

On dispose également d'une relation qui lie ζ et ψ :

$$\sin \zeta \sin \psi = \cos h \sin (A - D) \quad (3)$$

Rappelons que l'on calcule h et A par les relations suivantes :

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H$$

$$\tan A = \sin H / (\sin \phi \cos H - \cos \phi \tan \delta) \quad (\text{A étant du même signe}$$

que H).

On pourrait bien entendu développer ces formules pour exprimer ζ et ψ uniquement en fonction de H et δ du Soleil (H étant l'angle horaire et δ la déclinaison), mais cela alourdirait considérablement les relations.

En définitive, ζ et ψ sont des coordonnées tabulaires sur un plan incliné-déclinant, équivalentes à la hauteur et à l'azimut du Soleil sur l'horizon. Il suffit d'ailleurs de faire $D = 0^\circ$ et $z = 0^\circ$ pour retrouver les coordonnées horizontales classiques utilisées en astronomie².

Il est important de bien comprendre que les relations (1) et (2) permettent de résoudre tous les cas de figure en gnomonique plane.

La relation (1) permet aussi de résoudre les problèmes d'éclairement d'un plan incliné-déclinant, puisque dès que $\zeta \geq 90^\circ$, le plan cesse d'être éclairé. Il convient cependant de vérifier si la hauteur du Soleil est bien supérieure à zéro même lorsque $\zeta < 90^\circ$!

Si l'on dérive la formule donnant $\cos \zeta$ par rapport à l'angle horaire, on vérifie que la dérivée $d\zeta/dH$ est égale à zéro lorsque l'angle horaire H du Soleil est égal à celui de la sous-styloire, soit $\tan H = \tan S = \sin D / (\cos D \sin \phi + \cotan z \cos \phi)$. Si maintenant on introduit ce résultat dans la formule (2), on vérifie qu'à cet instant, ψ est égal à l'angle tabulaire S' de la sous-styloire.

De façon concrète, on utilise ces formules de la manière suivante : ϕ , D et z étant fixés, on calcule l'azimut A et la hauteur h du Soleil en fonction de son angle horaire et de sa déclinaison. Par exemple si $\phi = 48^\circ$, $D = 50^\circ$ et $z = 70^\circ$, on obtient pour la journée du 21 juin ($\delta = +23^\circ,433$), les valeurs étant exprimées en degrés :

H = -105	A = -116.536	h = 7.853	$\zeta = 149.156$	
H = -90	A = -106.173	h = 17.189	$\zeta = 136.065$	
H = -75	A = -95.774	h = 27.028	$\zeta = 122.458$	
H = -60	A = -84.620	h = 37.049	$\zeta = 108.707$	
H = -45	A = -71.582	h = 46.858	$\zeta = 94.990$	
H = -30	A = -54.735	h = 55.814	$\zeta = 81.452$	$\psi = -$
33.333				
H = -15	A = -31.174	h = 62.692	$\zeta = 68.281$	$\psi = -$
29.208				
H = 0	A = 0.000	h = 65.433	$\zeta = 55.793$	$\psi = -$
22.650				

²On notera dans ce cas que ζ est l'équivalent de la distance zénithale du Soleil, c'est-à-dire $90^\circ - h$.

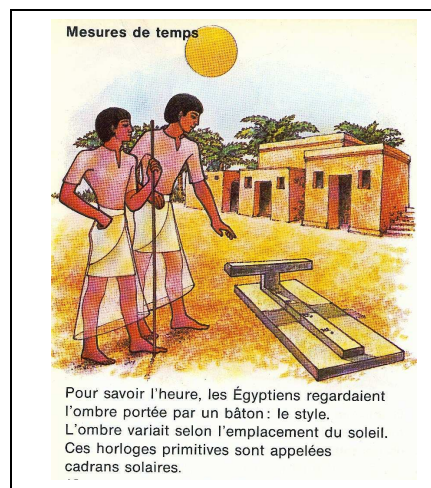
H = 15 12.170	A = 31.174	h = 62.692	$\zeta = 44.607$	$\psi = -$
H = 30 4.527	A = 54.735	h = 55.814	$\zeta = 35.991$	$\psi =$
H = 45 28.248	A = 71.582	h = 46.858	$\zeta = 32.104$	$\psi =$
H = 60 53.013	A = 84.620	h = 37.049	$\zeta = 34.588$	$\psi =$
H = 75 71.424	A = 95.774	h = 27.028	$\zeta = 42.331$	$\psi =$
H = 90 83.116	A = 106.173	h = 17.189	$\zeta = 53.071$	$\psi =$
H = 105 90.411	A = 116.536	h = 7.853	$\zeta = 65.331$	$\psi =$

On vérifie sur cet exemple que le plan n'est éclairé qu'à partir de $H = -30^\circ$ (précisément à partir de $H = -39^\circ$); calculer ψ avant n'a donc aucun intérêt. Il convient en outre de bien vérifier le quadrant dans lequel se trouve ψ , en particulier lorsqu'il y a une discordance entre les relations (2) et (3). Dans l'exemple ci-dessus, la machine donne, pour $H = +105^\circ$, $\psi = -89,589$ avec la formule (2) et $\psi = +89,589$ avec la formule (3). Il faut donc corriger le résultat de 180° .

Il y a ici un véritable problème pour positionner correctement l'ombre du style, car il est parfois difficile de savoir s'il faut corriger ou pas le résultat de $\pm 180^\circ$. La seule solution, qui fonctionne dans tous les cas de figure y compris dans l'hémisphère Sud, est de calculer les coordonnées rectangulaires x et y de l'extrémité de l'ombre, par exemple à l'aide des formules données dans les deux ouvrages précités.

Si l'on appelle a la longueur du style droit, la longueur de son ombre sur le plan d'inclinaison et d'orientation quelconques est égal à $(a \tan \zeta)$. Par rapport à la ligne de plus grande pente du plan, cette ombre fait un angle ψ , compté dans le sens trigonométrique.

Dans son logiciel *Solarium*, Pierre Dallet appelle YGK l'angle ψ . D'autre part, il appelle GKS l'angle correspondant à $(90^\circ - \zeta)$.



OMBRE et PENOMBRE (D. SAVOIE)

[1^{er} partie]

La plupart des cadrans solaires utilisent comme principe le déplacement de l'ombre d'un objet sur un plan pour déterminer l'heure et la date. Or il est facile de constater que l'ombre d'un style polaire de forme cylindrique par exemple a une certaine épaisseur et que son extrémité est plus ou moins floue. On admet qu'il est "telle heure" sur le cadran lorsque le "centre" de l'ombre projetée par une tige recouvre une ligne horaire. Par contre, pour lire précisément l'indication de l'extrémité de l'ombre du style sur un arc diurne, on est confronté au problème de la pénombre, qui altère parfois notablement la lecture. Ces inconvénients sont connus depuis l'Antiquité; on les contourne en partie en munissant l'extrémité du style d'une boule ou mieux, d'un oeilleton.

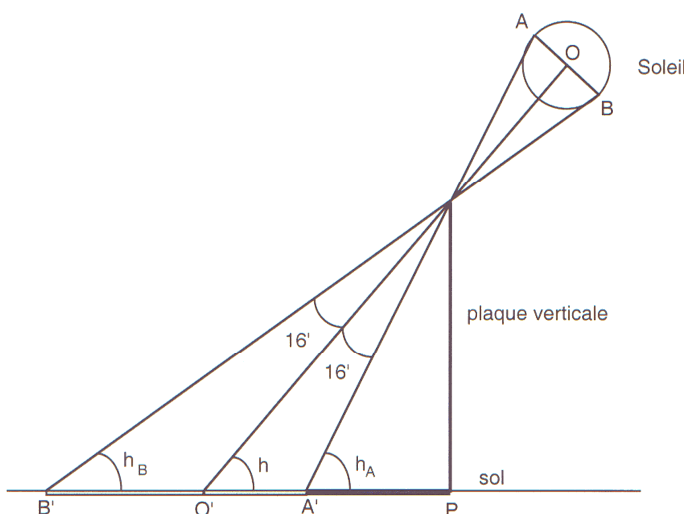
En fait, les problèmes d'ombre et de pénombre sont surtout importants sur les cadrans solaires de grandes dimensions. Examinons de plus près les erreurs induites par ces phénomènes et comment on peut (partiellement) y remédier.

1 – Cadran horizontal

Il n'est pas inutile pour commencer de rappeler deux définitions :

- ombre : zone sombre créée par un corps opaque qui intercepte les rayons d'une source lumineuse; absence de lumière (surtout du Soleil) dans une telle zone.
- pénombre : zone d'ombre partielle créée par un corps opaque qui intercepte une partie des rayons d'une source lumineuse étendue.

A l'oeil nu, faire la différence entre l'ombre pure et la pénombre est pratiquement impossible; il suffit d'examiner l'extrémité de l'ombre de l'obélisque de la place de la Concorde à Paris pour s'en rendre compte. Intuitivement, on constate de plus que plus le Soleil est bas sur l'horizon, moins l'ombre d'un style est nette et plus la pénombre prend de l'importance. Il arrive même un moment où on ne distingue plus qu'une vague absence de lumière, de sorte que la lecture de l'heure devient impossible !



Pour fixer les idées, imaginons une plaque métallique mince, verticale, dont l'arête projette au sol au rideau d'ombre (figure 1). En raison du diamètre apparent du Soleil, qui vaut 32' en moyenne¹, la zone PA' est de l'ombre pure et la zone O'B' est de la pénombre. En théorie, on doit lire l'heure lorsque la zone PO' arrive sur une ligne horaire fictive, puisque cette zone PO' correspond au photocentre du Soleil. Mais dans la réalité, comme on ne peut pas trop apprécier la zone O'A', c'est la zone PA' qui est prise en considération.

◀ figure 1

Si l'on plaçait son oeil au sol, on verrait depuis A' le bord supérieur du Soleil, et donc son premier rayon; en O', on verrait le centre O du Soleil; en B' on verrait le bord inférieur du Soleil.

¹Le demi-diamètre apparent du Soleil varie de 16' 16" au périhélie (début janvier) à 15' 44" à l'aphélie (début juillet).

Ce qui veut donc dire que la hauteur du Soleil issue du calcul se rapporte à O, centre du Soleil; la hauteur h_A est la hauteur du Soleil affectée du demi-diamètre (soit $h_A = h + 16'$) et la hauteur h_B correspond à $(h - 16')$.

Il est donc facile de calculer les valeurs de l'ombre pure et de pénombre; en prenant une hauteur $a = 100$ cm pour la plaque métallique, on a pour une latitude de 48° :

$$PA' = a \cotan (h + 16')$$

$$PO' = a \cotan (h)$$

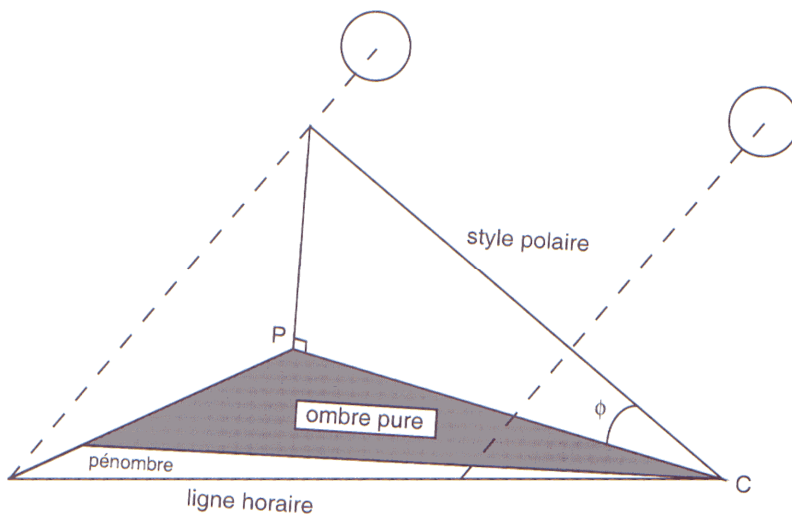
$$PB' = a \cotan (h - 16')$$

Le tableau suivant résume les valeurs (en cm) obtenues :

h	PO'	PA'	PB'
60°	57,74	57,12	58,36
50°	83,91	83,12	84,71
40°	119,18	118,06	120,31
30°	173,21	171,36	175,08
20°	274,75	270,82	278,78
10°	567,13	552,09	582,98

Ce qui nous intéresse ici, c'est la différence entre PO' et PA' , c'est-à-dire la différence entre la longueur théorique du rideau d'ombre (PO') mais qui est située dans la pénombre, et PA' qui constitue l'ombre pure. On remarque par exemple que pour une hauteur du Soleil de 10° , l'écart atteint 15 cm; pour des hauteurs inférieures, l'écart atteint des valeurs considérables. Appelons Δ la différence $PO' - PA'$; on a :

$$\Delta = a [\cotan h - \cotan (h + 16')]$$



Si l'on considère maintenant le style polaire d'un cadran horizontal (figure 2), le rideau d'ombre triangulaire projeté au sol résulte de la somme des extrémités d'une série de styles droits de hauteurs différentes. Or Δ dépend aussi de la longueur d'un style droit, ce qui signifie que plus on se rapproche du pied du style polaire, plus l'effet de pénombre est atténué; c'est l'inverse lorsqu'on s'en éloigne.

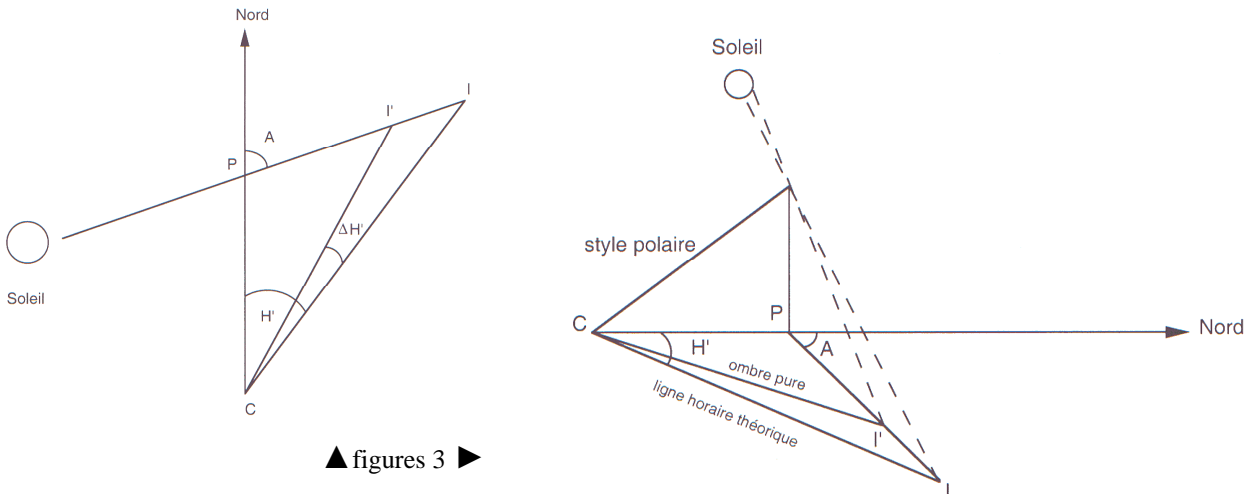
◀ figure 2

Ce qui signifie que par rapport à une ligne horaire théorique, la zone de pénombre s'évase depuis le pied du style polaire jusqu'à l'extrémité de l'ombre.

Il en résulte que dans la lecture de l'heure, on aura tendance à estimer que le cadran est en avance le matin² (puisque c'est l'ombre pure qui coïncide en premier avec la ligne horaire, l'ombre du photocentre arrivant après) et à estimer que le cadran retarde l'après-midi (puisque c'est l'ombre du photocentre qui arrive en premier).

Il est intéressant d'estimer, dans le cas d'un cadran horizontal muni d'un style polaire, le temps ΔH que met l'ombre pure à atteindre une ligne horaire lorsque l'ombre du photocentre solaire coïncide avec une ligne. La figure 3 représente un cadran horizontal vu depuis le zénith:

²Il se passe le même phénomène avec un cadran solaire vertical : le matin, plus précisément avant le franchissement de la sous-styloire, on surestime l'heure. On la sous-estime après.



▲ figures 3 ►

C'est le pied du style polaire, P le pied du style droit de longueur a , H' est l'angle tabulaire d'une ligne horaire avec midi, A l'azimut du Soleil et h sa hauteur. PI est l'ombre du style droit correspondant au photocentre, CI étant la longueur de l'ombre du style polaire sur une ligne horaire, et PI' l'ombre du style droit correspondant au bord supérieur du Soleil, de sorte que CI' est l'ombre pure du style polaire (alors que CI est l'ombre théorique). Il est facile d'obtenir $\Delta H'$, c'est-à-dire l'angle entre l'ombre pure et l'ombre théorique. On a en effet :

$$\sin \Delta H' = II' \sin (A - H') / CI'$$

avec

$$\tan H' = \sin \phi \tan H$$

$$II' = a [\cotan h - \cotan (h + 16')]$$

$$\tan F = \tan \phi / \cos H$$

$$CI = [(a/\sin \phi) \cos \delta] / \cos (F - \delta)$$

$$CI'^2 = II'^2 + CI^2 - 2.CI.II' \cos (A - H')$$

Ayant $\Delta H'$, on déduit ΔH par : $\tan \Delta H = \tan (H' - \Delta H') / \sin \phi$

Sur le cadran, on voit H alors qu'on lit $H + \Delta H$ (l'après-midi, car le matin on lit $H - \Delta H$). Comme ces formules sont assez lourdes, il est plus aisé de regarder le problème en raisonnant sur la sphère céleste (figure 4). Dans le triangle sphérique PZS (Pôle-Zénith-Soleil), on cherche l'erreur ΔH due au demi-diamètre solaire s . On a :

$$\sin \Delta H = (\sin s \cos \phi \sin H) / (\cos h \cos \delta)$$

Cette formule permet de faire une intéressante remarque : la longueur du style droit – et donc du style polaire – n'intervient pas (en théorie...) dans l'erreur ombre pure-pénombre.

Application numérique : en prenant $\phi = 44^\circ$, on a (ΔH est exprimé en secondes de temps) :

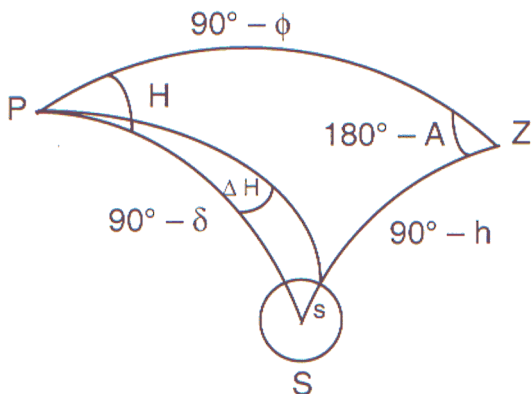
$$\delta = + 23^\circ,433 \quad \delta = 0^\circ \quad \delta = - 23^\circ,433$$

H = 0°	0	0	0
H = 15°	32	17	14
H = 30°	47	29	26
H = 45°	53	38	36
H = 60°	55	43	44
H = 75°	54	45	
H = 90°	52		
H = 105°	49		

On peut donc résumer que sous nos latitudes, l'erreur due à la pénombre est la plus importante en été et vaut *grosso modo* près d'une minute au maximum.

2 – Cas général

Les résultats précédents sont-ils valables pour tous les cadrans solaires? Autrement dit, l'erreur ombre pure-pénombre est-elle la même pour un cadran horizontal que pour un cadran polaire par exemple? De plus, l'erreur est-elle toujours la plus importante en été? Prenons le cadran polaire classique; le jour de l'équinoxe, l'ombre du style balaye les lignes horaires parallèles; l'erreur devient alors égale à $(0^\circ 16')/15^\circ$, soit 64 secondes, et ceci toute la journée. L'erreur est donc supérieure à celle qu'on observe le même jour sur un cadran horizontal!



▲ figure 4

Examinons donc le cas général de l'erreur sur un cadran incliné-déclinant; la figure 4 représente un tel cadran, D étant la déclinaison gnomonique et z la distance zénithale du style droit; en théorie, on doit lire H mais en raison du demi-diamètre solaire, on commet une erreur ΔH . On a³:

$$\sin \Delta H = [\sin s \sin (\gamma + \rho)] / \cos \delta$$

avec: $\sin \gamma = \cos \phi \sin H / \cos h$

(l'angle γ est l'angle à l'astre)

$$\sin \rho = \sin z \sin (A - D) / \sin \zeta$$

$$\cos \zeta = \cos z \sin h + \sin z \cos h \cos (A - D)$$

Application numérique :

En prenant $\phi = 44^\circ$, $D = 0^\circ$, $z = 44^\circ$, $\delta = 0^\circ$, on obtient pour $H = 45^\circ$: $\zeta = 45^\circ$, $\rho = 53^\circ,787$, $\gamma = 36^\circ,213$ d'où $\Delta H = 64$ secondes.

D'ailleurs le jour de l'équinoxe, quel que soit H et quelle que soit ϕ , on a toujours $\Delta H = 64$ secondes pour un cadran polaire. Si maintenant on calcule l'erreur le jour du solstice d'été, on constate qu'elle atteint 70 secondes au maximum, mais qu'elle varie en fonction de l'heure.

Il ne faut pas perdre de vue que ces calculs théoriques ne peuvent donner qu'une idée de grandeur de l'erreur commise dans la lecture de l'heure. Car la zone délimitant l'ombre pure de la pénombre est difficile à apprécier, et ce d'autant plus que les dimensions du cadran solaire sont grandes. D'autre part, plus le Soleil est bas sur l'horizon, moins la zone d'ombre pure est contrastée. En ce qui concerne les arcs diurnes, où la lecture s'effectue à partir de l'extrémité de l'ombre, on a souvent une dilution de cette dernière, ce qui rend difficile l'appréciation. Cette remarque s'applique aussi à certains cadrans de hauteur, style montre de berger, qui deviennent moins performants lorsque le Soleil est bas, alors qu'ils sont en théorie les plus précis à ces instants!

La meilleure solution consiste donc à munir le style d'un oeilleton, puisque c'est alors la tache de lumière qui permet de lire l'heure et la date. Mais quel doit être son diamètre? Lors de la construction des grandes méridiennes aux XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècle, on appliquait la règle suivante: le diamètre du trou doit être égal à un millième de la hauteur de la méridienne.

³On vérifiera que tenir compte de la déclinaison du bord solaire (au lieu du photocentre) ne modifie pas les résultats.

Infos-échanges-~~bric à brac~~ bric à brac gnomonique



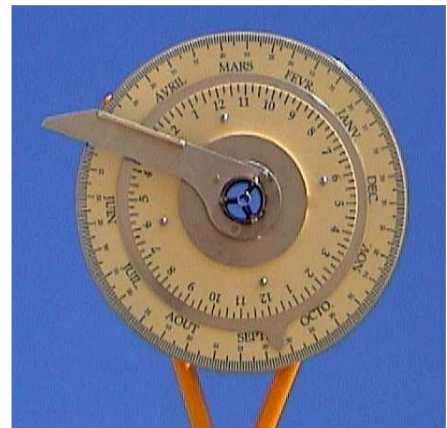
A Averton en Mayenne, naissance de 21 cadrans en pierre de tuffeau gravés par les élèves de CM1 & CM2 suite à deux après-midi de gnomonique appliquée. Belle initiative de Christian Chevrier, professeur d'école (Information de JM. Ansel lors de notre commission d'octobre 2003).



8 Août 2003: "Le Stellarium".

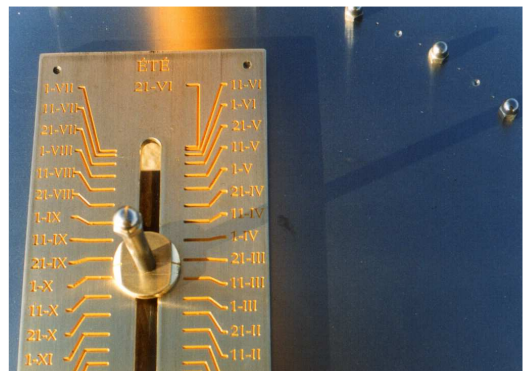
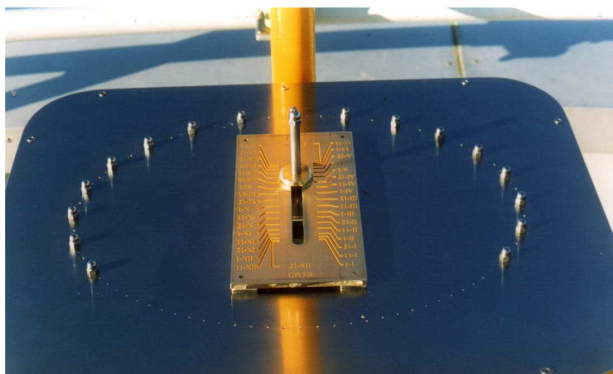
Il est composé d'un nocturlabe fixe de 36 cm de diamètre (utilisable avec la grande Ourse uniquement) et d'un cadran analemmatique. (Réalisation de JM. Ansel).

◀ Nocturlabe ▶



▼ Analemmatique ▼

Détail de l'échelle des dates ▼



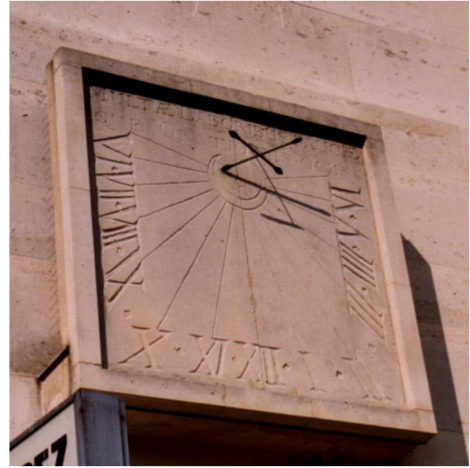
? Enigme

M Vincent s'interroge à propos de ce style (ou plutôt de ces styles) très particulier!

La photo a été prise le 16 juin à 15h 20 TU

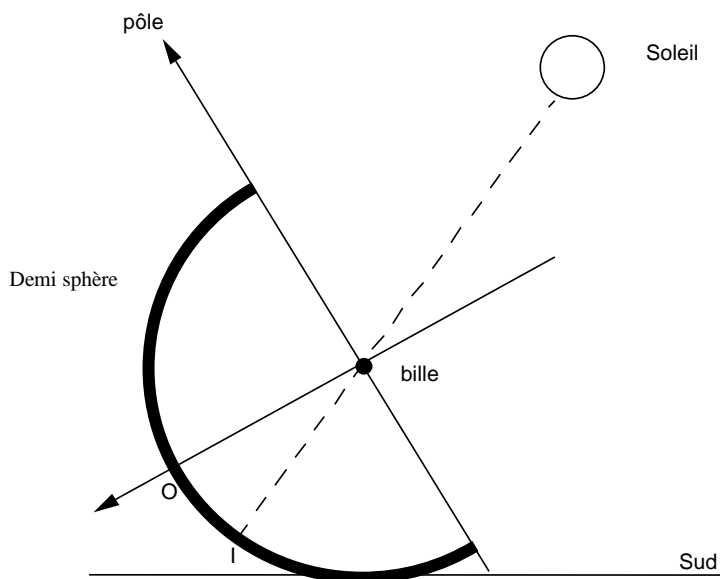
Le cadran se trouve à proximité de la Mairie de Chatou.

Adresser vos réponses à JM. Ansel.



Question

Comment réaliser une courbe en huit sur une demi sphère inclinée suivant la latitude du lieu et dont l'axe horizontal est orienté Est-Ouest?



Il n'y a pas de difficultés pour tracer une courbe en huit dans le cadran sphérique polaire que vous décrivez. Il faut commencer par déterminer l'image de la bille à midi vrai le jour de l'équinoxe dans la cavité, ce point étant l'origine du repère.

A partir de là, si R est le rayon du cadran:

Les x se reportent sur le cercle équatoriale en faisant :

$$x = R.H.\pi/180,$$

H étant l'angle horaire du Soleil.

Pour la méridienne, il faut remplacer H par -E (E = équation du temps en degrés).

Pour les y, on reporte sur le diamètre perpendiculaire à l'équatoriale : $y = R. \delta. \pi/180$, delta étant la déclinaison du Soleil.

Les x et y obtenus sont directement à reporter dans la concavité, avec un mètre à ruban par exemple.

Bonne construction !

D. Savoie



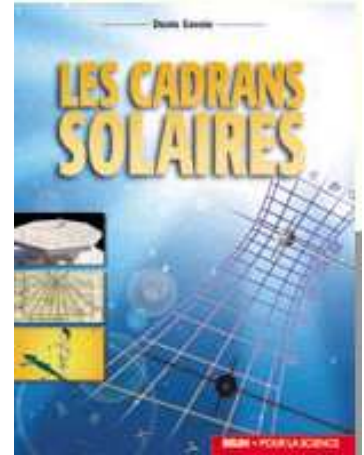
Des livres et des revues

- **LES CADRANS SOLAIRES** par D. Savoie 128 pages, code Belin 003338, ISBN 2-7011-3338-6

Les cadrans solaires, qui décorent les murs des églises, des maisons ou des mairies, sont avant tout des instruments astronomiques.

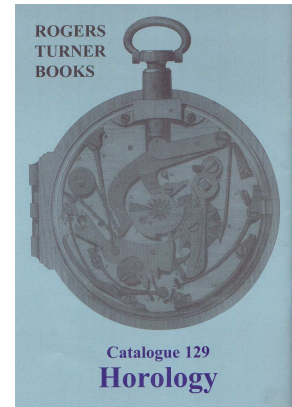
Comprendre le principe d'un cadran, c'est d'abord comprendre le mouvement du Soleil dans le ciel. À partir de quelques connaissances astronomiques indispensables, le livre présente le fonctionnement des cadrans classiques. Comment fabriquer un cadran polaire ?

Quelles heures peut indiquer un cadran vertical plein nord? Comment repérer son anniversaire sur un cadran horizontal? Autant de questions qui trouvent ici une réponse simple et illustrée.



- **ROGERS TURNER**, 24, rue du Buisson Richard, 78600 Le Mesnil le Roi

Le catalogue n° 129 est paru, proposant de très nombreux livres anciens ou récents en anglais, en français en allemand, sur les cadran solaires, la mesure du temps et l'horlogerie.



- A ne pas manquer dans la revue **L'Astronomie**: les articles consacrés en dernière page aux cadrans solaires.

- et bien sûr... se reporter **aux bibliographies de Madame A. Gotteland.**



QUELQUES SITES INTERNET

- Bureau de l'heure à l'Observatoire royal de Belgique:
<http://www.astro.oma.be/D1/TIME/FR/Bhtijfr.html>

- Cadrans solaires et navigation terrestre par F. Pineau:
<http://www.atco-fr.com/cadrans/cadrans.htm> et
www.atco-fr.com/cadrans/navigation/naviga.php3
- Cadran solaire et sa lecture:
<http://physique.haploscience.com/cadransolaire2.html>
- Cadran solaire de la croix verte Saint Macaire en Mauges (49):
<http://cadrancroixverte.waika9.com/cadran/>
- Cadrans solaires et mouvement apparent du ciel:
http://webpublic.ac-dijon.fr/pedago/physique/astonomie/lexique_astonomie/lexique...
- Cadrans solaire et gnomonique par Yvon MASSE:
<http://perso.wanadoo.fr/ymasse/gnomon/>
- Cadrans solaires sur terre, sur mars, par webam, liste de livres et liens avec d'autres sites du WEB:
<http://planetary.org/mars/earthdial/index.html>
- Devises de cadrans solaires:
http://www.locutio.com/expressions-cadrans/cadrans_cadran_utilite.htm
- Fabriquer un cadran solaire: compréhension du principe pour élèves de cycle 3:
<http://physique.paris.iufm.fr/cadransolaire/>
- L'heure de votre ordinateur sur cadran solaire et panorama de qq cadrans en 3D ►
<http://jeanyves.durand.free.fr/index.html>
- Histoire de la mesure du temps:
<http://members.aol.com/lagardesse/>
- Ombre et pénombre:
<http://public.sogetel.net/rthibaudeau/cours/optique/repombre.htm>
- Ombre projetée d'un obstacle en fonction de la source lumineuse (outil de simulation pour Macintosh)
<http://www.ncf.carleton.ca/~ch865/ombre.html>
- Ombre:
<http://www.ac-grenoble.fr/college.ugine/physique/les%20ombres.html>

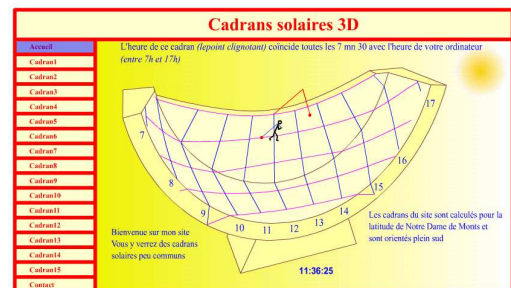




Photo Ph. Sauvageot